



Handleiding Omgevingsveiligheid

Versie oktober 2019

Module II: Specifieke rekenvoorschriften voor activiteiten A, B en
E.2 t/m E.5, E.7 t/m E.12

Colofon

© RIVM 2019

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

Inhoudsopgave

- 1 Module II: Specifieke rekenvoorschriften voor activiteiten A, B en E.2 t/m E.13 7**
- 2 A.1 Behandelen, regelen en meten van aardgas 8**
- 3 A.1a Tanken van LPG 9**
- 4 A.2 Tanken van CNG 10**
- 5 A.3 Rekenvoorschrift opslaan van brandstoffen in bunkerstations 11**
- 6 A.4 Rekenvoorschrift kleinschalig tanken van brandstoffen aan vaartuigen 12**
- 7 A.5 Rekenvoorschrift grootschalig tanken van brandstoffen aan vaartuigen 13**
- 8 A.6 Rekenvoorschrift mestvergistinginstallatie 14**
- 9 A.7 Rekenvoorschrift opslaan van propaan of propeen in opslagtanks 15**
- 10 A.8 Rekenvoorschrift opslaan van oxiderende en verstikkende gassen in opslagtanks 16**
- 11 A.9 Rekenvoorschrift opslaan van brandbare vloeistoffen anders dan diesel in bovengrondse opslagtanks 17**
- 12 A.10 Rekenvoorschrift opslaan van brandbare vloeistoffen anders dan diesel in ondergrondse opslagtanks 18**
- 13 A.11 Rekenvoorschrift opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking 19**
- 14 A.12 Rekenvoorschrift opstellen van voertuigen, opleggers of aanhangers met gevaarlijke stoffen 20**
- 15 B.1 Rekenvoorschrift koelinstallatie met ammoniak 21**
- 16 B.2 Rekenvoorschrift opslagtank voor gassen 22**
- 17 B.3 Rekenvoorschrift opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking 23**
- 18 B.4 Rekenvoorschrift opslaan van vaste minerale anorganische meststoffen 24**
- 19 B.5 Rekenvoorschrift Waterstof: opslag- en transportbedrijf, groothandel en container-overslag en tankstation 30**

- 20 E.2 Rekenvoorschrift koelinstallatie met ammoniak 31**
- 21 E.3 Rekenvoorschrift opslagtank voor gassen 53**
- 22 E.3.1.a. Rekenvoorschrift het opslaan in een opslagtank van giftige of bijtende gassen van ADR-klasse 2, bedoeld in artikel 3.22, aanhef en onder a, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om: a. meer dan 1.500 kg ammoniak 55**
- 23 E.3.3 Rekenvoorschrift andere insluitsystemen - a. meer dan 13 m3 en ten hoogste 50 m3 propaan of propane met een jaarlijkse doorzet van meer dan 600 m3 of b. meer dan 50 m3. 59**
- 24 E.4 Rekenvoorschrift opslagtank voor vloeistoffen en tankcontainer of verpakking die wordt gebruikt als opslagtank voor vloeistoffen 64**
- 25 E.5 Rekenvoorschrift opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking 65**
- 26 E.5.1 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 5.2. Het in een opslagplaats opslaan van meer dan 1.500 l tot vloeistof verdichte gassen in de gevaarlijke 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. 67**
- 27 E.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 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: 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; b. in een opslagplaats met een oppervlakte van meer dan 2.500 m2; of c. verpakkingseenheden van meer dan 100 kg met een stof van ADR-klasse 6.1, verpakkings-groep I, die in de open lucht worden gelost of geladen 69**
- 28 E.7 Rekenvoorschrift Behandelen, regelen en meten van aardgas 95**

29	E.8 Rekenvoorschrift metaalproductenindustrie: bad met giftige gevaarlijke stoffen 96
30	E.9 Rekenvoorschrift opslag- en transportbedrijf, groothandel en containeroverslag: Seveso-hoeveelheid 105
31	E.10 Rekenvoorschrift LNG: opslag- en transportbedrijf, groothandel en containeroverslag en tankstation 124
32	E.11.1 Rekenvoorschrift mijnbouwwerk 125
33	E.12 Rekenvoorschrift andere insluitsystemen 175
34	Referenties 177

- 1 Module II: Specifieke rekenvoorschriften voor activiteiten A, B en E.2 t/m E.13

2 A.1 Behandelen, regelen en meten van aardgas

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.1 moet worden aangesloten bij het rekenvoorschrift mijnbouwwerk (Hoofdstuk 32).

3 A.1a Tanken van LPG

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.1a moet worden aangesloten bij module 1.

4 A.2 Tanken van CNG

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.2 moet worden aangesloten bij module 1.

5 A.3 Rekenvoorschrift opslaan van brandstoffen in
bunkerstations

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.3 moet worden aangesloten bij module 1.

6 A.4 Rekenvoorschrift kleinschalig tanken van brandstoffen aan vaartuigen

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.4 moet worden aangesloten bij aangesloten bij module 1.

7 A.5 Rekenvoorschrift grootschalig tanken van brandstoffen
aan vaartuigen

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.5 moet worden aangesloten bij module 1.

8 A.6 Rekenvoorschrift mestvergistinginstallatie

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.6 moet worden aangesloten bij module 1.

9 A.7 Rekenvoorschrift opslaan van propaan of propeen in opslagtanks

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.7 moet worden aangesloten bij het rekenvoorschrift andere insluitsystemen - a. meer dan 13 m³ en ten hoogste 50 m³ propaan of propeen met een jaarlijkse doorzet van meer dan 600 m³ of b. meer dan 50 m³ (Hoofdstuk 23).

10 A.8 Rekenvoorschrift opslaan van oxiderende en
verstikkende gassen in opslagtanks

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.8 moet worden aangesloten bij module 1.

11 A.9 Rekenvoorschrift opslaan van brandbare vloeistoffen
anders dan diesel in bovengrondse opslagtanks

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.9 moet worden aangesloten bij aangesloten bij module 1.

12 A.10 Rekenvoorschrift opslaan van brandbare vloeistoffen
anders dan diesel in ondergrondse opslagtanks

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.10 moet worden aangesloten bij module 1.

13 A.11 Rekenvoorschrift opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.11.a moet worden aangesloten bij het rekenvoorschrift opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking (Hoofdstuk 27).

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.11.b moet worden aangesloten bij het rekenvoorschrift opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking (Hoofdstuk 26).

14 A.12 Rekenvoorschrift opstellen van voertuigen, opleggers
of aanhangers met gevaarlijke stoffen

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII A.12 moet worden aangesloten bij het rekenvoorschrift opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking (Hoofdstuk 27).

15 B.1 Rekenvoorschrift koelinstallatie met ammoniak

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII B.1 moet worden aangesloten bij het rekenvoorschrift koelinstallatie met ammoniak (Hoofdstuk 20).

16 B.2 Rekenvoorschrift opslagtank voor gassen

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII B.2 moet worden aangesloten bij het rekenvoorschrift andere insluitsystemen - a. meer dan 13 m³ en ten hoogste 50 m³ propaan of propeen met een jaarlijkse doorzet van meer dan 600 m³ of b. meer dan 50 m³ (Hoofdstuk 23).

17 B.3 Rekenvoorschrift opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII B.3 moet worden aangesloten bij het rekenvoorschrift opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking (Hoofdstuk 27).

18 B.4 Rekenvoorschrift opslaan van vaste minerale anorganische meststoffen

18.1 Indeling minerale anorganische meststoffen

18.1.1 Indeling volgens gevaarseigenschappen

De meststoffen zijn in zes groepen ingedeeld naar hun gevaarseigenschappen (zie Tabel 1).

Tabel 1 Groepsindeling meststoffen en de gevaren [**Error! Bookmark not defined.**]

Groep meststof	1.1	1.2	1.3	2	3	4
Groepsindeling	1.1	1.2	1.3	2	3	4
ABC-indeling ¹	Geen	C	C	B	A2	A1
UN nummers	Geen	Geen	1477 1479 1486 1498 1499	2071	1942 2067	1942 2067
Brzo	-	-	17/18	13	14/15	16
Gevaarseigenschap						
Brandbaar	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
Bij externe brand afgifte giftige gassen ²	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Ondersteuning brand door afgifte O ₂	Nee	Beperkt	ja	Beperkt	ja	Ja
Deflagratie ³	Nee	Nee	Nee	ja	Nee	Nee
Detoneerbaar ⁴	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja
Stofexplosie	Niet relevant	Niet relevant	Niet relevant	Niet relevant	Niet relevant	Niet relevant
Zelfopwarming	Geen risico	Geen risico	Geen risico	Beperkt risico	Geen risico	Geen risico

¹ Indeling volgens publicatie CPR-1, de voorganger van PGS 7

² Afhankelijk van type meststof betreft dit voornamelijk NH₃, NO_x en HCl.

³ Deflagratie is een langzame ontleding zonder vuurverschijnselen

⁴ Onder de voorgeschreven proefcondities van Verordening EG nr. 2003/2003

18.1.2 Indeling volgens Brzo

In het kader van het Brzo 2015 en de Seveso richtlijn [¹] zijn de ammoniumnitraat-houdende meststoffen ingedeeld in vier groepen met als voornaamste criterium het stikstofgehalte. De meststoffen worden genoemd in de lijst van de gevaarlijke stoffen die met naam zijn genoemd. De vier groepen zijn¹:

1. Ammoniumnitraat (drempelwaarden in ton 5000/10000): meststoffen die in staat zijn tot zelfonderhoudende ontleding

¹ Voor de leesbaarheid is de tekst ingekort, zie de Seveso richtlijn voor de volledige tekst.

Dit is van toepassing op gemengde/samengestelde ammoniumnitraatmeststoffen² die in staat zijn tot zelfonderhoudende ontleding overeenkomstig de VN-goottest en waarin het stikstofgehalte afkomstig van het ammoniumnitraat:

- 15,75–24,5 gewichtsprocent is en die niet meer dan 0,4% in totaal aan brandbare/organische stoffen bevatten of die voldoen aan de voorschriften van bijlage III-2 bij Richtlijn (EG) nr 2003/2003;
- 15,75 gewichtsprocent of minder is en een onbeperkte hoeveelheid brandbare stoffen.

2. Ammoniumnitraat (drempelwaarden in ton 1250/5000): meststofkwaliteit.

Dit is van toepassing op enkelvoudige ammoniumnitraatmeststoffen en op gemengde/samengestelde ammoniumnitraatmeststoffen die voldoen aan de voorschriften van bijlage III-2 bij Richtlijn (EG) nr 2003/2003 waarin het stikstofgehalte afkomstig van het ammoniumnitraat:

- hoger is dan 24,5 gewichtsprocent, met uitzondering van mengsels van enkelvoudige ammoniumnitraatmeststoffen en dolomiet, kalksteen en/of calciumcarbonaat met een zuiverheidsgraad van ten minste 90%;
- hoger is dan 15,75 gewichtsprocent voor mengsels van ammoniumnitraat en ammoniumsulfaat;
- hoger is dan 28 gewichtsprocent voor mengsels van enkelvoudige ammoniumnitraatmeststoffen en dolomiet, kalksteen en/of calciumcarbonaat met een zuiverheidsgraad van ten minste 90%.

3. Ammoniumnitraat (drempelwaarden in ton 350/2500): technisch zuivere stof.

Dit is van toepassing op ammoniumnitraat en ammoniumnitraat-mengsels waarin het stikstofgehalte, afkomstig van het ammoniumnitraat

- gelegen is tussen 24,5 en 28 gewichtsprocent en die maximaal 0,4% aan brandbare stoffen bevatten;
- hoger is dan 28 gewichtsprocent en die maximaal 0,2% aan brandbare stoffen bevatten.

Dit is ook van toepassing op waterige ammoniumnitraatoplossingen met een ammoniumnitraatconcentratie van meer dan 80 gewichtsprocent.

4. Ammoniumnitraat (drempelwaarden in ton 10/50): «off-specs-materiaal» en meststoffen die niet voldoen aan de eisen van de detonatietest.

Dit is van toepassing op:

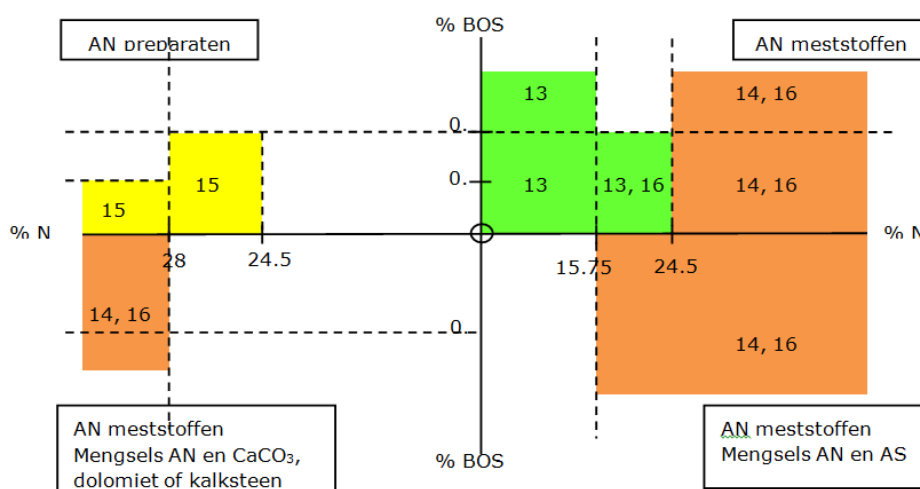
- afgekeurd materiaal afkomstig uit het fabricageproces en op ammoniumnitraat en ammoniumnitraatmengsels, enkelvoudige ammoniumnitraatmeststoffen en gemengde/samengestelde ammoniumnitraatmeststoffen als bedoeld onder 14 en 15, die van de eindgebruiker zijn of worden geretourneerd aan een fabrikant, een installatie voor tijdelijke opslag of een herverwerkingsinstallatie voor herverwerking, recycling of behandeling met het oog op een veilig gebruik omdat de stoffen niet langer voldoen aan de specificaties van 14 en 15, en
- meststoffen als bedoeld in 13, eerste streepje, en 14, die niet voldoen aan de voorschriften van bijlage III-2 bij Richtlijn nr. 2003/2003.

Een stikstofgehalte van 15,75 / 24,5 / 28 gewichtsprocent, afkomstig van het ammoniumnitraat, komt overeen met 45% / 70% / 80% ammoniumnitraat.

Nitraathoudende minerale meststoffen, zoals kaliumnitraat (groep 17/18) en natriumnitraat, vallen onder het Brzo en kunnen daarmee ook onder het Bkl

² een gemengde/samengestelde meststof bevat ammoniumnitraat met fosfaat en/of kaliumcarbonaat

vallen. Gezien het feit dat deze nitraathoudende meststoffen pas bij veel hogere temperatuur dan ammoniumnitraat ontleden (resp. 350°C, 380°C en >500°C voor kalium-, natrium- en calciumnitraat tegen 170°C voor ammoniumnitraat), zal de hoeveelheid NH₃ en NO_x die bij een externe brand kan vrijkomen veel lager zijn. Daardoor zijn de risico's aanzienlijk kleiner dan die van ammoniumnitraat. Om die reden kan wordt gesteld dat een brand in een opslag met meststoffen van groep 1.1 en 1.3 niet leidt tot scenario's die externe veiligheidsrisico's veroorzaken. Zij blijven hier dan ook verder buiten beschouwing. Figuur 1 geeft de indeling samengevat weer.



Figuur 1 Indeling Ammoniumnitraat meststoffen en preparaten volgens het Brzo (BOS staat voor Brandbare of organische stof)

18.2 Afbakening van de rekenmethode

Tabel 2 geeft het overzicht van de groepen meststoffen waarvoor de rekenmethode ontwikkeld is.

Tabel 2 Afbakening van de rekenmethode

Groep	In rekenmethode	Toelichting
1.1	Nee	Meststoffen zonder ammoniumnitraat, zoals kaliumnitraat, leiden niet tot externe veiligheidsrisico's
1.2	Nee	Niet ADR geklasseerde ammoniumnitraat-houdende meststoffen. Uit een verkennende berekening blijkt dat het plaatsgebonden risico kleiner is dan 10 ⁻⁶ per jaar en er geen sprake is van een groepsrisico.
1.3	Nee	Meststoffen zonder ammoniumnitraat, zoals kaliumnitraat, leiden niet tot externe veiligheidsrisico's
2	Ja	Bij externe brand en deflagratie worden toxische ontledingsproducten gevormd.
3	Ja	Bij externe brand worden toxische ontledingsproducten gevormd
4	Nee	Voor detoneerbare meststoffen zijn de explosie-effecten bepalend; hiervoor geldt een andere

18.3 Scenario's

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

- Detonatie wordt niet meegenomen in de rekenmethode. De rekenmethode is niet geldig voor meststoffen groep 4. Aangenomen is dat de kans op detonatie van andere meststoffen, die niet kunnen detoneren volgens de voorgeschreven buisproef (Verordening (EG) nr 2003/2003), verwaarloosbaar is.
- Deflagratie is een relevant scenario voor meststoffen groep 2.
- Brand in de opslag kan ontstaan door morsing en ontsteking van een brandbare vloeistof, door ontsteking van brandbaar materiaal of door een palletbrand.

De scenario's deflagratie en brand in opslag leiden tot het vrijkomen van toxische ontledingsgassen waarvan stikstofdioxide de giftigste component is. De scenario's zijn mede afhankelijk van de groepsindeling van de meststoffen.

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 [**Error! Bookmark not defined.**]. Op grond van testen is geconcludeerd dat escalatie van een palletbrand niet waarschijnlijk is [²]. Derhalve wordt aangenomen dat een brand in een opslag beperkt blijft tot een klein oppervlak (10 m²). In de rekenmethode worden daarom alleen de volgende gebeurtenissen meegenomen:

- Deflagratie
- Brand met een equivalent oppervlak van 10 m².

18.3.1 Scenario's meststoffen groep 2

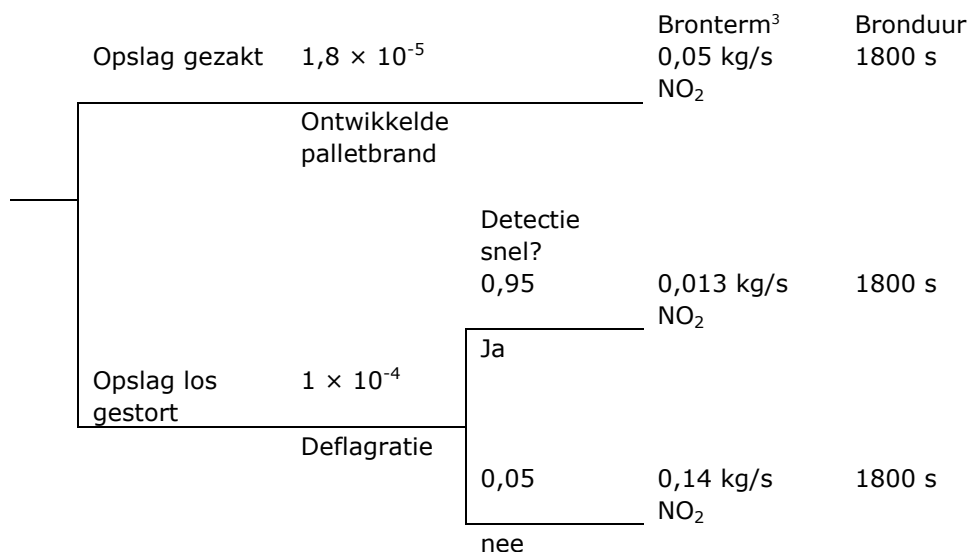
Deflagratie van meststoffen groep 2 kan veroorzaakt worden door externe branden in opslagen van groep 2 meststoffen en door hittebronnen in of nabij de meststof zelf (zelfopwarming, hete oppervlakken van elevators, loopbanden, lampen e.d.) [³].

Voor de kans op externe brand wordt dezelfde aanpak gevolgd als bij groep 3 meststoffen; de ontstaanskans van een brand die leidt tot emissie van toxische ontledingsgassen is $1,8 \times 10^{-5}$ per jaar per opslagvoorziening. De kans op het ontstaan van een deflagratie door overige oorzaken wordt geschat op 1×10^{-4} per jaar per opslagvoorziening.

In de gebeurtenissenboom (zie Figuur 2) wordt onderscheid gemaakt tussen gezakte opslag op pallets en los gestorte opslaghopen. 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 gebeurtenissenboom is rekening gehouden met een snelle detectie van een beginnende deflagratie. De detectie bestaat o.a. uit:

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



Figuur 2 Gebeurtenissenboom opslag meststoffen groep 2

18.3.2 Scenario's meststoffen groep 3

Meststoffen groep 3 worden geacht niet te kunnen deflagreren [**Error! Bookmark not defined.**]. Wel kunnen er toxische ontledingsgassen ontstaan bij een brand. De ontstaanskans van een brand die leidt tot emissie van toxische rookgassen is $1,8 \times 10^{-5}$ per jaar per opslagvoorziening. Als representatieve brandomvang geldt een brand met een oppervlak van 10 m². De bronterm bedraagt 0,1 kg/s NO₂ gedurende 1800 s. Dit geldt voor gezakte opslag. Als opslag alleen plaatsvindt in losgestorte hopen is geen scenario voor de externe veiligheid van toepassing.

18.4 Overige invoergegevens SAFETI-NL

Voor de emissies naar de omgeving van de opslagen wordt aangenomen dat pluïmstijging niet optreedt. Analoog aan de berekening voor PGS15 opslagen wordt aangenomen dat het gebouw intact blijft. Voor de berekening van de verspreiding wordt daarom aangenomen dat de ontledingsgassen eerst in de lijwervel van het opslaggebouw opmengen.

De volgende parameterkeuzes worden gedaan.

- De bronterm komt direct vrij in de lijwervel, d.w.z. dat opmenging in het gebouw en ventilatie naar de omgeving niet wordt meegenomen.
- De bronterm NO_x is gemodelleerd als NO₂; aangenomen is dat de grote verhouding in NO: NO₂ zoals gemeten in de HSE experimenten veroorzaakt wordt door de hoge temperatuur, en dat bij afkoeling uiteindelijk NO₂ resulteert⁴ [4].

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

³ De afleiding van de kansen en bronterm is beschreven in de verantwoording.

⁴ Ullmann's Encyclopedia geeft aan dat: 'Nitrogen monoxide [10102-43-9], also called nitric oxide, NO, Mr 30,01, is a colorless, toxic, nonflammable gas at room temperature. As soon as it comes in contact with atmospheric oxygen, it is oxidized to nitrogen dioxide, a brown vapor'.

19 B.5 Rekenvoorschrift Waterstof: opslag- en transportbedrijf,
groothandel en container-overslag en tankstation

Rekenvoorschrift

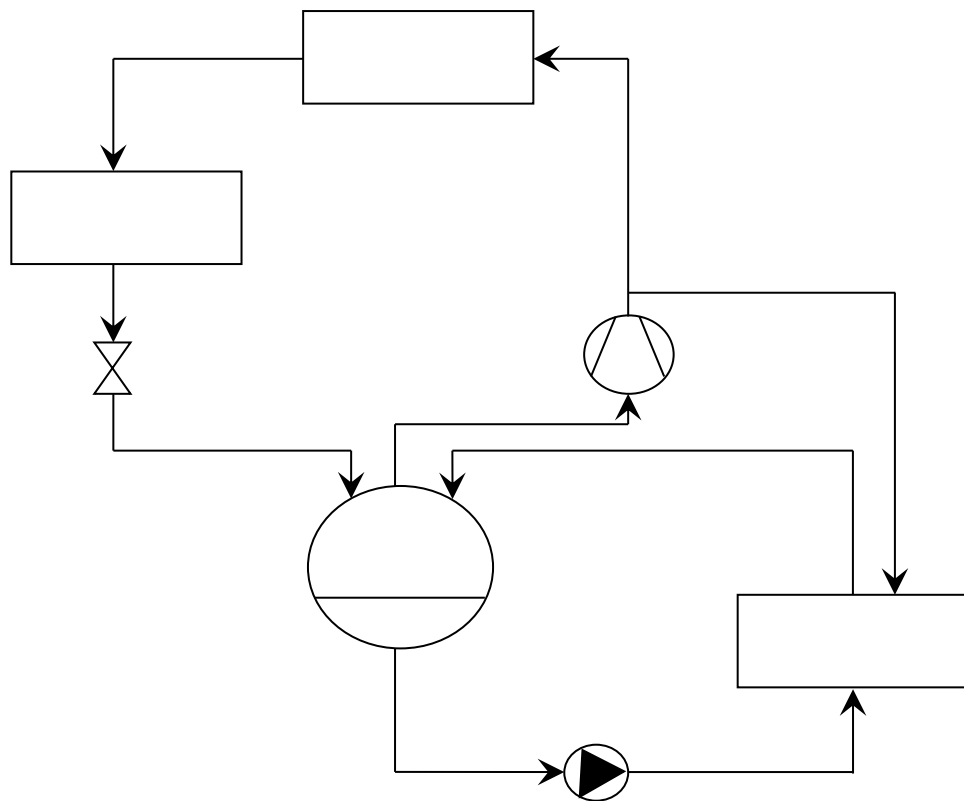
Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII B.5 moet worden aangesloten bij het rekenvoorschrift 31.

20.1 Basisschema koelinstallatie

Ten behoeve van de QRA worden de P&ID's ('piping and instrumentation diagrams') van de installatie gereduceerd tot het basisschema van Figuur 3. De onderdelen zijn benoemd in Tabel 3. 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 van de QRA dient een dergelijke schematisering van de installatie in de rapportage te worden opgenomen.

De voor een risicoberekening benodigde gegevens zijn weergegeven in Tabel 4.



Figuur 3 Voorbeeld van een basisschema koelinstallatie

Tabel 3 Lijst van installatieonderdelen

Onderdeel	Omschrijving
-----------	--------------

L1	Persgasleiding
L2	Condensaatleiding
L3v	Condensaatleiding voor expansieklep
L3a	Condensaatleiding 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 4 Overzicht benodigde informatie voor de QRA

Item	Beschikbaar bij	Opmerking
Aanwezigheid personen binnen invloedsgedebied	Bevoegd gezag	Mede op basis van bestemmingsplaninformatie
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 machiekamervloer	Gebruiker	In m t.o.v. maaiveld
Hoogte en diameter ventilatie-uitlaat machiekamer	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 ⁵	Installateur	In kg/s
Persgasdruk en -temperatuur	Installateur	In bar(g) resp. °C
Tijdfractie onderdelen in bedrijf	Installateur	Uur/uur

⁵ Met nominaal gebruik wordt bedoeld: tijdens de standaard bedrijfsvoering

(bv. heet gas ontdooi leidingen op druk)		
Aantal pompen gelijktijdig in bedrijf nominaal gebruik	Installateur	-
Aantal compressoren gelijktijdig in bedrijf nominaal gebruik	Installateur	-
Leiding lengte en inwendige diameter van Natte zuigleiding Droge zuigleiding Vloeistofvalleiding Pomppersleiding vloeistof Persgasleiding Heet gas ontdooileiding Condensaatleiding	Installateur	In m Uitgesplitst naar binnen (in gebouw of anderszins omkast ⁶) en in de buitenlucht
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	

20.2 Ongevalscenario's

20.2.1 Vloeistofvaten

De scenario's voor de vloeistofvaten zijn beschreven in module 1. Deze vaten worden opgevat als buffervaten in een procesinstallatie waarin alleen de hoeveelheid stof verandert.

Opmerkingen:

- Bij het falen van vaten moet rekening worden gehouden met de nalevering uit andere installatieonderdelen. De wijze waarop is beschreven in paragraaf 20.3.3.
- In een machinekamer geplaatste vaten met een werkteemperatuur 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 een overlidensrisico in de omgeving te veroorzaken.

20.2.2 Pompen/compressoren

De scenario's voor de vloeistofpompen en de compressoren zijn beschreven in module 1.

⁶ Wanneer leidingen omkast zijn, worden ook buiten de machinekamer liggende leidingen als *in-Building release* gemodelleerd (zie 20.3.4). 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.

Opmerkingen:

- Voor (semi-)hermetische pompen en (schroef)compressoren zijn de waarden voor "canned" pumps (zonder pakking) uit module 1 van toepassing.
- Bij het falen van pompen/compressoren moet rekening worden gehouden met de nalevering uit andere installatieonderdelen. De wijze waarop is beschreven in paragraaf 20.3.3.
- 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.

20.2.3 *Leidingen*

De scenario's voor de leidingen die de installatieonderdelen verbinden zijn beschreven in module 1.

Opmerkingen:

- Bij het falen van leidingen moet rekening worden gehouden met de nalevering uit andere installatieonderdelen. De wijze waarop is beschreven in paragraaf 20.3.3.
- Voor binnen gelegen leidingdelen is het voldoende nauwkeurig om alleen het breuk scenario te modelleren.
- Binnen gelegen leidingen met een werktemperatuur lager dan het atmosferisch kookpunt van ammoniak (-33 °C) hoeven niet gemodelleerd te worden.
- Buiten gelegen dampleidingen met een werktemperatuur lager dan het atmosferisch kookpunt van ammoniak (-33 °C) hoeven niet gemodelleerd te worden.
- De richting van de uitstroming is horizontaal.
- Leidingen die zich in de buitenlucht bevinden worden gemodelleerd als lijnbron.
- Voor binnen gelegen leidingen wordt het scenario toegekend aan het emissiepunt, in de regel de ventilatie-uitlaat.

20.2.4 *Condensors en verdamper*

Voor het falen van condensors en verdamper worden geen scenario's meegenomen in de risicoberekening. Alleen een vloeistof gekoelde condensor, waarbij de ammoniak zich in de mantelruimte bevindt, wordt gemodelleerd als beschreven in module 1.

20.2.5 *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
- Hoge druk vlotter 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 risicoanalyse.

20.3 Modelling van de bronterm

20.3.1 *Uitgangspunten*

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

- a. 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 5).
- b. 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 20.3.4).
- c. 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 module INBU)⁷. Voor een goed begrip van de werking van het INBU model is een beknopte beschrijving opgenomen in de toelichting.

Aandachtspunt

Het maakt voor het externe risico een groot verschil of de ammoniak lekkage 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 de PSU-file 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) *Scenario*, (4) *Risk data* (5) *Short pipe*, (6) *Release*

⁷ De optie <droplets trapped> staat standaard op <ja> met een indoor vapour mass modification factor gelijk aan 3. De gebruiker kan deze niet wijzigen. Dat betekent dat drie maal de adiabatische flashfractie als damp in de ventilatiestroom wordt ingemengd.

location, (7) Geometry, (8) Bund, (9) Indoor and outdoor release. Ten slotte wordt beschreven hoe beveiligingen moeten worden meegenomen.

20.3.2 *Vessel*

Voor het vat wordt een pressure-vessel aangemaakt. De *tank head* gelijk aan 0 m (scenario tab).

Bund, building and terrain

Dit legt het scenario type, de fase van de uitstroming en bij sommige scenario's de duur van de uitstroming vast, en definieert de uitstroming als binnen (*in building*) dan wel buiten (default). Een *building wake effect* is niet van toepassing, omdat de releases vanuit een gebouw met een hoge uittreesnelheid in verticale richting plaatsvinden.

Wanneer een installatiedeel in een machinekamer of andere volledig omhulde ruimte⁶ is gelegen, moet het scenario als een *in-building release* te 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.

20.3.3 *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 werkt temperatuur 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 5 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. Tabel 5 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 20.3.11.

Tabel 5. Modelling 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 expansieorgaan L3a	+ massa droge zuigleiding L7 + massa vloeistofvalleiding L4	Nalevering in de regel verwaarloosbaar t.o.v. massa afscheidervat
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 × 60s + fractie van massa afscheidervat A1 (zie opmerking)	+ massa verdamper V1 × flashfractie ⁸ bij verdampingstemperatuur	Fractie van massa afscheidervat telt alleen mee bij niet aanspreken inlokafsluiter in pomppersleiding d.w.z. een leidingbreuk buiten en de ammoniak-detectie-inblokloop binnen in machinekamer
P1 Vloeistofpomp breuk en lek	+ massa vloeistofvalleiding + massa afscheidervat	Geen	Inlokafsluiter en terugslagklep in persleiding L5
L6 Natte zuigleiding breuk en lek	+ pompdebiet van de verbonden pompen P1 × 60s + 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	+ massa afscheidervat A1 × flashfractie	Geen	Uitstroming als damp

⁸ De flashfractie wordt berekend uitgaande van isentropische expansie als $0.00284 \cdot T - 0.67394$, met T in Kelvin

Scenario voor onderdeel en lek	Nalevering upstream zijde	Nalevering downstream zijde	Opmerking
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 expansieorgaan	
L3v Condensaatleiding voor expansieorgaan breuk en lek	+ compressordebiet van de verbonden compressoren C1 × 60 s + massa vloeistofvat VL1 + massa condensor CO1 × flashfractie	Geen	
L3a Condensaatleiding na vlotter 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:

- Waar gesproken wordt over "massa" wordt de massa ammoniak in kilogram bedoeld.
- 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 pompbeveiliging⁹).

- Bij het falen van de vloeistof pomppersleiding L5 komt nog een fractie van het afscheidervat A1 vrij. Deze fractie wordt berekend als $fractie = 0,0117 \times T - 2,8955$ met T in Kelvin¹⁰. Wanneer de temperatuur van de afscheider lager is dan -25 °C (248 K) vervalt deze bijdrage.
- 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 **Error! Reference source not found.** Dit komt globaal overeen met een extra drukval van enkele tienden van een bar.

20.3.4 Scenario

Onder het betreffende Pressure vessel wordt een scenario ingevoegd. De te kiezen scenario's voor de verschillende onderdelen zijn aangegeven in Tabel 6. De *Mass Inventory* wordt op basis van de bijdragen uit Tabel 5 ingevuld.

Tabel 6. *Bepaling inventory mass, scenario en duur uitstroming*

Type onderdeel	Scenario	Scenario type	Duur uitstroming	Mass Inventory
Vaten (A1 en VL1)	Instantaan	Catastrophic rupture	Nvt	Inhoud vat
	Vrijkomen inhoud in 10 min	Fixed duration	600 s	Som van de bijdragen uit Tabel 5
	Lekkage 10 mm gat	Leak	Max 1800 s	Som van de bijdragen uit Tabel 5
Leidingen	Lek	Leak	Max 1800 s	Som van de bijdragen uit Tabel 5
	Breuk	Fixed duration	Inventory mass/pompdebiet maal 1.5	Som van de bijdragen uit Tabel 5
Pomp/compressor	Lek	Leak	Max 1800 s	Som van de bijdragen uit Tabel 5
	Breuk	Line rupture zuigleiding		Som van de bijdragen uit Tabel 5

⁹ Deze tijd is ontleend aan [7] waarin wordt gesteld dat dit de effectieve afslagtijd van de pomp is rekening houdend met een aantal keren herstarten van de pomp.

¹⁰ Dit is identiek met de pragmatische aanpak uit [7]. Met de in [7] genoemde ijkpunten (0% bij -25 °C, 17% bij -10 °C en 35% bij 5°C) is de vergelijking afgeleid.

Toelichting

Onder Tabel 5 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 uitstroomblijftijden. 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.

Material – Phase to be released

Figuur 3 geeft de fase van uitstroming. Bij vaten met zowel vloeistof als damp, zoals het afscheidervat, moet de fase vloeistof worden gekozen.

Scenario – Hole (voor lek scenario)

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

20.3.5 Risk data

Dit definieert de frequenties van de scenario's. Deze zijn gegeven in module 1.

20.3.6 Short pipe - scenario

Dit legt voor het scenario *Short Pipe – Line rupture* de lengte tot de plaats van de breuk, de leidingdiameter en de leidingruwheid vast.

Pipe length

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

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).

20.3.7 Release Location

Dit betreft alleen de hoogte van de uitstroming (onder het *Scenario* tabblad van het *Pressure vessel*). Wanneer zoals onder 20.3.4 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.

20.3.8 Geometry

Dit betreft de locatie van de uitstroming, *east* en *north*. De buiten gelegen leidingen worden als *route segment* gedefinieerd.

20.3.9 Bund

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 5).

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 20.3.4), wordt als afmeting van de bund het vloeroppervlak van de ruimte ingevoerd. Het *surface type* is *concrete* en *bund failure* is niet mogelijk.

20.3.10 *Indoor en outdoor release*

D richting van de uitstroming vast, de ventilatiekenmerken van de ruimte en de afmetingen van het gebouw dienen op de volgende manier te worden vastgelegd.

Outdoor 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. Dit dient ingevuld te worden onder het tabblad *Scenario* van het betreffende *Pressure Vessel*.

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.

20.3.11 *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 5). Falen van deze voorzieningen wordt in de QRA beschouwd zoals beschreven in module 1. 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 ingeblokke 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 4.

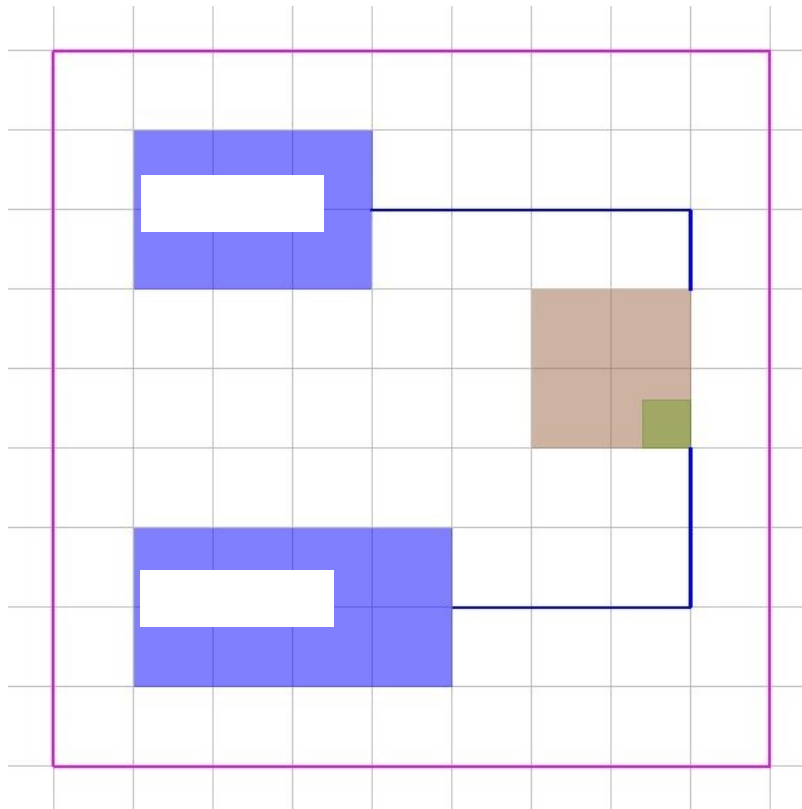
Voor buiten gelegen installatiedelen is een ammoniakdetectie-inblok-loop lastig toepasbaar. Een specifieke beveiliging kan voor die scenario's alleen in de QRA worden verwerkt als de werking ervan is beschreven en aannemelijk gemaakt. De verwerking is beschreven in module 1. Een aantal beveiligingen 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. Dit geldt als ondergrens voor het al dan niet meenemen van een scenario in een QRA [4].

20.4 Voorbeeldberekening

Figuur 4 geeft schematisch de plattegrond van de inrichting. Het gaat om een

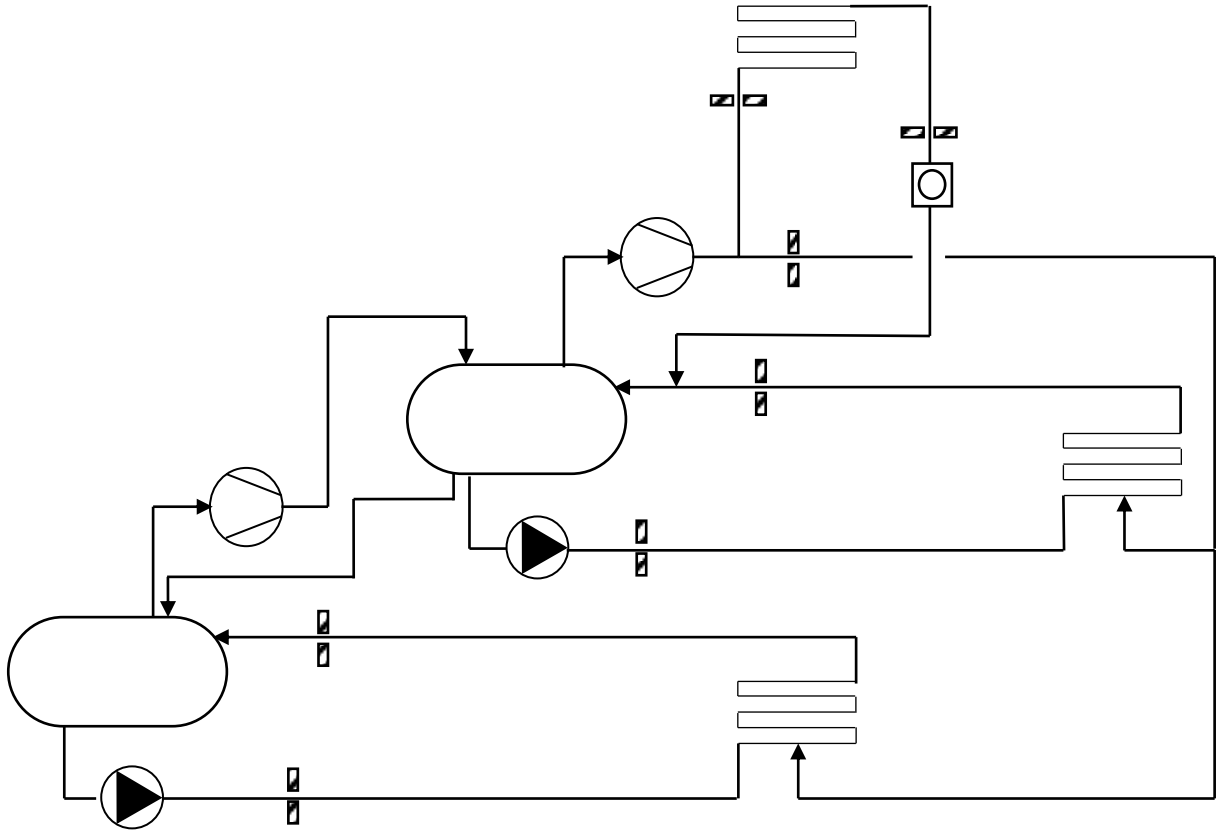


centrale machinekamer van waaruit twee gebruikersgroepen worden bediend.

Figuur 4 Plattegrond inrichting, gridgrootte 25 m

Figuur 5 geeft het schema van de voorbeeldinstallatie. De leidingen voor het koelcircuit ($-12\text{ }^{\circ}\text{C}$) worden aangeduid met een k , voor het vriescircuit ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) met een v . In de leidingbruggen buiten zijn gelegd de natte zuigleiding (L6), de pomppersleiding (L5) en de heet gas ontdooileiding (L8). Er is geen vloeistofvat tussen de condensor en de HD-vlotter.

Tabel 7, Tabel 8 en Tabel 9 geven de kenmerken van de installatie benodigd voor de risicoberekening. **Error! Reference source not found.** geeft het resultaat van de plaatsgebonden risicoberekening. Van dit voorbeeld is een PSU-file beschikbaar. Deze is puur ter illustratie. De risicoanalist dient op grond van het basisschema (zie paragraaf 1.2 hiervoor) een eigen installatie-specifieke PSU-file op te stellen, die recht doet aan de kenmerken van de installatie in kwestie.



Figuur 5 Schema koelinstallatie voorbeeldberekening

Tabel 7 Kenmerken koelinstallatie (subscripts: v=vries, k=koel)

Item	Code	Waarde
Afmetingen machinekamer		15 × 15 × 5 m
Hoogte machinekamervloer		mv +0 m
Hoogte leidingen in brug		Mv +5 m
Hoogte en diameter ventilatie-uitlaat machinekamer		mv +6 m, 0,9 m diameter
Richting ventilatie		Verticaal
Ventilatiedebiet noodventilatie		20 /uur
Totale koudemiddelinhoud		15.000 kg
Koudemiddelinhoud afscheidervat -40 °C	Av	3500 kg
Koudemiddelinhoud afscheidervat -12 °C	Ak	5000 kg
Koudemiddelinhoud koelers	Vk	2000 kg
Koudemiddelinhoud vriezers	Vv	3000 kg
Koudemiddelinhoud condensor	COk	350 kg
Temperatuur condensor	COk	27 °C
Heet gas ontdooileiding op druk	L8k, L8v	2/3 van de werktijden
Vloeistoffractie natte zuigleidingen	L6k, L6v	10% (m3 vloeistof/m3 damp)
Vloeistoffractie condensaatleidingen na expansieorgaan	L3ak, L3av	80% (m3 vloeistof/m3 damp)
Natte zuigleiding -12 °C circuit	L6k	100 m binnen, 125 m buiten
Natte zuigleiding -40 °C circuit	L6v	50 m binnen, 125 m buiten
Heet gas ontdooileiding -12 °C circuit	L8k	100 m binnen, 125 m buiten
Heet gas ontdooileiding -40 °C circuit	L8v	50 m binnen, 125 m buiten
Temperatuur heet gas ontdooileiding	L8	90 °C
Condensaatleiding	L2k	10 m binnen
Condensaatleiding na vlotter	L3ak	20 m binnen
Vloeistofvalleiding -12 °C afscheidervat	L4k	10 m binnen
Vloeistofvalleiding -40 °C afscheidervat	L4v	10 m binnen
Verbindingsleiding Ak-Av	Lkv	10 m binnen
Persgasleiding -12 °C circuit	L1k	20 m binnen
Temperatuur persgasleiding -12 °C circuit	L1k	90 °C
Druk persgasleiding -12 °C circuit	L1k	11.2 bar(g)
Persgasleiding -40 °C circuit	L1v	10 m binnen
Pomppersleiding -12 °C circuit	L5k	100 m binnen, 125 m buiten
Pomppersleiding -40 °C circuit	L5v	50 m binnen, 125 m buiten
Compressoren -12 °C circuit	Ck	3 stuks, continu bedrijf
Compressoren -40 °C circuit	Cv	2 stuks, continu bedrijf
Pompdebiet -12 °C circuit per pomp	Pk	2 stuks, 2 kg/s
Persgasdebiet -12 °C circuit per compressor	Ck	3 stuks, 2 kg/s
Pompdebiet -40 °C circuit per pomp	Pk	2 stuks, 2 kg/s
Persgasdebiet -40 °C circuit per compressor	Cv	2 stuks, 3 kg/s
Beveiliging:		
		– automatische ammoniakdetectie en inblokafsluiters in de pomppersleidingen.
		– Geen automatische inblokactie op lekkages in leidingen buiten

Tabel 8. Scenarioekenmerken binnen gelegen installatie onderdelen. Voor de scenario's waar een 'fixed duration' van toepassing is wordt de uitstroomtijd berekend aan de hand van de totale inhoud/(pompdebiet x 1,5), zoals beschreven in dit hoofdstuk en de toelichting van dit hoofdstuk.

Item	Code	Kenmerken	Scenario	Frequentie [jaar ⁻¹]	Massa onderdeel ¹⁾	Nalevering upstream	Nalevering downstream	Pompbijdrage
Afscheidervat -40 °C circuit	Av	3500 kg	Niet modelleren op grond van de temperatuur					
Afscheidervat -12 °C circuit	Ak	5000 kg	Instantaan	5.10 ⁻⁷	5000 kg	0 kg	0 kg	0 kg
	Ak		10 min uitstroming	5.10 ⁻⁷	5000 kg	181.1 kg = inh. natte zuigl. + condensaat l. na vlotter	52.7 kg = inh. droge zuigl. + vlstvall.	
	Ak		10 mm lek	1.10 ⁻⁵	5000 kg	181.1 kg = inh. natte zuigl. + condensaat l. na vlotter	52.7 kg = inh. droge zuigl. + vlstvall.	0 kg
Verdampers: vriezers (-40 °C) en koelers (-12 °C)		Gezamenlijke inhoud vriezers 3000 kg Gezamenlijke inhoud koelers 2000 kg	Geen scenario (zie paragraaf 20.2.4)					
Natte zuigleiding	L6k	D=65 mm, L=100 m	Breuk, pipe length 112,5 m, vapor	100×1.10 ⁻⁶	50.9 kg = 225 m, 10% vloeistof	134.6 kg = Flash Vk	336.5 kg = Flash Ak	240 kg= 60 sec × 2 pompen × 2 kg/s
Pomppersleiding -12 °C circuit	L5k	D=50 mm L=100 m	Breuk, pipe length 112,5 m, liquid	100×1.10 ⁻⁶	292.7 kg = 225 m	0 kg (inblok- afsluiters)	134.6 kg = Flash Vk	240 kg= 60 sec × 2 pompen × 2 kg/s
Pomppersleiding -12 °C circuit	L5k	D=50 mm L=100 m inblokafsluiter faalt	Breuk, pipe length 212,5 m (100 m extra stromings- ²⁾	100×1.10 ⁻⁶ ×0,001	292.7 kg = 225 m	732.8 kg = Lekfractie Ak door pomp	134.6 kg = Flash Vk	240 kg = 60 sec × 2 pompen × 2 kg/s

Item	Code	Kenmerken	Scenario	Frequentie [jaar ⁻¹]	Massa onderdeel ¹⁾	Nalevering upstream	Nalevering downstream	Pompbijdrage
			weerstand door stilstaande pomp), liquid					
Heet gas ontdooileiding -12 °C circuit	L8k	D=100 mm, L=100 m, (2/3) van de werktijd op druk	Breuk, pipe length 112,5 m, vapor	$(5/7) \times (2/3) \times 100 \times 3.10^{-7}$	11.3 kg = 225 m	0 kg	0 kg	120 kg = 60 sec × 2 kg/s
Heet gas ontdooileiding -40 °C circuit	L8v	D=100 mm, L=50 m, (2/3) van de werktijd op druk	Breuk, pipe length 87,5 m, vapor	$(5/7) \times (2/3) \times 50 \times 3.10^{-7}$	8.8 kg = 175 m	0 kg	0 kg	180 kg = 60 sec × 3 kg/s
Condensaatleiding	L2k	D=125 mm, L=10 m	Breuk, pipe length 5 m, liquid	10×3.10^{-7}	74 kg	350 kg (inhoud condensor)	0 kg	360 kg = 60 sec × 3 comp × 2 kg/s
Condensaatleiding na vlotter	L3ak	D=125 mm, L=20 m	Breuk, pipe length 10 m, vapor	20×3.10^{-7}	130.2 kg (80% is vloeistof)	0 kg	336.5 kg = Flash Ak	360 kg = 60 sec × 3 comp × 2 kg/s
Vloeistofvalleiding	L4k	D=100 mm, L=10 m	Breuk, pipe length 5 m, liquid	10×3.10^{-7}	52 kg	5000 kg	0 kg	0 kg
Verbindingsleiding Ak-Av	Lkv	D=65 mm, L=10 m	Breuk, pipe length 5 m, liquid	10×1.10^{-6}	22 kg	5000 kg	0 kg	0 kg
Vloeistofpompen -12 °C circuit	Pk	D=100 mm, 2 pompen in bedrijf	Breuk, pipe length 5 m, liquid	2×1.10^{-5}	0 kg	5052 kg = Ak + L4k	0 kg	0 kg
Droge zuigleiding -12 °C circuit	L7k	D=200 mm, L=10 m	Breuk, pipe length 5 m, vapor	10×1.10^{-7}	0.7 kg	336.5 kg	0 kg	0 kg
Compressoren -12 °C circuit	Ck	D=200 mm, L=10 m, 3 compressoren in bedrijf	Breuk, pipe length 5 m, vapor	3×1.10^{-5}	0 kg	337.2 kg = L7 + flash Ak	0 kg	0 kg

Item	Code	Kenmerken	Scenario	Frequentie [jaar ⁻¹]	Massa onderdeel ¹⁾	Nalevering upstream	Nalevering downstream	Pombijdrage
Persgasleiding -12 °C circuit	L1k	D=250 mm, L=20 m	Breuk, pipe length 10 m, vapor	20×1.10 ⁻⁷	6.3 kg	0 kg	62.3 kg = Flash COk	360 kg = 60 sec × 3 comp × 2 kg/s
Persgasleiding -40 °C circuit	L1v	D=200 mm, L=10 m	Breuk, pipe length 5 m, vapor	10×1.10 ⁻⁷	0,4 kg	0 kg	336.5 kg = Flash Ak	360 kg = 60 sec × 2 comp × 3 kg/s
Compressoren -40 °C circuit	Cv		Niet modelleren op grond van de temperatuur					
Droge zuigleiding -40 °C circuit	L7v		Niet modelleren op grond van de temperatuur					
Natte zuigleiding -40 °C circuit	L6v		Niet modelleren op grond van de temperatuur					
Pomppersleiding -40 °C circuit	L5v		Niet modelleren op grond van de temperatuur					
Vloeistofvalleiding -40 °C circuit	L4v		Niet modelleren op grond van de temperatuur					

¹⁾ vloeistofdichtheden worden berekend met SAFETI-NL: $\rho_L = \frac{61.02028}{0.25443 \left[1 + \left(1 - \frac{T}{405.65} \right)^{0.2888} \right]}$ met T in Kelvin en ρ_L in kg/m³

dampdichtheden worden berekend als $\rho_v = \frac{0.01703 * P}{8.314 * T}$ met P in Pascal en T in Kelvin

²⁾ Een faalkans in de orde van 0,001 dient onderbouwd te worden

Tabel 9 Scenario kenmerken installatie onderdelen buiten

Item	Code	Kenmerken	Scenario	Frequentie [jaar ⁻¹]	Massa onderdeel ¹⁾	Nalevering upstream	Nalevering downstream	Pompbijdrage
Natte zuigleiding -12 °C circuit	L6k	D=65 mm, L=125 m	Breuk, pipe length 112,5 m, vapor	125×1.10^{-6}	50.9 kg = 225 m, 10% vloeistof	134.6 kg = Flash Vk	336.5 kg = Flash Ak	480 kg = 120 sec × 2 pompen × 2 kg/s
			Lek 6,5 mm, vapor	125×5.10^{-6}	50 kg 225 m, 10% vloeistof	135 kg = Flash Vk	338 kg = Flash Ak	480 kg = 120 sec × 2 pompen × 2 kg/s
Pomppersleiding -12 °C circuit	L5k	D=50 mm L=125 m	Breuk, pipe length 212,5 m (100 m extra stromings- weerstand door stilstaande pomp), liquid	125×1.10^{-6}	292.7 kg = 225 m	732.8 kg = Lekfractie Ak door pomp	134.6 kg = Flash Vk	480 kg = 120 sec × 2 pompen × 2 kg/s
			Lek 5 mm, liquid	125×5.10^{-6}	292.7 kg = 225 m	732.8 kg = Lekfractie Ak door pomp	134.6 kg = Flash Vk	240 kg = 120 sec × 2 kg/s
Pomppersleiding -40 °C circuit	L5v	D=50 mm L=125 m	Breuk, pipe length 87,5 m, liquid	125×1.10^{-6}	237.1 kg = 175 m	0 kg = Lekfractie door pomp (T<248 K)	23 kg	480 kg = 120 sec × 2 pompen × 2 kg/s
			10 m pump head toevoegen ¹¹	125×5.10^{-6}	237.1 kg = 175 m	0 kg = Lekfractie door pomp (T<248 K)	23 kg	480 kg = 120 sec × 2 pompen × 2 kg/s
Heet gas ontdooileiding -12	L8k	D=100 mm, L=125 m,	Breuk, pipe	$(5/7) \times (2/3)$	11.3 kg =	0 kg	0 kg	240 kg =

¹¹ Met 10 m vloeistofkolom wordt een normale vloeistofsnelheid in de leiding bereikt (1.5 m/s). Dit is een benadering voor de drijvende kracht bij een klein leidinglek.

Item	Code	Kenmerken	Scenario	Frequentie [jaar ⁻¹]	Massa onderdeel ¹⁾	Nalevering upstream	Nalevering downstream	Pombijdrage
°C circuit		(2/3) van de werktijd op druk	length 112,5 m, vapor	$\times 125 \times 3.10^{-7}$	225 m			120 sec \times 2 kg/s
			Lek 10 mm, vapor	$(5/7) \times (2/3)$ $\times 125 \times 2.10^{-6}$	11.3 kg = 225 m	0 kg	0 kg	240 kg = 120 sec \times 2 kg/s
Heet gas ontdooileiding -40 °C circuit	L8v	D=100 mm, L=125 m (2/3) van de werktijd op druk	Breuk, pipe length 87.5 m, vapor	$(5/7) \times (2/3)$ $\times 125 \times 3.10^{-7}$	8.8 kg = 175 m	0 kg	0 kg	360 kg = 120 sec \times 3 kg/s
			Lek 10 mm, vapor	$(5/7) \times (2/3)$ $\times 125 \times 2.10^{-6}$	8.8 kg = 175 m	0 kg	0 kg	360 kg = 120 sec \times 3 kg/s
Natte zuigleiding -40 °C circuit	L6v		Niet modelleren op grond van temperatuur en fase (zie 20.2.3)					

¹⁾ vloeistofdichtheden worden berekend met SAFETI-NL: $\rho_L = \frac{61.02028}{0.25443 \left[1 + \left(\frac{T}{405.65} \right)^{0.2888} \right]}$ met T in Kelvin en ρ_L in kg/m³

dampdichtheden worden berekend als $\rho_v = \frac{0.01703 * P}{8.314 * T}$ met P in Pascal en T in Kelvin



Het plaatsgebonden risico wordt bepaald door de buiten gelegen vloeistofvoerende installatiedelen. Dit zijn in het algemeen de werkelijk buiten gelegen vloeistofvoerende delen (de pomppersleidingen) en de scenario's die als buiten gemodelleerd moeten worden, omdat het *in-Building release* model niet toepasbaar is. Wanneer de buiten gelegen leidingdelen relatief kort zijn en/of de ammoniaktemperatuur laag is, hebben de scenario's instantaan bezwijken van het afscheidervat in de machinekamer, breuk vloeistofpomp en breuk vloeistofvalleiding mogelijk een belangrijke bijdrage aan het plaatsgebonden risico.

Activiteit	Rekenvoorschrift
3.1. Het opslaan in een opslagtank van giftige of bijtende gassen van ADR-klasse 2, bedoeld in artikel 3.22, aanhef en onder a, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om: a. meer dan 1.500 kg ammoniak	Hoofdstuk 22
3.1. Het opslaan in een opslagtank van giftige of bijtende gassen van ADR-klasse 2, bedoeld in artikel 3.22, aanhef en onder a, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om: b. meer dan 1 m ³ andere giftige of bijtende gassen van ADR-klasse 2	Aansluiten bij module 1.
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, aanhef en onder b, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om meer dan 1 m ³ .	Aansluiten bij module 1.
3.3. Het opslaan in een opslagtank van meer dan 13 m ³ propaan of propeen, bedoeld in artikel 3.22, 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 ; b. meer dan 50 m ³ .	Hoofdstuk 23
3.4. Het opslaan in een opslagtank van brandbare gassen van ADR-klasse 2, bedoeld in artikel 3.22, aanhef en onder e, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om meer dan 13 m ³ acetyleen.	Aansluiten bij module 1.

22 E.3.1.a. Rekenvoorschrift het opslaan in een opslagtank van giftige of bijtende gassen van ADR-klasse 2, bedoeld in artikel 3.22, aanhef en onder a, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om: a. meer dan 1.500 kg ammoniak

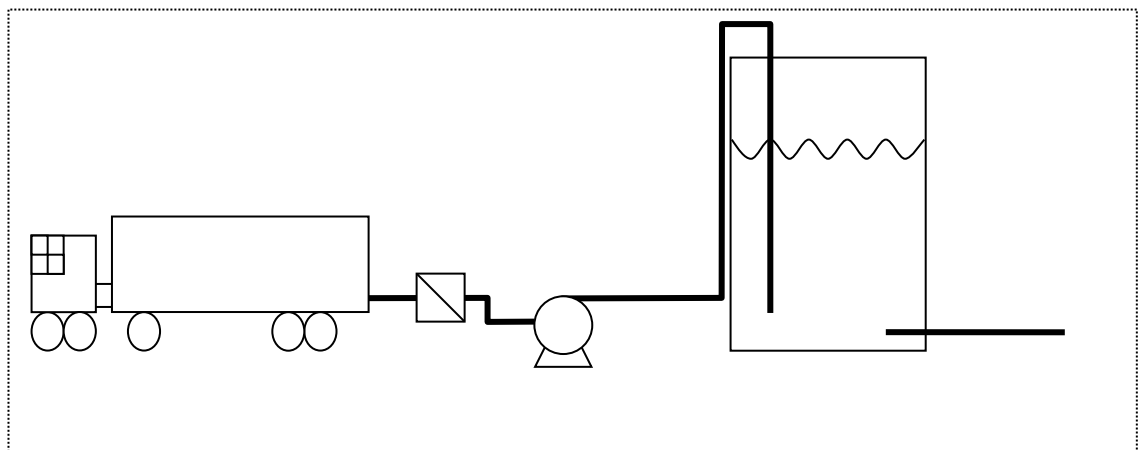
22.1 Inleiding

Voor het bepalen van de risico's van de inrichtingen met ammoniak, zoals bedoeld in dit hoofdstuk, zijn er in paragraaf 22.2 faalscenario's gedefinieerd. De risico's worden bepaald door zowel opslag van ammoniak, de verlading van ammoniak als het leveren van ammoniak aan afnemers. De volgende activiteiten/installaties zijn beschreven:

- Tankauto
- Verlading tankauto
- Reservoir
- Afleverleiding

In Figuur 6 is het ammoniakstelsel geschetst zoals dat in deze handleiding wordt beschouwd. Indien het systeem hier substantieel van afwijkt dient onderzocht te worden of er installatieonderdelen moeten worden weggelaten of toegevoegd. De risicoanalyse van andere activiteiten wordt in afzonderlijke hoofdstukken van deze handleiding beschreven.

Ammoniak kan zowel gekoeld als onder druk worden opgeslagen. De faalfrequenties zijn voor beide situaties gelijk, de uitstroomcondities verschillen.



Figuur 6 Systeem afbakening ammoniak

22.2 Scenario's

In deze paragraaf zijn de scenario's gedefinieerd van de geselecteerde installaties/activiteiten.

22.2.1 Tankauto

De scenario's voor de tankauto zijn gegeven in Tabel 10 Scenario's voor tankauto.

Tabel 10 Scenario's voor tankauto

Scenario	Frequentie (jaar ⁻¹)
T.1 Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	$f_t \times 5,0 \cdot 10^{-7}$
T.2 Vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting	$f_t \times 5,0 \cdot 10^{-7}$

Opmerkingen:

- De scenario's worden gecorrigeerd voor de totale tijdsduur dat de tankauto op de locatie aanwezig is middels de factor f_t .

$$f_t = \frac{a \times t}{8766}$$

Met:

- a: het aantal verladingen per jaar;
 t: de tijdsduur van een enkele verlading, in uren;
 In een gemiddeld jaar zitten 8766 uren.

22.2.2 Verlading tankauto

De scenario's voor de verlading van de tankauto zijn gegeven in Tabel 11. Bij deze scenario's is ervan uitgegaan dat een doorstroombeveiliging aanwezig is die bij breuk sluit. Deze hoort volgens [5] aanwezig te zijn. .

Tabel 11 Scenario's voor tankauto verlading

Scenario	Frequentie (jaar ⁻¹)	
	losslang	losarm
Losslang / losarm scenario's	losslang	losarm
L.1 Breuk losslang / losarm – doorstroombegrenzer sluit	$f_v \times f_d \times 4,0 \cdot 10^{-6}$	$f_v \times f_d \times 3,0 \cdot 10^{-8}$
L.2 Breuk losslang / losarm – doorstroombegrenzer sluit niet	$f_v \times (1-f_d) \times 4,0 \cdot 10^{-6}$	$f_v \times (1-f_d) \times 3,0 \cdot 10^{-8}$
L.3 Lekkage losslang / losarm	$f_v \times 4,0 \cdot 10^{-5}$	$f_v \times 3,0 \cdot 10^{-7}$

Opmerkingen:

1. Indien de doorstroombegrenzer in werking treedt is de uitstroomduur 5 seconden;
2. Bij de scenario's is er van uitgegaan dat er een doorstroombegrenzer is aangebracht. De f_d factor die gehanteerd moet worden voor de doorstroombegrenzer is afhankelijk van de uitstroming ten opzichte van de instelwaarde van de doorstroombegrenzer:
 - o Uitstroomwaarde \leq instelwaarde: $f_d = 0$
 - o Instelwaarde $<$ uitstroomdebiet $\leq 1,2 \times$ instelwaarde: $f_d = 0,88$
 - o Uitstroomdebiet $\geq 1,2 \times$ instelwaarde: $f_d = 0,94$;
3. Aangenomen is dat de doorstroombeveiliging niet in werking treedt bij lekkage;

De basisfaalfrequenties voor de loslang / losarm zijn gegeven per uur. Deze scenario's worden daarom gecorrigeerd voor het aantal uren dat er wordt verladen middels de factor f_v :

$$f_v = a \times t$$

Met:

- a: het aantal verladingen per jaar
t: de tijdsduur van een enkele verlading, in uren;

4. Ammoniak wordt in deze risicoberekeningen beschouwd als een zuiver toxische stof, waarvoor geen domino effecten worden gedefinieerd (BLEVE ten gevolge van brand).

22.2.3 Reservoir

De scenario's voor het reservoir zijn samengevat in Tabel 12.

Tabel 12 Scenario's voor het reservoir

Scenario	Frequentie (jaar ⁻¹)
R.1 Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	$5,0 \cdot 10^{-7}$
R.2 Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 minuten in een continue en constante stroom	$5,0 \cdot 10^{-7}$
R.3 Continu vrijkomen van de inhoud uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	$1,0 \cdot 10^{-5}$

Opmerkingen:

1. Uitgangspunt is een reservoir met een maximaal toegestane vullingsgraad;

22.2.4 Afleverleiding

De scenario's voor de afleverleiding met ammoniak onder druk zijn samengevat in Tabel 13.

Tabel 13 Scenario's voor afleverleiding met ammoniak

Scenario	Frequentie ($m^{-1} \text{ jaar}^{-1}$)		
	Nominale diameter < 75 mm	75 mm \leq nominale diameter \leq 150 mm	Nominale diameter > 150 mm
A.1 Breuk van de leiding	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$
A.2 Lek met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter, maximaal 50 mm	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$

23 E.3.3 Rekenvoorschrift andere insluitsystemen - a. meer dan 13 m³ en ten hoogste 50 m³ propaan of propane met een jaarlijkse doorzet van meer dan 600 m³ of b. meer dan 50 m³.

23.1 Inleiding

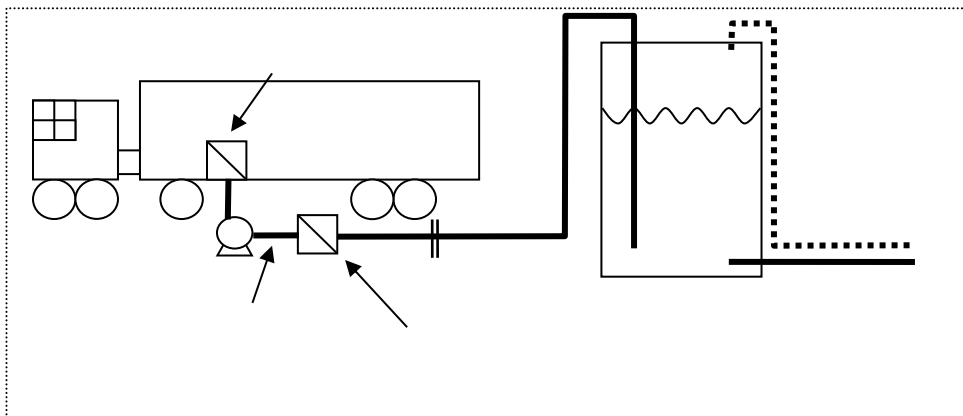
Voor insluitsystemen met meer dan 13 m³ propaan beschrijft dit document de wijze waarop de externe veiligheidsrisico's bepaald moeten worden. Dit document is tekstueel verduidelijkt en inhoudelijk gewijzigd ten opzicht van de voorgaande versies van 29 maart 2010 en 20 oktober 2009.

23.2 Scenario's en faalfrequenties

De risico's voor inrichtingen met propaan worden bepaald door zowel de opslag als de verlading van propaan. De volgende activiteiten/installaties zijn beschreven:

- Tankauto
- Verlading tankauto (laden en lossen)
- Reservoir

In Figuur 7 is het propaansysteem geschetst zoals dat dit rekenvoorschrift wordt beschouwd. Indien het systeem hier substantieel van afwijkt, dient onderzocht te worden of er installatieonderdelen moeten worden weggelaten of toegevoegd.



Figuur 7 Systeem afbakening propaan.

23.2.1 Tankauto

De scenario's voor de tankauto zijn gegeven in Tabel 14.

Tabel 14 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 basisaalfrequenties voor de tankauto zijn gegeven per jaar. De scenario's worden gecorrigeerd voor de totale tijdsduur per jaar dat de tankauto op de locatie aanwezig is middels de tijdsfractie aanwezigheid f_a :

$$f_a = \frac{a \times t_v + t_s}{8766} \quad (1)$$

Met:

a = het aantal verladingen per jaar;

t_v = de tijdsduur van een verlading (verlading + extra tijd voor aan en afkoppelen), in uren per verlading;

t_s = de tijdsduur van eventuele stalling van de tankwagen, in uren per jaar. In een jaar zitten 8766 uren;

2. Wanneer de exacte tankauto dimensies onbekend zijn, moet worden uitgegaan van een tankauto van 60m^3 (26.700kg).

23.2.2 *Verlading tankauto*

De scenario's voor de verlading zijn gegeven in Tabel 15. Bij deze scenario's is ervan uitgegaan dat een doorstroombeveiliging aanwezig is die bij breuk sluit. De scenario's kunnen worden verdeeld in pompsenario's en losslang / losarm scenario's.

Tabel 15 Scenario's voor verlading van de tankauto onder druk.

Scenario	Frequentie (per jaar)
Losarm	
L.1 Breuk losarm – doorstroombegrenzer sluit	$a \times t_v \times (1-f_d) \times 3,0 \times 10^{-8}$
L.2 Breuk losarm – doorstroombegrenzer sluit niet	$a \times t_v \times f_d \times 3,0 \times 10^{-8}$
L.3 Lekkage losslang	$a \times t_v \times 3,0 \times 10^{-7}$
Losslang	
L.1 Breuk losslang – doorstroombegrenzer sluit	$a \times t_v \times (1-f_d) \times 4,0 \times 10^{-7}$
L.2 Breuk losslang – doorstroombegrenzer sluit niet	$a \times t_v \times f_d \times 4,0 \times 10^{-7}$
L.3 Lekkage losslang	$a \times t_v \times 4,0 \times 10^{-5}$

Opmerkingen:

1. Wanneer de doorstroombegrenzer in werking treedt, is de uitstroomduur 5 seconden;

2. Bij de scenario's is er van uitgegaan dat er een doorstroombegrenzer is aangebracht. De werking is afhankelijk van de verhouding tussen het berekende uitstroomdebiet en de instelwaarde van de doorstroombegrenzer. Hierbij gelden de faalkansen zoals weergegeven in Tabel 16.

Tabel 16 Faalkansen doorstroombegrenzer (f_d).

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

3. Aangenomen is dat de doorstroombegrenzer niet in werking treedt bij lekkage;
4. De basisfaalfrequenties voor de loslang / losarm zijn gegeven per uur. Deze scenario's worden daarom gecorrigeerd voor het aantal uren dat er per jaar wordt verladen middels: $a \times t_v$;
5. Voor de scenario's L.1 en L.2 wordt een leidinglengte tot breuk van 5 meter aangehouden in de modellering;
6. De breukfrequentie voor loslangen is een factor 10 lager dan de standaard faalfrequentie voor Brzo-inrichtingen.

Bij verladingen met een tankauto met propaan is een BLEVE ten gevolge van een intern domino-effect mogelijk. Er worden drie verschillende oorzaken onderscheiden: brand tijdens verlading, brand in de omgeving en een externe beschadiging. De scenario's voor de domino-effecten zijn gegeven in Tabel 17.

Tabel 17 Scenario's domino-effecten tankauto tijdens verlading.

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

Opmerkingen:

1. Scenario B.1: Tijdens verlading kan een langdurige lekkage ontstaan, wat na ontsteking uiteindelijk tot een BLEVE van de tankauto kan leiden. Voor de BLEVE wordt uitgegaan van de maximale vullingsgraad;
2. De basisfaalfrequentie voor brand tijdens verlading is gegeven per uur. Het scenario B.1 wordt daarom gecorrigeerd voor het aantal uren dat er per jaar wordt verladen middels: $a \times t_v$.
 a = het aantal verladingen per jaar;
 t_v = de tijdsduur van een verlading (verlading + extra tijd voor aan en afkoppelen), in uren per verlading;
3. Voor de scenario's B.2 t/m B.7 kan rekening worden gehouden met variërende vulgraden van de tankauto (100%, 67% en 33%). De drie verschillende vulgraden worden evenredig verdeeld over de tijd dat de tankauto aanwezig is voor het verladen van LPG. (33% van de tijd is de tankauto 100% gevuld, etc.);
4. De basisfaalfrequentie voor de scenario's B.2 t/m B.7 zijn gegeven per verlading waarbij de aanwezigheid van de tankwagen hiervoor 0,5 uur is per bezoek. Deze scenario's worden daarom gecorrigeerd voor het aantal uren dat een tankwagen per jaar aanwezig is voor verlading middels: $2 \times a \times t_v$.
 a = het aantal verladingen per jaar;
 t_v = de tijdsduur van een verlading (verlading + extra tijd voor aan en afkoppelen), in uren per verlading;
5. De scenario's B.1 t/m B.4 betreffen een warme BLEVE. Voor deze scenario's is de barstdruk gelijk aan 23,5 barg;
6. De BLEVE-frequentie bij brand in de omgeving is afhankelijk van de vulgraad. Voor de scenario's B.2, B.3 en B.4 gelden respectievelijk vervolgschans van 19% (vulgraad 100%), 46% (vulgraad 67%) en 73% (vulgraad 33%). Deze scenario's mogen buiten beschouwing worden gelaten wanneer het om een vergunningsplichtige inrichting gaat en de afstanden vanaf de opstelplaats van de tankauto tot brandbare objecten en gebouwen voldoen aan de afstanden uit de PGS 19 (ongeacht het aantal verladingen);
7. Scenario's B.5, B.6 en B.7 betreffen een koude BLEVE waarbij de barstdruk gelijk is aan de verzadigingsdruk bij omgevingstemperatuur. Deze scenario's mogen buiten beschouwing worden gelaten wanneer de tankauto op een geïsoleerde niet voor een ieder toegankelijke losplaats binnen een vergunningsplichtige inrichting staat opgesteld en er maatregelen zijn getroffen om externe beschadiging tegen te gaan;
8. Wanneer de verlading uitsluitend plaatsvindt met tankauto's die zijn voorzien van een hittewerende coating, kan voor scenario's B.1, B.2, B.3 en B.4, de BLEVE frequentie verlaagd worden met een factor 20.

23.2.3 Reservoir

De scenario's voor het reservoir zijn gegeven in Tabel 18.

Tabel 18 Scenario's voor het propaanreservoir onder druk.

Scenario	Frequentie (per jaar)
R.1 Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud	5×10^{-7}

R.2 Vrijkomen van de gehele inhoud in 10 minuten in een continue en constante stroom	5×10^{-7}
R.3 Continu vrijkomen van de inhoud uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm	1×10^{-5}

Opmerkingen:

1. Uitgangspunt is een reservoir met een maximaal toegestane vullingsgraad;
2. Voor scenario R.1 geldt dat bij een ondergrondse of ingeterpte reservoirs geen BLEVE kan optreden. Instantaan falen is wel mogelijk;
3. Voor scenario's R.2 en R.3 geldt dat bij ondergrondse reservoirs de uitstroming in verticale richting dient te worden gemodelleerd en bij ingeterpte of bovengrondse reservoirs horizontaal.

24 E.4 Rekenvoorschrift opslagtank voor vloeistoffen en tankcontainer of verpakking die wordt gebruikt als opslagtank voor vloeistoffen

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII E.4 moet worden aangesloten bij module 1.

E.5 Rekenvoorschrift opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking

Activiteit	Rekenvoorschrift
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 26
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 26
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 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: a. in een opslagplaats met een oppervlakte van meer dan 100 m ²	Hoofdstuk 27

<p>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, verpakkings-groep I, die in de open lucht worden gelost of geladen</p>	
--	--

26 E.5.1 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 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.

26.1 Opslag van gascilinders in een opslagvoorziening buiten

26.1.1 Scenario's

De scenario's en faalfrequenties voor een gascilinder gelden voor opslagvoorzieningen voor gascilinders en cilinderpakketten, inclusief de aan- en afvoer van de gascilinders en cilinderpakketten. De scenario's en faalfrequenties voor een gascilinder zijn gegeven in Tabel 19 de scenario's en faalfrequenties voor een cilinderpakket in Tabel 20.

Tabel 19 Scenario's voor een gascilinder

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

Tabel 20 Scenario's voor een cilinderpakket met N cilinders

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

Opmerkingen:

- Ook ongevallen als gevolg van het vullen van gascilinders zijn inbegrepen bij de faalfrequentie uit Tabel 19 en Tabel 20. Vandaar dat de vermelde scenario's en faalfrequenties ook voor vulstations voor gascilinders kunnen worden gehanteerd.
- Een opslagvoorziening met overkapping maar die verder grotendeels open is, kan worden beschouwd als een buitenopslag.

26.2 Opslag van gascilinders binnen in een gebouw

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

- de afmetingen van de ruimte (of kast) waarin de gascilinders zijn opgeslagen;
- de ventilatievoud van de betreffende ruimte (of kast);
- verdunningseffecten door aangezogen lucht uit de betreffende ruimte (of kast). Indien de afgezogen lucht samen met die uit andere ruimten wordt afgevoerd, moet daar ook rekening mee worden gehouden;
- afvoerhoogte (schoorsteen) en/of gebouwinvloeden (lijwervel).

De scenario's en faalfrequenties zijn identiek aan die voor opslag buiten (Tabel 19 en Tabel 20).

27 E.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 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: 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; b. in een opslagplaats met een oppervlakte van meer dan 2.500 m²; of c. verpakkingseenheden van meer dan 100 kg met een stof van ADR-klasse 6.1, verpakkings-groep I, die in de open lucht worden gelost of geladen

27.1 Ontwikkeling brand: brandscenario's en kansen

27.1.1 Definitie

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

De omvang van een brandscenario wordt bepaald door:

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

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

- De grootte van het brandcompartiment;
- Het brandbestrijdingssysteem operationeel in het brandcompartiment. In het handboek brandbestrijdingssystemen [6] zijn beschrijvingen te vinden van de

voorkomende brandbestrijdingssystemen. In PGS 15 [7] zijn acht brandbeveiligingsinstallaties beschreven die momenteel als stand der techniek worden beschouwd, waaronder de (semi-) automatische monitorinstallatie (die in het genoemde handboek niet voorkomt).

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

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

27.1.2 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.

27.1.3 Bepaling kans op brand in een opslagvoorziening

De scenario's voor brand in een opslagvoorziening en de bijbehorende frequenties zijn gegeven in Tabel 21.

Tabel 21 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:

- Het vrijkomen van toxische verbrandingsproducten is alleen relevant wanneer in de opslagruimte brandbare (gevaarlijke) stoffen zijn opgeslagen en de verpakte (gevaarlijke) stoffen de elementen stikstof, zwavel, chloor, fluor of

broom bevatten. De stikstof-, zwavel of chloor(flour/broom)houdende stoffen hoeven zelf niet brandbaar te zijn.

- De brandfrequentie geldt per brandcompartiment. Voor opslagvoorzieningen die (nog) niet voldoen aan PGS 15 [7] (maar aan de CPR 15 richtlijn, [8] of [9]), geldt de frequentie per opslagruimte. Wanneer in de rest van dit hoofdstuk ergens "brandcompartiment" staat vermeld, kan dit voor opslagvoorzieningen conform CPR-15 als "opslagruimte" worden gelezen.
- Het beschermingsniveau wordt bepaald door de aard van de opgeslagen gevaarlijke stoffen. Indien stoffen onder een 'hogere' (strikter) beschermingsniveau worden opgeslagen dan voorgeschreven in PGS 15, geldt de brandfrequentie behorende bij het in PGS 15 voorgeschreven beschermingsniveau.

27.1.4 *Bepaling kans op brand van een bepaalde omvang*

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

Een brandscenario wordt omschreven door de volgende drie grootheden:

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

In *Tabel 22* is per brandbestrijdingssysteem voor brandcompartimenten met een oppervlak tot 2.500 m² de (vervolg)kansen op brand van een bepaalde omvang en de ventilatievoud voor verschillende brandoppervlakken samengevat (de brandduur is weergegeven in *Tabel 23*).

Tabel 22 Ventilatievoud en (vervolg)kansen op brand van een bepaalde omvang per brandbestrijdingssysteem (als percentage van de totale brandkans, genoemd in Tabel 21)

Brandbestrijdingssysteem	Ventilatievoud	Kans op brand van een bepaalde omvang				
		20 m ²	50 m ²	100 m ²	300 m ²	900 m ²
Beschermingsniveau 1						
1.1a Automatische sprinklerinstallatie	4 & ∞	45%	44%	10%	0,5%	0,5%
1.1b idem sprinklers in rekken	4 & ∞	63%	26%	10%	0,5%	0,5%
1.2 Automatische deluge installatie	4 & ∞	63%	26%	10%	0,5%	0,5%
1.3 Automatische blusgasinstallatie	4 & ∞	99%	-	-	0,5%	0,5%
1.4 (Semi-) automatische monitorinstallatie	∞	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
1.5 Automatische hi-ex outside-air installatie	∞	89%	9%	1%	0,5%	0,5%
1.6 Automatische hi-ex inside-air installatie	4 & ∞	89%	9%	1%	0,5%	0,5%
1.7 Bedrijfsbrandweer - handbediend deluge ¹²	4 & ∞	35%	45%	10%	5%	5%
1.8 Bedrijfsbrandweer – binnenaanval	∞	-	20%	30%	28%	22%
1.9 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door bedrijfsbrandweer ¹²	4 & ∞	-	20%	30%	25%	25%
1.10 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer	4 & ∞	-	-	-	60%	40% ¹³
Beschermingsniveau 2 – inzetijd						

¹² De handbediende deluge-installaties 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.

¹³ Bij "Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer" geldt een maximaal opslagoppervlak van 500 m².

< 6 min						
2.1a ADR klasse 3 in kunststof	∞	-	-	-	72%	28%
2.1b Idem NIET in kunststof	∞	-	20%	30%	28%	22%
2.1c Geen ADR klasse 3	∞	-	20%	30%	28%	22%
Beschermingsniveau 2 – inzetijd < 15 min						
2.2a ADR klasse 3 in kunststof	∞	-	-	-	55%	45%
2.2b Idem NIET in kunststof	∞	-	-	-	78%	22%
2.2c Geen ADR klasse 3	∞	-	-	-	78%	22%
Beschermingsniveau 3	∞	-	-	-	78%	22%

Opmerkingen:

- De in *Tabel 22* vermelde brandbestrijdingssystemen worden beschreven in het handboek brandbestrijdingssystemen [6]. In PGS 15 [7] zijn acht brandbeveiligings-installaties beschreven die momenteel als stand der techniek worden beschouwd, waaronder de (semi-)automatische monitorinstallatie (die in het genoemde handboek niet voorkomt).
- Het totaal aan bijdragen van de verschillende brandoppervlakken bedraagt altijd 100% van de relevante faalkans als gegeven in *Tabel 21*.
- Bij de meeste brandbestrijdingssystemen onder beschermingsniveau 1 moet gerekend worden met een ventilatievoud van 4 en een onbeperkte ventilatievoud (∞). Wanneer de deuren gedurende de brandduur (zie *Tabel 23*) gesloten zijn, bedraagt de ventilatievoud 4. Indien tijdens een brand de deuren niet sluiten, is de ventilatievoud onbeperkt. De kans dat deuren niet sluiten, is afhankelijk van het type deuren [¹⁰]:
 - Automatische, bij brand zelfsluitende deuren: 0,02
 - Handbediende deuren 0,10.

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

- Bij een brandscenario waarbij de ventilatievoud 4 is, bedraagt het brandoppervlak maximaal 300 m². Branden met een oppervlak groter dan 300 m² zijn namelijk altijd zuurstofbeperkt, omdat de aanwezigheid en toevoer van zuurstof kleiner is dan de zuurstofbehoefte van de brand.
- Indien aannemelijk kan worden gemaakt dat de ventilatieomstandigheden door bijvoorbeeld speciale voorzieningen afwijken van de volgens *Tabel 22* te hanteren ventilatievouden, mogen afwijkende (lagere) ventilatievouden worden gehanteerd. Indien een opslagvoorziening onder beschermingsniveau 3 bijvoorbeeld niet in directe verbinding staat met de buitenlucht en de deuren bij brand automatisch zelf sluiten, moet met een ventilatievoud 4 en ∞ worden gerekend (in plaats van alleen ∞).
- Bij opslagvoorzieningen kleiner dan 900 m² worden de vervolgcansen van de brand-oppervlakken groter dan die van de betreffende opslagvoorziening opgeteld bij de kans op brand ter grootte van de opslagvoorziening. De vervolgcans voor het brandscenario in een 200 m² opslagvoorziening is bijvoorbeeld gelijk aan de som van de vervolgcansen voor 300 en 900 m².

- Een brand in een opslag voorzien van een (semi-)automatische monitorinstallatie veroorzaakt een verwaarloosbaar extern veiligheidsrisico: door een snel ingezette blusactie met een grote hoeveelheid water wordt de brand ofwel snel geblust, ofwel de blusactie faalt in zijn geheel waardoor er een volledige ontwikkeling van de brand plaats vindt. In het laatste geval treedt bij deze buitenopslagen pluimstijging op (waardoor op leefniveau geen letale effecten waarschijnlijk zijn). Dit geldt ook voor andere onoverdekte brandcompartimenten.
- Het maximale brandoppervlak is het oppervlak van het brandcompartiment of - indien de opslagvoorziening niet aan PGS 15 voldoet - de opslagruimte. Dit oppervlak betreft het vloeroppervlak van de gehele ruimte (en dus niet alleen het palletoppervlak): bij brand kunnen stellingen (stapelingen) namelijk instorten of omvallen en kan de inhoud uitstromen. Bij opslag van (onbrandbare) stoffen die niet bij brand betrokken kunnen raken, mag van een kleiner maximaal brandoppervlak worden uitgegaan, namelijk het vloeroppervlak dat niet door deze stoffen wordt ingenomen.
- Het maximale brandoppervlak waarbij geen pluimstijging optreedt, bedraagt 900 m². Grotere brandoppervlakken dan 900 m² hoeven daarom niet te worden gemodelleerd.
- Wanneer spuitbussen en/of gaspatronen worden opgeslagen, gelden afwijkende brandscenario's. In die situatie worden slechts twee brandscenario's beschouwd, namelijk één met het kleinste brandoppervlak volgens Tabel 22 en één ter grootte van het gehele brandcompartiment. Dit brandoppervlak kan groter zijn dan 900 m², zonder dat pluimstijging wordt aangenomen. De vervolgcans bij het laatstgenoemde brandscenario is 1 – (vervolg)kans op het kleinste brandoppervlak.
- Voor 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 BN 2a gelijk aan die voor BN 2 (8,8 x 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. In Safeti-NL kan dit beschermingsniveau nog niet automatisch worden doorgerekend. De workaround is als volgt:
 - Genereer de standaard scenario's voor een opslagvoorziening onder beschermingsniveau 2.
 - Kies de optie 'user defined scenarios' en zet de vervolgcans voor het scenario met het grootste brandoppervlak op 1 en voor de andere scenario's met de kleinere brandoppervlakken op 0.
- Onder beschermingsniveau 4 mogen alleen onbrandbare en niet-brandonderhoudende stoffen worden opgeslagen. Indien dat het geval is, worden geen externe risico's verwacht en hoeft dus geen QRA te worden opgesteld.

Voor opslag van ADR klasse 3 stoffen gelden volgens PGS 15 onder bepaalde omstandigheden afwijkende maximaal toegestane opslagoppervlakken (ten opzichte van Tabel 22).

27.1.5 *Bepaling brandduur per brandbestrijdingssysteem*

In Tabel 23 is per brandbestrijdingssysteem voor brandcompartimenten met een oppervlak tot 2.500 m² de brandduur en de ventilatievoud voor verschillende brandoppervlakken samengevat.

Tabel 23 Brandduur per brandbestrijdingssysteem

Brandbestrijdingssysteem	Brandduur [minuten]									
	20 m ²		50 m ²		100 m ²		300 m ²		900 m ²	
brandoppervlak	4	∞	4	∞	4	∞	4	∞	4	∞
ventilatievoud	4	∞	4	∞	4	∞	4	∞	4	∞
Beschermingsniveau 1										
1.1a Automatische sprinklerinstallatie	30	30	30	30	30	30	30	30	-	30
1.1b idem sprinklers in rekken	30	30	30	30	30	30	30	30	-	30
1.2 Automatische deluge installatie	30	30	30	30	30	30	30	30	-	30
1.3 Automatische blusgasinstallatie	5	-	-	-	-	-	30	-	-	30
1.4 (Semi-) automatische monitorinstallatie	n.v. t.	n.v. t.	n.v. t.	n.v. t.	n.v. t.	n.v. t.	n.v. t.	n.v. t.	n.v. t.	n.v. t.
1.5 Automatische hi-ex outside-air installatie	-	10	-	10	-	10	-	30	-	30
1.6 Automatische hi-ex inside-air installatie	10	30	10	30	10	30	30	30	-	30
1.7 Bedrijfsbrandweer - handbediend deluge ¹⁴	30	30	30	30	30	30	30	30	-	30
1.8 Bedrijfsbrandweer – binnenaanval	-	-	-	30	-	30	-	30	-	30
1.9 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door bedrijfsbrandweer ^a	-	-	30	30	30	30	30	30	-	30
1.10 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer	-	-	-	-	-	-	30	30	-	30 ¹⁵
Beschermingsniveau 2 – inzetijd < 6 min										
2.1a ADR klasse 3 in kunststof	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30
2.1b Idem NIET in kunststof	-	-	-	30	-	30	-	30	-	30

¹⁴ De handbediende deluge-installatie 1.7 verschilt van 1.9 doordat er in geval van brand slechts een brandkraan moet worden opengedraaid. Bij deluge-installatie 1.9 (en 1.10) moet de watervoorziening met behulp van brandslangen nog gereed worden gemaakt.

¹⁵ Bij "Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer" geldt een maximaal opslagoppervlak van 500 m².

2.1c Geen ADR klasse 3	-	-	-	30	-	30	-	30	-	30
Beschermingsniveau 2 – inzetijd < 15 min										
2.2a ADR klasse 3 in kunststof	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30
2.2b Idem NIET in kunststof	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30
2.2c Geen ADR klasse 3	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30
Beschermingsniveau 3	-	-	-	-	-	-	-	30	-	30

Opmerkingen:

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

27.2 Parameter: Resulterende brandsnelheid [kg/s]

27.2.1 Definitie

De brandsnelheid is de hoeveelheid uitgangproduct die per tijdseenheid verbrandt. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de verbranding volledig is; smeulende branden worden niet beschouwd. De brandsnelheid die voor de modellering wordt gehanteerd, is de minimum waarde van de oppervlaktebeperkte en de zuurstofbeperkte brandsnelheid (zie paragraaf 27.2.2).

27.2.2 Kenmerken

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

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

De brandsnelheid is ook afhankelijk van de verdampingssnelheid van de aanwezige stoffen. Zo dient bij het bepalen van de brandsnelheid rekening te worden gehouden met de aanwezigheid van ADR klasse 3¹⁶ stoffen en spuitbussen, die een hogere verdampingssnelheid hebben dan alle overige (gevaarlijke) stoffen.

De actuele brandsnelheid is daarmee een functie van:

¹⁶ in voorkomende gevallen moet ook het aandeel ADR klasse 2 stoffen meegenomen worden

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

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

27.2.3 *Bepaling maximum (oppervlaktebeperkte) brandsnelheid*

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

$$B_{max} = B \times A$$

waarin

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

B = brandsnelheid [kg/m².s]

A = brandoppervlak [m²]

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

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

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

waarin

B = brandsnelheid [kg/m².s]

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

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

27.2.4 *Bepaling zuurstofbeperkte brandsnelheid*

Wanneer de beschikbare hoeveelheid zuurstof kleiner is dan de voor een oppervlaktebeperkte brand (met maximale brandsnelheid) benodigde hoeveelheid, is de brand zuurstofbeperkt. De brandsnelheid B_{O₂} wordt dan

bepaald aan de hand van de beschikbare hoeveelheid zuurstof. Deze wordt - uitgaande van een gemiddelde samenstelling van de opgeslagen stoffen van $C_aH_bO_cCl_dN_eS_fX$ als gedefinieerd in paragraaf 27.3.3 - als volgt berekend:

$$BO_2 = \Phi_{O_2} \times M_w / ZB$$

met

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

en

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

waarin

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

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

M_w = gemiddelde molgewicht¹⁷ van de gemiddelde samenstelling $C_aH_bO_cCl_dN_eS_fX$ uit paragraaf 27.3 [kg/kmol];

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

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

V = volume van de ruimte [m³];

0,2 = fractie zuurstof in de lucht;

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

1800 = toevoertijd van de zuurstof [s].

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

Voor situaties waarbij de gemiddelde samenstelling van de opgeslagen stoffen niet kan worden bepaald (zoals bij opslag- en transportbedrijven met honderden tot duizenden verschillende stoffen, waarvan de gemiddelde samenstelling per dag sterk kan fluctueren), kan de hierboven beschreven werkwijze niet worden gevolgd. In die gevallen moet worden uitgegaan van een vast stikstof-, chloor- en zwavelgehalte van elk 10%. De denkbeeldige stof $C_{3,90}H_{8,50}O_{1,06}Cl_{0,46}N_{1,17}S_{0,51}P_{1,35}$ voldoet aan dit criterium.

27.2.5 *Bepaling resulterende brandsnelheid*

Om vast te stellen of er sprake is van een oppervlaktebeperkte of van een zuurstofbeperkte brand wordt eerst gekeken naar het betreffende ventilatievoud. Bij onbeperkte ventilatie ($F = \infty$) is de brand altijd oppervlaktebeperkt. Wanneer het ventilatievoud eindig is, is de brand oppervlaktebeperkt tot aan een bepaald brandoppervlak. Bij grotere

¹⁷ Het gewichtsgemiddelde molgewicht is het molgewicht gecorrigeerd voor de aanwezige massa stof.

oppervlakken zal de brand zuurstofbeperkt zijn. Het omslagpunt wordt bepaald door B_{\max} te vergelijken met B_{O_2} :

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

De resulterende brandsnelheid die wordt gebruikt voor het berekenen van de bronsterkte van de toxische verbrandingsproducten en onverbrande (zeer) toxische stoffen (zie paragraaf 27.4 en 27.5), is daarmee de minimum waarde van B_{\max} en B_{O_2} .

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

27.3.1 *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 NO_2 , HCl of SO_2 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.

27.3.2 *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.

27.3.3 *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 $C_I H_{II} O_{III} Cl_{IV} N_V S_{VI} Z$ afzonderlijk het aantal molen N te berekenen en het totaal te sommeren:

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

waarin

N	=	aantal molen stikstof in het brandcompartiment [mol];
<v>	=	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 $C_aH_bO_cCl_dN_eS_fX$ 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 $((Q_{\text{totaal}} \times \overline{\%o_{\text{actief}}}) / \overline{M_w})$:

$$\langle e \rangle = N \times \overline{M_w} / (Q_{\text{totaal}} \times \overline{\%o_{\text{actief}}})$$

waarin

$\overline{M_w}$ = gewichtsgemiddelde¹⁸ molgewicht van de opgeslagen stoffen [kg/mol];

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

$\overline{\%o_{\text{actief}}}$ = 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 $C_aH_bO_cCl_dN_eS_fZ$ van de opgeslagen stoffen verkregen. In paragraaf - is een voorbeeldberekening gegeven.

Opmerkingen:

- Bij (sterk) wisselende samenstelling, zoals bij seizoensgebonden producten, volstaat uiteraard niet een momentopname, maar moet gedurende een jaar op meerdere tijdstippen de samenstelling worden vastgesteld. De uiteindelijk berekende risico's zijn bepalend voor de ruimtelijke ordening en daarom moeten de risicobepalende factoren wel goed in de Wm-vergunning zijn vastgelegd. De gemiddelde samenstelling moet in overleg met het bevoegd gezag bepaald worden. Uitgangspunt hierbij is de vergunde situatie, zodat de gemiddelde samenstelling niet mag worden overschreden gedurende het jaar.
- Verpakte (gevaarlijke) stoffen die niet bij brand betrokken kunnen raken (omdat zij min of meer inert zijn), hoeven niet te worden beschouwd. Stoffen die niet brandbaar zijn, maar bijvoorbeeld bij verhoogde temperatuur door ontleding of verdamping bij een brand betrokken kunnen raken, moeten wel worden beschouwd bij het bepalen van de gemiddelde samenstelling van de aanwezige stoffen (althans indien brandbare stoffen in het opslagcompartiment aanwezig zijn). Niet-brandbare stoffen met een ontledingstemperatuur hoger dan 600°C of een dampspanning lager dan 23 mbar (bij 20°C) worden niet geacht bij een beginnende brand betrokken te raken. Voor waterige oplossingen met een dampspanning lager dan 23 mbar waarbij de stoffendatabases aangeven dat deze bij verhitting kunnen ontleden, zoals zwavelzuur-oplossingen, wordt ervan uit gegaan dat oplossingen <25% niet bij een brand betrokken zullen raken. Voor deze categorie geldt het criterium ten aanzien van de ontledingstemperatuur hoger dan 600°C dus niet.

¹⁸ Het gewichtsgemiddelde molgewicht is het molgewicht gewogen over de aanwezige massa stof.

- Fluor en broom worden meegeteld als chloor: een stof als $C_{14}H_9O_2N_2ClF_2$ met een molmassa van 311 g/mol wordt bijvoorbeeld als $C_{14}H_9O_2N_2Cl_3$ beschouwd waarbij het oorspronkelijke molgewicht van 311 g/mol wordt gehanteerd (i.p.v. 344 g/mol).
- Voor verpakkingsmaterialen en andere hulpstoffen wordt aangenomen dat de molecuul-formule gelijk is aan die van de verpakte (gevaarlijke) stoffen.
- Voor situaties waarbij het bepalen van het stikstof-, chloor- en zwavelgehalte op grote praktische problemen stuit (zoals bij opslag- en transportbedrijven met honderden tot duizenden verschillende stoffen, waarvan de gemiddelde samenstelling per dag sterk kan fluctueren), moet in overleg met het bevoegd gezag een representatieve samenstelling worden bepaald. Een defaultwaarde is een stikstof-, chloor- en zwavelgehalte van 10%.

27.4 Parameter: Bronterm toxische verbrandingsproducten [kg/s]

27.4.1 Definitie

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

27.4.2 Kenmerken

Omrekening op basis van molgewichten en omzettingspercentages.

27.4.3 Bepaling bronterm toxische verbrandingsproducten [kg/s]

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

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

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

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

$$\Phi_{NO_2} = B_{max} \times \overline{\%_{actief}} \times \langle e \rangle \times 46 \times \eta_{NO_2} / M_w$$

$$\Phi_{HCl} = B_{max} \times \overline{\%_{actief}} \times \langle d \rangle \times 36,5 \times \eta_{HCl} / M_w$$

$$\Phi_{SO_2} = B_{max} \times \overline{\%_{actief}} \times \langle f \rangle \times 64 \times \eta_{SO_2} / M_w$$

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

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

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

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

waarin

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

η = omzettingspercentage [kmol/kmol];

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

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

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

27.5.1 Definitie

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

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

27.5.2 Kenmerken

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

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

27.5.3 Bronsterkte en survivalfractie onverbrand toxisch product

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

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

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

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

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

waarin

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

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

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

sf = survivalfractie [-].

Tabel 24 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 ¹⁹		
- opslagen ≤ 300 m ²	10%	30%
- opslagen > 300 m ²	1%	10%
- Brandbestrijdingssysteem 1.5 en 1.8 ^d	1%	10%
Beschermingsniveau 2 of 3	1%	10%
Overige toxische vaste stoffen (granulaat)		
Beschermingsniveau 1, 2 of 3	1%	1%

Opmerkingen:

- Bij de berekeningen wordt per brandcompartiment uitgegaan van één survivalfractie (uit Tabel 24) voor alle brandscenario's: 1%, 10% of 30%. Indien slechts een beperkt deel van de opgeslagen ADR klasse 6.1 verpakingsgroep I of II stoffen hoger dan 1,80 meter wordt opgeslagen, moet voor al deze (zeer) toxische stoffen de survivalfractie behorende bij een opslaghoogte > 1,80 meter worden gehanteerd.
- Indien naast toxische vloeistoffen en poeders tevens toxische vaste stoffen (granulaat) worden opgeslagen, moet met een gewichtsgemiddelde

¹⁹ De nummers corresponderen met de brandbestrijdingssystemen

survivalfractie worden gerekend. Bij een opslagvoorziening voorzien van een automatische sprinklerinstallatie ($\leq 300 \text{ m}^2$) waarbij tweederde van de aanwezige toxische stoffen uit granulaat bestaat, bedraagt de rekenwaarde voor de survivalfractie bij een opslaghoogte $\leq 1,80$ meter bijvoorbeeld 4% ($2/3 \times 1\% + 1/3 \times 10\%$).

- Bij ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I of II stoffen met bijkomend gevaar klasse 3 wordt er van uitgegaan dat er geen onverbrand product vrijkomt.

27.5.4 Toxiciteit onverbrand toxisch product

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

$$\begin{aligned} \text{Verpakkingsgroep I:} & \quad Pr = -5,47 + \ln (C^2 \times t) \\ \text{Verpakkingsgroep II:} & \quad Pr = -9,76 + \ln (C^2 \times t) \end{aligned}$$

waarin

C = concentratie [ppmv]
t = blootstellingsduur [min]

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

27.6.1 Definitie

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

27.6.2 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.

27.6.3 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 25.

Tabel 25 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 V.2b Gelijktijdig falen van twee verpakkingen met een zeer toxische vloeistof	$0,9 \times 10^{-5}$ $0,1 \times 10^{-5}$

Opmerkingen:

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

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

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

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

waarin

- $\Phi_{V,1}$ = bronsterkte ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I [kg]
 $f_{<10\mu\text{m}}$ = fractie van de deeltjes met een diameter $\leq 10 \mu\text{m}$; deze fractie kan na inhalatie door mensen schade veroorzaken [-]

p = verpakkingsgrootte[kg]. Deze primaire verpakking kan een kleinere hoeveelheid zijn dan de in Tabel 25 genoemde verpakkingseenheid;
 $0,1$ = aanname dat 10% van de verpakkingsinhoud zal vrijkomen [-]

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

Voor het modelleren van het vrijkomende inhaleerbare poeder kan gebruik worden gemaakt van de in paragraaf 27.5.4 vermelde dosis-effect relatie voor verpakkingsgroep I:

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

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

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

- Bij de berekening van de bronsterkte wordt ervan uitgegaan dat het vat volledig faalt, waarbij de vloeistof een plas op de bodem veroorzaakt.

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

27.7 Overige invoerparameters in SAFETI-NL

De scenario's moeten worden ingevoerd met het 'warehouse'-model in SAFETI-NL. Hierbij gelden de volgende kanttekeningen:

- In SAFETI-NL kan bij het tabblad <materials> een 'warehouse material' worden aangemaakt, waarbij de gemiddelde samenstelling van de opgeslagen stoffen in het brandcompartiment direct kan worden ingevoerd (bijvoorbeeld berekend op basis van een via de website van het RIVM beschikbaar gestelde spreadsheet programma)²⁰. 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.
- 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. Er wordt een 'building angle' van 0 graden gehanteerd.
- In het tabblad 'building' moet 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. Dit gebouw moet vooraf worden ingevoerd in het tabblad Map (onderdeel Buildings). Daarbij staat versie 8 van SAFETI-NL overigens alleen rechthoekige vormen toe.

Voor het invoeren van het gebouw gelden de volgende eisen:

- 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.

²⁰ Het warehouse model biedt ook de mogelijkheid de molecuulformule voor alle stoffen afzonderlijk in te voeren. Deze aanpak is i.t.t. spreadsheet op de website niet gecontroleerd en wordt derhalve niet voorgeschreven

- ⇒ 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.

Toelichting

Het ingevoerde gebouw mag maximaal een oppervlak van 2500 m² hebben, ook wanneer het oppervlak van het gebouw groter is dan 2.500 m². Hoe groter het gebouw, hoe groter namelijk de lijwervel (de recirculatiezone) waarbinnen de toxische verbrandingsproducten worden 'verdund'. Het oppervlak van het gebouw is daarom gemaximaliseerd tot 2.500 m².

- Indien het gebouwoppervlak kleiner of gelijk is aan 2500 m², is de locatie van het brandcompartiment niet relevant omdat de vrijgekomen toxische verbrandingsproducten over de gehele lijwervel van het gebouw opgemengd worden. In deze situatie kan daarom het gehele gebouw ingevoerd worden.

- - Indien het gebouw groter is dan 2500 m² moet een gebouw van 50 m x 50 m worden ingevoerd, dit is gelijk aan de afmetingen zoals ze in SAFETI-NL worden gebruikt voor de afmetingen van de lijwervel en het is dan mogelijk om het middelpunt van het gebouw en het middelpunt van de opslagvoorziening zo dicht mogelijk bij elkaar te situeren. In het tabblad <fire scenarios> wordt 'PGS-15 scenarios' geselecteerd. Selecteer het van toepassing zijnde brandbestrijdingssysteem ('fire-fighting system'). De nummers komen overeen met die in Tabel 22 en Tabel 23. 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' of 'stored in other packaging'. Voor de brandsnelheid tenslotte moet bij 'reaction rate calculation' via de optie 'from ADR class 3 mass fraction' het aandeel ADR klasse 3 worden aangegeven ('mass fraction'). Op basis van formule (8.2) berekent SAFETI-NL de gemiddelde brandsnelheid. In een QRA mag op basis van beschikbare specifieke gegevens een afwijkende brandsnelheid worden gehanteerd. In dat geval kan de optie 'user defined' worden geselecteerd en vervolgens een berekende brandsnelheid worden opgegeven ('specified reaction rate').
- In het tabblad <risk> is de brandfrequentie al via het geselecteerde brandbestrijdingssysteem ingevuld.
- Als alle noodzakelijke velden zijn ingevuld en op OK wordt gedrukt, worden op basis van Tabel 59, Tabel 60 en Tabel 62 alle brandscenario's gegenereerd. Indien afwijkende brandscenario's moeten worden gehanteerd, bijvoorbeeld bij de opslag van spuitbussen of bij afwijkende brandbestrijdingssystemen, moet in het tabblad <fire scenarios> de optie 'user defined scenarios' worden gekozen. Daarna kan per scenario het brandoppervlak ('fire surface area'), ventilatievoud ('ventilation rate option': 'specified' of 'infinite'), brandduur ('fire duration') en de vervolggans ('probability') worden aangepast. In het tabblad <risk> kan vervolgens de brandfrequentie worden ingevuld.

- Het vrijkomen van onverbrande (zeer) toxische producten kan gemodelleerd worden met behulp van door de helpdesk SAFETI-NL beschikbaar gestelde voorbeeldstoffen 'ADR 6.1 VG I' en 'ADR 6.1 VG II'. Indien deze bijdrage relevant is ten opzichte van de toxische verbrandingsproducten, wordt het vrijkomen van deze onverbrande stoffen afzonderlijk gemodelleerd met behulp van het <user-defined source>-model. Dit leidt nabij de opslagvoorziening in principe tot een overschatting van het risico. Omdat in de praktijk vaak of de toxische verbrandingsproducten of één van de onverbrande toxische voorbeeldstoffen bepalend zijn voor het risico, werkt deze benadering in de praktijk voldoende.

27.8 Voorbeeldberekening

Dit voorbeeld dient uitsluitend ter illustratie van de rekenmethodiek.

27.8.1 Beschrijving van de opslag

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

Tablet 26 Opgeslagen stoffen in de voorbeeldopslag

Stof	ADR klasse	Hoeveelheid [ton]	Molgewicht [kg/kmol]	Molecuulformule	massa% werkzame stof
ammonia 25%	8	50	17,0	NH ₃ ²¹	25%
dichlobenil	9	100	172,0	C ₇ H ₃ Cl ₂ N	20%
ethanol	3	150	46,1	C ₂ H ₅ OH	100%
ethoprophos	6.1 vg I	200	242,4	C ₈ H ₁₉ O ₂ PS ₂	10%
TDI	6.1 vg II	250	174,2	C ₉ H ₆ N ₂ O ₂	100%
kryoliet	6.1 vg III	50	209,9	Na ₃ AlF ₆	100%
		Totaal 800			

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

27.8.2 Brandscenario's

Vanwege het feit dat brandbare stoffen in de opslagvoorziening worden opgeslagen, is een brand mogelijk die externe veiligheidsrisico's veroorzaakt.

²¹ Ammonia ("NH₄OH") is een oplossing van 25% ammoniak (NH₃) in water. Bij het bepalen van de gemiddelde samenstelling van de opslagen stoffen wordt het water niet meegenomen.

De brandfrequentie voor deze 'beschermingsniveau 1'-opslagvoorziening is $8,8 \times 10^{-4}$ per jaar (systeem 1.6; Tabel 21). De vervolgekans op een brand met een omvang van 20, 50, 100, 300 en 600 m² bedraagt respectievelijk 89%, 9%, 1%, 0,5% en 0,5. Volgens Tabel 22 en Tabel 23 zijn de volgende brandscenario's van toepassing:

Tabel 27 Ventilatievoud, brandoppervlak, -duur en -frequentie

Ventilatievoud [-]	Brandoppervlak [m ²]	Brandduur [min]	Kans [per jaar]
Deur gesloten: 4	20	10	$0,89 \times 0,98^{22} \times 8,8 \times 10^{-4} = 7,68 \times 10^{-4}$
4	50	10	$0,09 \times 0,98^{22} \times 8,8 \times 10^{-4} = 7,76 \times 10^{-5}$
4	100	10	$0,01 \times 0,98^{22} \times 8,8 \times 10^{-4} = 8,62 \times 10^{-6}$
4	300	30	$0,01 \times 0,98^{22} \times 8,8 \times 10^{-4} = 8,62 \times 10^{-6}$
Deuren open: ∞	20	30	$0,89 \times 0,02^{22} \times 8,8 \times 10^{-4} = 1,57 \times 10^{-5}$
∞	50	30	$0,09 \times 0,02^{22} \times 8,8 \times 10^{-4} = 1,58 \times 10^{-6}$
∞	100	30	$0,01 \times 0,02^{22} \times 8,8 \times 10^{-4} = 1,76 \times 10^{-7}$
∞	300	30	$0,005 \times 0,02^{22} \times 8,8 \times 10^{-4} = 8,80 \times 10^{-8}$
∞	600 ²³	30	$0,005 \times 0,02^{22} \times 8,8 \times 10^{-4} = 8,80 \times 10^{-8}$
			Totaal = $8,80 \times 10^{-4}$

27.8.3 Samenstelling van de opgeslagen stoffen

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

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

1. Bereken voor ieder element afzonderlijk het in opslag aanwezige aantal kilogrammen. Voor bijvoorbeeld stikstof (14,01 kg/kmol) gaat dat als volgt: ammonia, dichlobenil en TDI bevatten stikstof. 50.000 kg 25% ammonia met één N-atoom, een molgewicht van 17,0 kg/kmol en een fractie werkzame stof van 25% bevat volgens de formule in paragraaf 27.3.3 10.300 kg stikstof:

²² De kans dat de automatische bij brand zelfsluitende deuren niet functioneren en de deuren blijven openstaan, is 0,02 [10].

²³ Vanwege het feit dat de 50 ton kryoliet naar verwachting niet bij een brand betrokken zal raken (zie paragraaf 27.8.3), mag worden gerekend met een brandoppervlak van de opslagloods verminderd met het door kryoliet daadwerkelijk ingenomen vloeroppervlak (tenzij deze stof over het gehele brandcompartiment verspreid is opgeslagen).

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

734 kmol stikstof komt overeen met $734 \times 14,01 =$ afgerond 10.300 kg. Op dezelfde wijze kan worden berekend dat 100 ton dichlobenil met één N-atoom, een molgewicht van 172,0 kg/kmol en een fractie werkzame stof van 20% afgerond 1.600 kg stikstof bevat ($1 \times 100.000 \times 20\% \times 14,01/172,0$) en 250 ton TDI 40.200 kg ($2 \times 250.000 \times 100\% \times 14,01/174,2$). Daarmee komt de totale in de opgeslagen stoffen aanwezige hoeveelheid stikstof op 52 ton (zie Tabel 28). Op dezelfde wijze kan worden berekend dat 251 ton koolstof (C; 12,01 kg/kmol) aanwezig is, 33 ton waterstof (H; 1,008 kg/kmol), 101 ton zuurstof (O; 16,00 kg/kmol), 8 ton chloor (Cl; 35,45 kg/kmol), 5 ton zwavel (S; 32,06 kg/kmol) en 3 ton fosfor (P; 31,97 kg/kmol):

Tabel 28 Aanwezige hoeveelheid C, H, O, Cl, N, S en P [in ton]

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

- Voor het bepalen van de gemiddelde samenstelling C_aH_bO_cCl_dN_eS_fP_g is de gewichts-gemiddelde fractie werkzame stof en het gewichtsgemiddelde molgewicht nodig. De fractie werkzame stof $\overline{\%}_{\text{actief}}$ wordt verkregen door de hoeveelheid C, H, O, Cl, N, S en P te sommeren en te delen door de totale hoeveelheid opgeslagen stoffen die bij de brand betrokken kunnen raken (alle stoffen behalve kryoliet): $(251 + 33 + 101 + 8 + 52 + 5 + 3)/750 = 60,3\%$. Het gewichtsgemiddelde molgewicht wordt als volgt berekend: $(50/750) \times 17,0$ (ammonia) + $(100/750) \times 172,0$ (dichlobenil) + $(150/750) \times 46,1$ (ethanol) + $(200/750) \times 242,4$ (ethoprophos) + $(250/750) \times 174,2$ (TDI) = 156,0 kg/kmol.
- De waarde $\langle e \rangle$ voor stikstof in de gemiddelde samenstelling C_aH_bO_cCl_dN_eS_fP_g kan met formule in paragraaf 27.3.3 worden afgeleid (met N in kmol):

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

De waarde $\langle a \rangle$ voor koolstof bedraagt $(251/12,01) \times 156 / (750 \times 60,3\%) = 7,21$ etc. Dit leidt uiteindelijk tot de volgende samenstelling:

C_{7,21}H_{11,12}O_{2,17}Cl_{0,08}N_{1,28}S_{0,06}P_{0,03}. Het stikstof-, zwavel- en chloorgehalte kan als volgt worden berekend:

$$\begin{aligned} \text{stikstofgehalte} &= 1,28 \times 14,01 \times 60,3\% / 156 = 7,0\% \\ \text{zwavelgehalte} &= 0,06 \times 32,06 \times 60,3\% / 156 = 0,7\% \end{aligned}$$

$$\text{chloorgehalte} = 0,08 \times 35,45 \times 60,3\% / 156 = 1,1\%$$

Het verwerken van de fractie werkzame stof (%_{actief}) in de formule's in paragraaf 27.3.3 kan eventueel achterwege worden gelaten door te rekenen met een gecorrigeerde hoeveelheid aanwezige (100% werkzame) stof (Q_i).

27.8.4 Brandsnelheid

Zuurstofbeperkte brand

Wanneer de beschikbare hoeveelheid zuurstof kleiner is dan de benodigde hoeveelheid zuurstof, is de brand zuurstofbeperkt. De brandsnelheid B_{O_2} kan met de formules hieronder worden berekend:

$$B_{O_2} = \Phi_{O_2} \times M_w / ZB$$

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

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

Bij een ventilatievoud F van 4 per uur in een opslagvoorziening met een volume van 3600 m^3 ($600 \text{ m}^2 \times 6$ meter hoog) is de beschikbare of toegevoerde hoeveelheid zuurstof $\Phi_{O_2} 0,2 (1 + 0,5 \times 4) \times 3600 / (24 \times 1800) = 0,05 \text{ kmol/s}$. De zuurstofbehoefte ZB is $7,21 + (0,25 \times 11,12) - (0,5 \times 2,17) - (0,25 \times 0,08) + (0,1 \times 1,28) + 0,06 = 9,1 \text{ [mol/mol]}$. De brandsnelheid B_{O_2} waarbij de toevoer van zuurstof limiterend is, bedraagt volgens de eerste formule $0,05 \times 156 / 9,1 = 0,86 \text{ kg/s}$.

Oppervlaktebeperkte brand

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

$$B_{\text{max}} = B \times A$$

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

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

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

27.8.5 Bronsterkte toxische verbrandingsproducten en onverbrande toxische stoffen

Toxische verbrandingsproducten

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

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

$$\Phi_{NO_2} = B_{\max} \times \overline{\%_{actief}} \times \langle e \rangle \times 46 \times \eta_{NO_2} / M_w = 2 \times 60,3\% \times 1,28 \times 46 \times 10\% / 156 = 0,046 \text{ kg/s}$$

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

$$\Phi_{SO_2} = B_{\max} \times \overline{\%_{actief}} \times \langle f \rangle \times 64 \times \eta_{SO_2} / M_w = 2 \times 60,3\% \times 0,06 \times 64 \times 100\% / 156 = 0,028 \text{ kg/s}$$

Bij ventilatievoud 4 is de brand zuurstofbeperkt :

$$\Phi_{NO_2} = B_{O_2} \times \overline{\%_{actief}} \times \langle e \rangle \times 46 \times \eta_{NO_2} / M_w = 0,86 \times 60,3\% \times 1,28 \times 46 \times 10\% / 156 = 0,020 \text{ kg/s}$$

$$\Phi_{HCl} = B_{O_2} \times \overline{\%_{actief}} \times \langle d \rangle \times 36,5 \times \eta_{HCl} / M_w = 0,86 \times 60,3\% \times 0,08 \times 36,5 \times 100\% / 156 = 0,010 \text{ kg/s}$$

$$\Phi_{SO_2} = B_{O_2} \times \overline{\%_{actief}} \times \langle f \rangle \times 64 \times \eta_{SO_2} / M_w = 0,86 \times 60,3\% \times 0,06 \times 64 \times 100\% / 156 = 0,012 \text{ kg/s}$$

Voor de andere oppervlakken zijn de bronsterkten weergegeven in Tabel 29.

Onverbrande (zeer) toxische stoffen

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

Omdat er in de opslagvoorziening geen beperkingen zijn gesteld aan de maximale opslaghoogte voor de genoemde ADR klasse 6.1 stoffen, wordt voor alle brandscenario's een survivalfractie van 10% gehanteerd (uitgaande van een opslaghoogte > 1,80 meter; zie Tabel 24).

Bij een brandoppervlak van opnieuw 50 m² worden bijvoorbeeld de volgende bronsterkten berekend voor het vrijkomen van onverbrande (zeer) toxische stoffen (formule 8.14 en 8.15). Voor de andere oppervlakken zijn de verdana

Tabel 29 Resultaten scenario's voor brand in een opslagvoorziening

Oppervlak [m ²]	Ventilatievoud	Duur [min]	Kans [jaar ⁻¹]	Brandsnelheid [kg/s]	Bronsterkte [kg/s]				
					NO ₂	SO ₂	HCl	VG I ²⁴	VG II ²⁴
20	4	10	7,68E-04	0,80	0,018	0,011	0,009	0,002	0,027
50	4	10	7,76E-05	0,86	0,020	0,012	0,010	0,002	0,029
100	4	10	8,62E-06	0,86	0,020	0,012	0,010	0,002	0,029
300	4	30	8,62E-06	0,86	0,020	0,012	0,010	0,002	0,029
20	∞	30	1,57E-05	0,80	0,018	0,011	0,009	0,002	0,027
50	∞	30	1,58E-06	2,00	0,046	0,028	0,023	0,005	0,067
100	∞	30	1,76E-07	4,00	0,091	0,056	0,045	0,011	0,133
300	∞	30	8,80E-08	12,00	0,274	0,169	0,136	0,032	0,400
600	∞	30	8,80E-08	24,00	0,548	0,338	0,272	0,064	0,800

27.8.6 Dispersie

Bij de berekening van de dispersie moet rekening worden gehouden met de door het gebouw optredende lijwervel. Volgens paragraaf 27.7 moet worden uitgegaan van een vierkant gebouw, hetgeen neerkomt op een gebouw met een afmeting van 24,5 bij 24,5 meter (600 m²). Voor de hoogte wordt de hoogte van het gebouw genomen: 6 meter.

27.8.7 Resultaat risicoberekening in SAFETI-NL

Nog in te vullen.

²⁴ VG = verpakkingsgroep

28 E.7 Rekenvoorschrift Behandelen, regelen en meten van aardgas

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII E.7 moet worden aangesloten bij het rekenvoorschrift mijnbouwwerken (Hoofdstuk 32).

29 E.8 Rekenvoorschrift metaalproductenindustrie: bad met giftige gevaarlijke stoffen

29.1 Inleiding rekenmethode

Dit hoofdstuk beschrijft de rekenmethode voor inrichtingen waar een cyanidehoudend bad voor het aanbrengen van metaallagen aanwezig is met een inhoud van meer dan 100 liter. Dit betreft inrichtingen zoals genoemd in artikel 1b, onderdeel e, van de Revi. Waar in het verdere vervolg wordt gesproken van inrichtingen, worden bovenstaande inrichtingen bedoeld.

Voor de inrichtingen zijn de volgende basisscenario's van belang:

1. Scenario's betreffende de aanwezigheid en het gebruik van cyanidehoudende baden:
 - Brand in een productieruimte met een 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. Hiervoor worden de volgende scenario's meegenomen:
 - Brand in een opslagvoorziening met verpakte gevaarlijke stoffen, waarbij toxische verbrandingsproducten en onverbrande (zeer) toxische stoffen kunnen vrijkomen.
 - Verlading van zeer toxische inhaleerbare poeders en zeer toxische vloeistoffen in de open lucht.

In dit document worden alleen de uitgangspunten voor het scenario *Brand in een productieruimte met een 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 27.

29.2 Terminologie

In de rekenmethode gebruiken we de volgende termen:

Bronterm	De hoeveelheid waterstofcyanide die per tijdseenheid vrijkomt in de beschouwde productieruimte gedurende de fase voordat pluimstijging optreedt.
Galvaniseerlijn	Een verzameling van baden die meestal in een lijn zijn opgesteld en die worden gebruikt om een metaal te galvaniseren. In het kader van deze rekenmethode is een galvaniseerlijn een verzameling baden die tenminste één cyanidehoudend bad omvat. De voorwerpen die voorzien moeten worden van een metallische laag worden van bad naar bad overgebracht. De ruimtes tussen de baden zijn klein om zo het lekken van vloeistoffen op de vloer beperkt te houden.
Pluimstijging	Het tot grote hoogten opstijgen van de hete

	verbrandingsproducten en rook door het bezwijken van (een deel van) het dak van het brandcompartiment of van de productieruimte.
Productieruimte	De ruimte waarin het galvaniseren plaatsvindt en één of meer galvaniseerlijnen zijn ingericht. De productieruimte is kleiner dan of gelijk aan het brandcompartiment. In (regelmatig in) open verbinding met de productieruimte staande andere ruimten worden tot de productieruimte gerekend (bijvoorbeeld een opvangvat voor zuur of cyanide of magazijn voor te behandelen producten) voor zover zij deel uitmaken van het brandcompartiment.

29.3 Scenariobeschrijving

In deze paragraaf worden de uitgangspunten van het scenario voor brand in een productieruimte met cyanidehoudende baden beschreven. De uitgangspunten van de scenario's voor de opslag en overslag van verpakte gevaarlijke stoffen conform PGS 15 zijn beschreven in Hoofdstuk 27.

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 er geen risico meer te verwachten op een dodelijke vergiftiging door waterstofcyanide.
- 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.

29.3.1 *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 30.

Tabel 30 Kans op het ontstaan van een brand

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

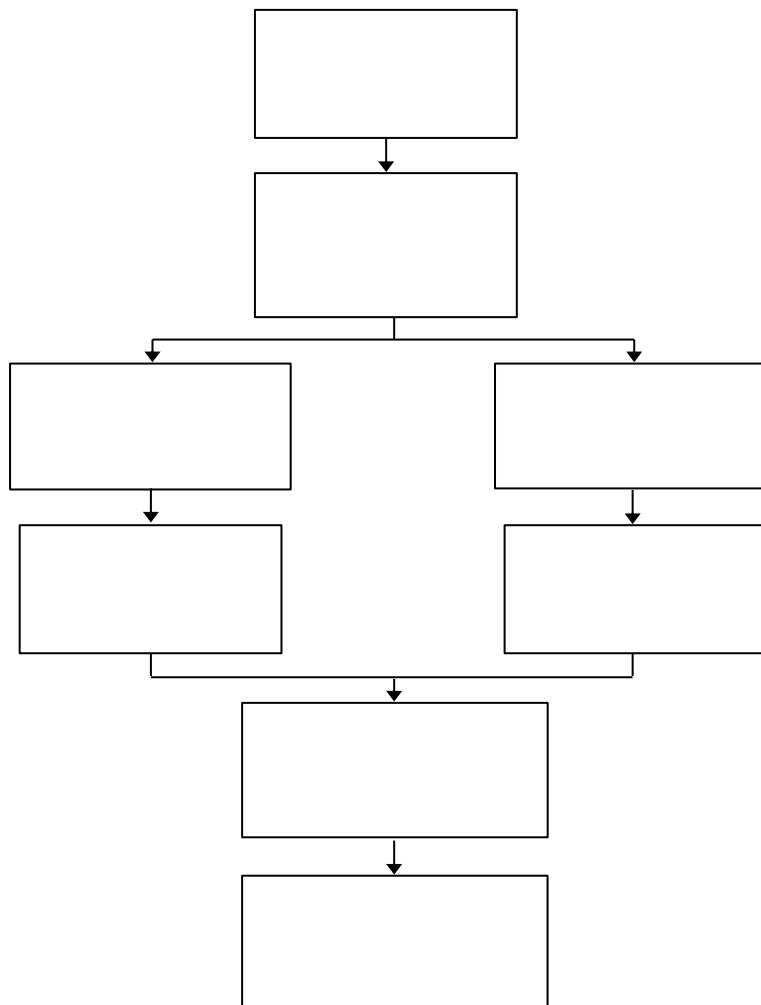
Voor de waarde van f_b geldt:

- f_b is standaard gelijk aan 1.²⁵
- f_b is gelijk aan 0,33 als de verwarmde baden zijn voorzien van een onafhankelijke veiligheidsmaatregel die brand van het kunststofbad door het verwarmingselement voorkomt. Het gaat dus om een maatregel 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.

29.3.2 Berekening bronterm waterstofcyanide

De bronterm wordt bepaald door een aantal stappen te doorlopen en is weergegeven in Figuur 8.

²⁵ 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 8 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 of niet (stap 3). 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:

$$Q_{HCN} = Q_{HCN, \max} \times f_1 \times f_2 \quad (1)$$

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

- $Q_{HCN, \max}$ is de hoeveelheid HCN (in kg) die vrijkomt als alle in de baden aanwezige vrije cyanide reageert tot HCN. $Q_{HCN, \max}$ 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 31.

Tabel 31 Relevante stofgegevens voor veelvoorkomende cyanidezouten

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

- f_1 is een vervolgfactor 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. In alle andere gevallen geldt $f_1 = 1$.

Tabel 32 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 vervolgfactor 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 galvaniseerlijn wordt een reductiefactor $f_2 = 0,5$ gehanteerd.

Tabel 33 Te hanteren waarde voor f_2

Fractie CN⁻ dat reageert tot HCN	f_2
Standaardwaarde	0,5

5. 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.

$$B_{HCN} = (Q_{HCN} \times f_3) / 1800 \quad (2)$$

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 34 Samenvatting te hanteren waarde voor f_3

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

6. 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.

29.4 Invoerparameters SAFETI-NL

Het scenario brand in een productieruimte met cyanidehoudende baden, zoals beschreven in paragraaf 29.3, 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 35. De overige waarden blijven default.
3. Voer onder het atmosferische opslagvat een 'user defined source' in. Gebruik daarvoor de invoerwaarden van Tabel 36 en Tabel 37. De overige waarden blijven default.

Tabel 35 Invoergegevens voor het 'atmospheric storage vessel'

Tabblad	Parameters	Waarde
Material	Material Type of risk effects to model	Hydrogen cyanide Toxic only

	Mass	Totale massa HCN die vrijkomt, $Q_{\text{HCN}} \times f_3$
Bund, building and terrain	Release building In-building release?	Het ingevoerde gebouw Ja

Tabel 36 Invoergegevens voor het 'user defined source' scenario

Tabblad	Parameters	Waarde
Scenario	Release scenario Number of release observers Observer data	Leak 2 Zie Tabel 37
Risk	Event frequency	$f_b \times 5,1 \times 10^{-3}$

Tabel 37 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

29.5 Voorbeeldberekeningen

29.5.1 Rekenvoorbeeld 1

29.5.1.1 Beschrijving situatie

Een galvaniseer productieruimte van 44×25×5 m (LxBxH) maakt onderdeel uit van een gebouw van 44×40×5 m. In de productieruimte zijn drie lijnen met cyanidehoudende baden: een lijn met een zinkbad met een inhoud van 1500 liter, een lijn met een zilverbad van 5000 liter en een lijn met een koperbad met een inhoud van 3500 liter. Het zinkbad bevat 30 g $\text{Zn}(\text{CN})_2$ per liter; het zilverbad 30 g KCN per liter en 55 g $\text{KAg}(\text{CN})_2$ per liter; het koperbad 30 g KCN per liter en 35 g $\text{Cu}(\text{CN})_2$ per liter (zie Tabel 38).

Tabel 38 Betrokken hoeveelheden cyaniden volgens rekenvoorbeeld

Galvaniseerbad	Grootte	Cyanidehoudende vloeistoffen	Massa CN^-	$Q_{\text{HCN, max}}$
Zinkbad	1500 l	30 g/l $\text{Zn}(\text{CN})_2$	$1500 \times 0,030 \times 0,44 = 19,8$ kg	$13,2 \times 27/26 = 20,6$ kg
Zilverbad	5000 l	30 g/l KCN 55 g/l $\text{KAg}(\text{CN})_2$	$5000 \times 0,030 \times 0,40 = 60,0$ kg $5000 \times 0,055 \times 0,26 = 71,5$ kg	$60,0 \times 27/26 = 62,3$ kg $71,5 \times 27/26 = 74,3$ kg

Koperbad	3500 l	30 g/l KCN 35 g/l CuCN	3500×0,030×0,40 = 42,0 kg 3500×0,035×0,29 = 35,5 kg	42,0× ²⁷ / ₂₆ = 43,6 kg 35,5× ²⁷ / ₂₆ = 36,9 kg
totaal			228,8 kg	237,6 kg

De baden zijn gemaakt van kunststof (PE). Onder de cyanidehoudende baden staan geen opvangvoorzieningen.

De gevaarlijke stoffen worden opgeslagen in een PGS-15 kluis. Er wordt minder dan 10 ton opgeslagen en de verlading vindt niet plaats in de open lucht. Deze scenario's worden daarom niet meegenomen in dit voorbeeld.

29.5.1.2 Uitwerking rekenvoorbeeld 1

Scenario

De kans op een brand in de galvaniseerruimte is $f_b \times 5,1 \times 10^{-3}$ per jaar (zie Tabel 30). $f_b = 1$ omdat er geen bijzondere maatregel is om het risico van droog verdampen en hierdoor in brand raken van het kunststofbad te voorkomen. De totale kans op een brand is dus $5,1 \times 10^{-3}$ per jaar.

Bronterm

De bronterm wordt berekend volgens de vergelijking (1) en (2). De factoren f_1 en f_2 ter bepaling van Q_{HCN} hebben respectievelijk de waarden 1 (geen gescheiden opvangvoorziening) en 0,5 (standaard). De waarde voor f_3 is 0,5 (standaard). Het resultaat is gegeven in Tabel 39.

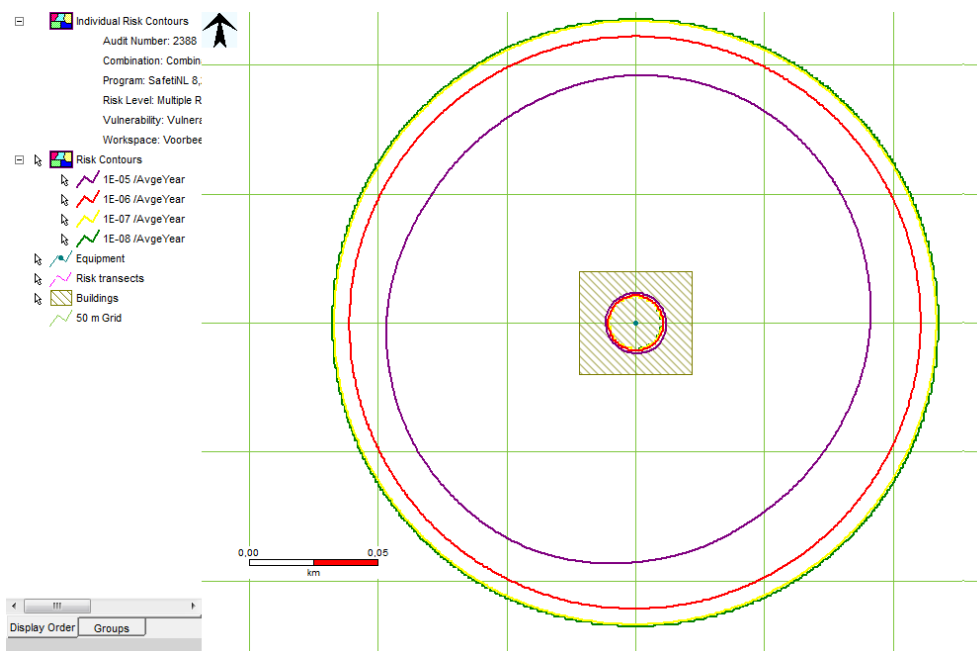
Tabel 39 Bronterm voor rekenvoorbeeld 1

Brandscenario	Betrokken hoeveelheid waterstofcyanide: $Q_{\text{HCN, max}} \times f_1 \times f_2 \times f_3$	Tijdsduur emissie	Bronterm
Volledige brand	$237,6 \times 1 \times 0,5 \times 0,5 = 59,4$ kg	1800 s	0,033 kg/s

Uitkomsten risicoberekening SAFETI-NL 8

De effectafstanden zijn vermeld in Tabel 40. De grootste effectafstand treedt op voor weertype F1,5 en bedraagt 116 m. Voor de weertypen D5, D9 en E5 is de berekende concentratie buiten het gebouw lager dan de minimale concentratie waarbij significante letale effecten optreden.²⁶ De plaatsgebonden-risicocontouren zijn weergegeven in Figuur 9. De PR 10^{-6} -contour is weergegeven met een rode lijn en ligt in dit rekenvoorbeeld op 110 m afstand van het middelpunt van de bron, de PR 10^{-8} -contour (groene lijn) op 116 m. Het invloedsgebied (buitenste lijn) is nagenoeg gelijk aan het gebied binnen de PR 10^{-8} -contour.

²⁶ Onder significante letale effecten wordt een kans op overlijden van minimaal 1% verstaan. Voor een blootstellingsduur van 30 minuten, is de minimale HCN concentratie die significante letale effecten geeft gelijk aan 37 ppm oftewel 43 g/m³.



Figuur 9 Plaatsgebonden risicocontouren

Tabel 40 Effectafstanden voor het ingevoerde scenario (maximale waarden per etmaal)

Scenario	Bronterm	Duur	Weer	1% let.
Volledige brand	0,033 kg/s	1800 s	B3	40 m
			D1,5	67 m
			D5	0 m
			D9	0 m
			E5	0 m
			F1,5	116 m
			E5	-
			F1,5	113 m

29.5.2 Rekenvoorbeeld 2

29.5.2.1 Beschrijving situatie

Er wordt uitgegaan van de situatie van voorbeeld 1 met het volgende verschil. Het zilverbad van lijn 2 is nu voorzien van een massief metalen binnenbak.

Tabel 41 toont de betrokken hoeveelheden cyanide.

Tabel 41 Betrokken hoeveelheden cyaniden volgens rekenvoorbeeld

Galvaniseerbad	Grootte	Cyanidehoudende vloeistoffen	Massa CN	Q _{HCN, max}
----------------	---------	------------------------------	----------	-----------------------

Zinkbad	1500 l	30 g/l Zn(CN) ₂	1500×0,030×0,44 = 19,8 kg	13,2× ²⁷ / ₂₆ = 20,6 kg
Koperbad	3500 l	30 g/l KCN 35 g/l CuCN	3500×0,030×0,40 = 42,0 kg 3500×0,035×0,29 = 35,5 kg	42,0× ²⁷ / ₂₆ = 43,6 kg 35,5× ²⁷ / ₂₆ = 36,9 kg
totaal			97,3 kg	101,1 kg

29.5.2.2 Uitwerking rekenvoorbeeld 2

Tabel 42 geeft de bronterm voor rekenvoorbeeld 2.

Tabel 42 Bronterm voor rekenvoorbeeld 2

Brandscenario	Betrokken hoeveelheid waterstofcyanide: $Q_{HCN, max} \times f_1 \times f_2 \times f_3$	Tijdsduur emissie	Bronterm, B_{HCN}
Volledige brand	101,1 × 1 × 0,5 × 0,5 = 25 kg	1800 s	0,014 kg/s

30 E.9 Rekenvoorschrift opslag- en transportbedrijf, groothandel en containeroverslag: Seveso-hoeveelheid

30.1 Inleiding rekenmethode stuwadoorsbedrijven

In dit hoofdstuk is de rekenmethode voor stuwadoorsbedrijven beschreven. Een stuwadoorsbedrijf is een bedrijf waar overslag van gevaarlijke stoffen in hoofdzakelijk (tank)containers plaatsvindt. De overslag van gevaarlijke stoffen vindt plaats als 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 inrichting. Als uitgangspunt voor de rekenmethode is de stuwadoorsstudie opgesteld in 1994 gebruikt¹¹. 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 voor stuwadoors op dezelfde wijze worden gemodelleerd als beschreven voor PGS 15-inrichtingen.

Containers met gegaste lading zijn niet relevant voor de externe veiligheid¹².

30.2 Ongevalsscenario's

In deze paragraaf zijn de relevante ongevalsscenario's beschreven, waarbij de rekenmethode uit 1994 [11] als uitgangspunt is gebruikt. De ongevalsscenario's betreffen scenario's bij:

- de overslag van tankcontainers (kleine en grote continue uitstroming (par. 30.2.1.))
- de overslag van boxcontainers (continue uitstroming (par. 30.2.2))
- het verblijf van tankcontainers in de stack (intrinsiek falen (par.30.2.4) en BLEVE door brand in omgeving (par.30.2.5)).

Op ongevalsscenario's met betrekking tot horizontaal transport, overslag van los stukgoed en ro-ro terminals wordt ingegaan in paragraaf 30.2.6. In de meeste gevallen zijn deze scenario's niet relevant voor de externe risico's.

In de toelichting wordt ingegaan op de achtergrond van de ongevalsscenario's.

30.2.1 *Overslag tankcontainers*

Tabel 43 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 30.2.3 wordt toegelicht hoe de frequentie wordt toebedeeld aan verschillende deelhandelingen tijdens de totale afhandeling van een container.

Tabel 43 Ongevalsscenario's overslag tankcontainers

Eenheid	Grootte	Kans [/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:

- De inhoud van een gas tankcontainer is 20 m³.
- De duur van de uitstroming is maximaal 1800 s.
- 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:

- De inhoud van een vloeistof tankcontainer is 28 m³.
- De duur van de uitstroming is maximaal 1800 s.
- De bronsterkte wordt berekend met een hoogte van het vloeistofniveau van 2 m.
- 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.

30.2.2 *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 externe veiligheidsrisico, omdat letale effecten buiten de inrichting niet waarschijnlijk zijn. Als er ook tankcontainers met stoffen uit dezelfde stofcategorie worden overgeslagen, zal de overslag van tankcontainers bepalend zijn voor het externe veiligheidsrisico 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)²⁷. Het is voorstelbaar dat van deze stofcategorieën alleen overslag plaatsvindt van stukgoed in een boxcontainer. Tabel 44 toont de ongevalscenario's voor de overslag van stukgoed in boxcontainers. Ten opzichte van de scenario's uit de stuwadoorsstudie [11] is zowel voor toxisch gas als toxische vloeistof gekozen voor de grootste verpakkingseenheid. De kans is per behandelde container. In paragraaf 30.2.3 wordt toegelicht hoe de frequentie wordt toebedeeld aan verschillende deelhandelingen tijdens de afhandeling van een container.

Tabel 44 Ongevalscenario's overslag van stukgoed in boxcontainers

Eenheid	Kans [/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:

- het scenario voor boxcontainers met toxische vloeistoffen is gebaseerd op uitstroom vanuit een 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. Voorbeeld: in geval van een drum, een uitstroom van $0,22 \text{ m}^3$ vloeistof in 30 s met een maximaal plasoppervlak van 44 m^2 [11].

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

Voorbeeld:

De bronsterkte bij een lekkende verpakking met 1000 kg chloor (15 mm gat) bedraagt $1,64 \text{ kg/s}$. De uitstroomduur is circa 600 s. Hoewel de initiële vloeistoffractie 87% bedraagt, verdampt alle chloor voordat het de grond bereikt (geen plasvorming). Bij een temperatuur van $-34 \text{ }^\circ\text{C}$ is de dichtheid van gasvorming chloor $3,70 \text{ kg/m}^3$. Per seconde komt daardoor $0,44 \text{ m}^3$ chloorgas vrij ($1,64/3,70$). Dit resulteert in een (theoretisch) ventilatievoud van 42 bij een container van $2,5 \times 2,5 \times 6$ ($37,5 \text{ m}^3$): $0,44 \text{ m}^3/\text{s} * 3600 \text{ s/uur} / 37,5 \text{ m}^3 = 42$ per uur.

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

²⁷ Voor de indeling van de stoffen naar stofcategorie wordt gebruik gemaakt van stoffeigenschappen volgens de S3b-indeling; zie paragraaf 1.4.

30.2.3 Toedeling aan deelhandelingen en posities op het terrein

De faalfrequenties voor overslag van een container gelden voor de totale afhandeling. 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). Informatie om de faalfrequentie per overgeslagen container toe te delen aan het type handeling is niet beschikbaar.

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.

Tabel 45 toont het aantal verticale handelingen met een (tank)container onderscheiden naar werkwijze en positie binnen de inrichting.

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

- De faalfrequentie is gebaseerd op zes verticale handelingen.
- Elke verticale handeling heeft dezelfde faalfrequentie.

Tabel 45 Aantal verticale handelingen onderscheiden naar werkwijze

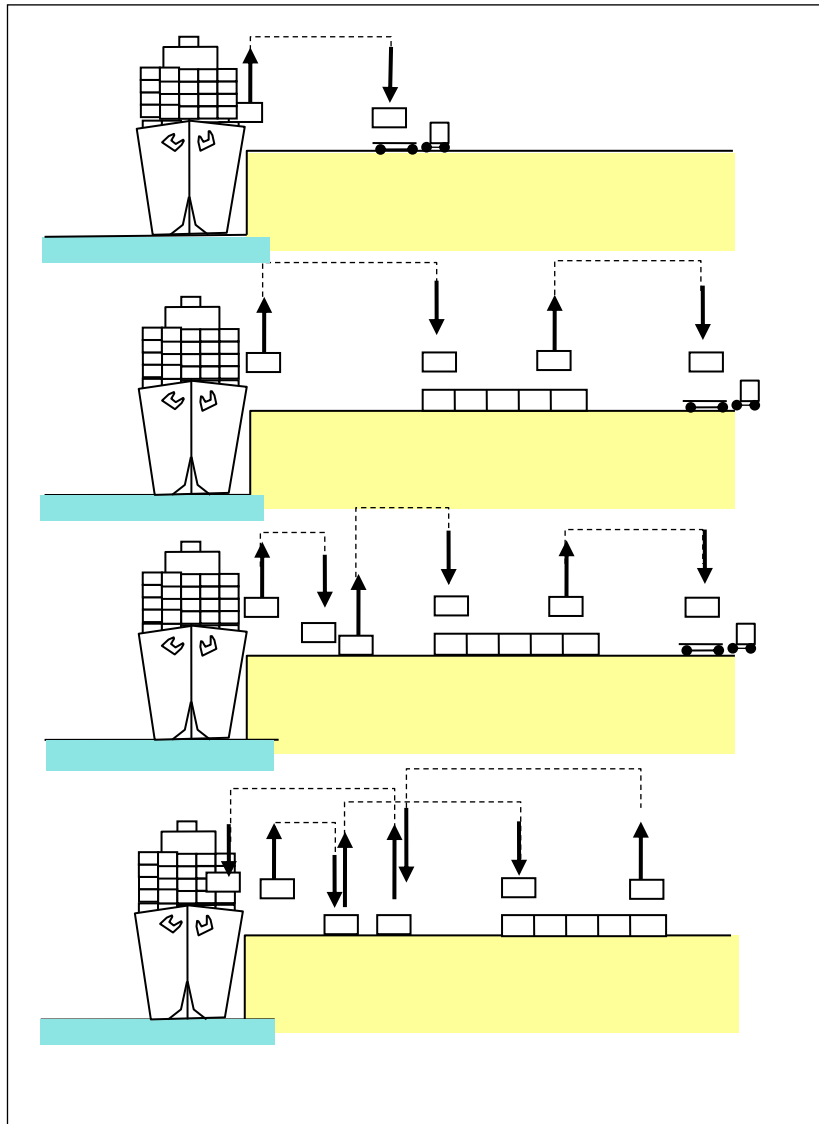
Nr	Omschrijving	Aantal verticale handelingen			
		Totaal	Kade	Stack	Weg/ spoor
1	Een container wordt vanuit een schip rechtstreeks op een weg of spoor transportmiddel geplaatst.	2	1	0	1
2	Een container wordt vanuit een schip rechtstreeks in de stack geplaatst. Later wordt de container vanuit de stack 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	8	6	2	0

de container vanuit de stack weer eerst op de kade neergezet en pas daarna op een schip geplaatst.

Gebaseerd op het bovenstaande kan de complexiteit van verschillende inrichtingen worden gemodelleerd. Bijvoorbeeld:

- Bij een inrichting worden containers alleen rechtstreeks vanuit een schip op een vrachtwagen geladen. Het aantal verticale handelingen is twee. Er wordt dan 33,3% van de faalfrequentie voor overslag gebruikt. De positie van de ongevalsscenario's is voor 50% op de kade en voor 50% bij het uitwisselpunt vrachtwagen.
- Bij een inrichting worden containers rechtstreeks vanuit een schip in de stack geplaatst. De containers worden daarna met een vrachtwagen afgevoerd. Het aantal verticale handelingen is vier. Er wordt dan 66,7% van de faalfrequentie voor overslag gebruikt. De positie van de ongevalsscenario's is voor 25% op de kade, voor 50% bij de stack en voor 25% bij het uitwisselpunt vrachtwagen.

De ongevalposities dienen in Safeti-NL zodanig te worden gemodelleerd dat een goede weergave van de complexiteit van de inrichting 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. In de voorbeeldberekening wordt dit uitgewerkt.



Figuur 10 Schematische weergave stack met gevaarlijke stoffen

30.2.4 Verblif op terrein intrinsiek falen

Tabel 46 toont de ongevalsscenario'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 46 Ongevalsscenario's intrinsiek falen tankcontainers

Eenheid	Frequentie [/jr]	Omschrijving
Tankcontainer	$5,0 \times 10^{-7}$	Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud. gas

Tankcontainer vloeistof	$5,0 \times 10^{-7}$	Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud. Maximaal oppervlak 1400 m ² .
-------------------------	----------------------	--

Opmerkingen:

- De inhoud is 20 m³ voor een gas tankcontainer en 28 m³ voor een vloeistof tankcontainer.
- De frequentie voor de inrichting wordt afgeleid per stofcategorie uit het product van het aantal behandelde tankcontainers, de gemiddelde verblijftijd en de frequentie opgenomen in Tabel 46.
- De positie van de ongevalsscenario's wordt gemodelleerd conform de positie waar de IMDG-containers op het terrein worden opgeslagen. De frequentie voor de inrichting wordt over deze posities verdeeld. De ongevalsposities dienen in Safeti-NL zodanig te worden gemodelleerd dat een goede weergave van de complexiteit van de inrichting wordt bereikt. In de voorbeeldberekening wordt dit uitgewerkt.
- Het plasoppervlak voor uitstroming uit een vloeistof tankcontainer is begrensd tot 1400 m². Voor de ondergrond wordt uitgegaan van beton.

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 [13] inrichtingen (voor falen tijdens overslag zie paragraaf 30.2.6).

30.2.5 *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:

$$F_{BLEVE} = F_{brand} * P * N_g * (t_g/365)$$

Hierin is:

F_{BLEVE}	Frequentie van de BLEVE
F_{brand}	Frequentie van brand [/jr]
P	Trefkans [-]
N_g	Aantal gas tankcontainers jaarlijks in de stack geplaatst [/jr]
t_g	Verblijftijd in de stack van een gas tankcontainer [dag]

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

$$F_{brand} = f(\text{overslag}) * N_v * \text{Pontsteking} * R$$

Hierin is:

F_{brand}	Frequentie van de brand [/jr]
-------------	-------------------------------

f(overslag) Kans op grote uitstroming in de stack [/container]
 Nv Aantal LF2 tankcontainers jaarlijks in de stack geplaatst [/jr]
 Pontsteking Kans op ontsteking [-]. De gekozen waarde is 0,13.
 R Kans op falen van repressief optreden door de brandweer [-]. De gekozen waarde is 0,1.

De trefkans P kan worden bepaald door voor het plasoppervlak van de brand van 900 m² (zie Tabel 43, 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 11 toont een schematische weergave.



Figuur 11 Schematische weergave stack met gevaarlijke stoffen

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

$$P_s = L * H / l$$

Hierin is:

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 TEU²⁸ 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:

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

Hierin is:

p_v Aantal plaatsen in de stack die leiden tot direct vlamcontact [-]
 H Aantal boven elkaar gestapelde containers [-]

²⁸ TEU = Twenty feet Equivalent Unit

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 .

30.2.6 Overig

Horizontaal transport

Horizontaal transport tijdens de aan- en afvoer met transportmiddelen wordt in de risicoanalyse niet beschouwd. De modellering zoals opgenomen in de stuwadoorsstudie 1994 leidt tot een te verwaarlozen bijdrage van ongevallen tijdens dit transport aan het risiconiveau. Alleen als er een emplacementgedeelte voor spoorwagens aanwezig is, waar rangeren met treindelen plaatsvindt, dient de methodiek voor goederenemplacementen te worden toegepast (onderdeel van de Handleiding Risicoberekeningen Bevi¹³).

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 risico 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 gevaarlijke toxische stofcategorieën op deze wijze worden overgeslagen. Modellering dient in overleg met het bevoegd gezag ex Wm plaats te vinden. Er kan desgewenst gebruik gemaakt worden van de scenario's uit de toelichting.

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 inrichting 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 1.2.1 t/m 1.2.5. De ongevalsrequentie tijdens overslag wordt gebaseerd op het aantal verticale handelingen afgeleid uit de bedrijfsvoering. Voor de specifieke ongevalsscenario's verbonden aan het emplacementsgedeelte dient het rekenprotocol goederenemplacementen te worden toegepast (Hoofdstuk 6 van Module C uit [13]).

30.3 Parameters

30.3.1 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 de Handleiding risicoberekeningen Bevi (par. 3.4.6.6 van [13]).

30.3.2 Kans op ontsteking intrinsiek falen

Voor de kans op directe ontsteking en de vervolggebeurtenissen wordt dezelfde modellering gehanteerd als beschreven voor een tankauto in de Handleiding risicoberekeningen Bevi (par. 3.4.6.6 van [13]).

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.

30.3.3 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. Het bedrijfsterrein van een stuwadoor 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.

30.3.4 Overig

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

30.4 Doorzet

30.4.1 Algemeen

Een stuwadoor behandelt een breed scala aan gevaarlijke stoffen. De risicoanalyse wordt uitgevoerd voor een in overleg met het bevoegd gezag ex Wm vastgestelde representatieve doorzet van gevaarlijke stoffen. Niet elke stof hoeft in de risicoanalyse apart te worden gemodelleerd. Stoffen worden zo veel mogelijk samengevoegd in stofcategorieën. Voor de indeling van de stoffen naar stofcategorie wordt gebruik gemaakt van stoffeigenschappen volgens de zogenaamde S3b-indeling¹⁴.

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 conform de S3b-indeling. Er is een lijst beschikbaar waarin aan het UN-nummer en de GEVI-code

de stofcategorie is toegekend. Voor een beschrijving van de werkwijze wordt verwezen naar het betreffende rapport met de S3b-indeling [14]. Deze indeling wordt binnenkort geactualiseerd naar de meest recente (inter)nationale beleidsregels en stoffenclassificaties.

Het berekende externe veiligheidsrisico kan 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 ex Wm wordt vastgesteld of hier desondanks rekening mee moet worden gehouden.

Als voor een (nieuw op te richten) inrichting geen historische informatie beschikbaar is over de te verwachten doorzet van IMDG-containers, dan wordt de risicoanalyse uitgevoerd met een veronderstelling voor deze doorzet. Deze veronderstelling wordt in overleg met het bevoegd gezag ex Wm vastgesteld.

30.4.2 Voorbeeldstoffen

Momenteel worden in verschillende documenten en programma's van elkaar afwijkende voorbeeldstoffen gebruikt. De keuze van de te hanteren voorbeeldstoffen wordt bij de actualisatie van de S3b-indeling mogelijk herzien.

Tabel 47 toont de voorbeeldstoffen voor de te modelleren stofcategorieën. De volgende uitgangspunten zijn gekozen:

- Voor LF1 en LF2 is aangesloten bij de modevaluatie Buncefield. Voor LF1 wordt als voorbeeldstof n-nonaan en voor LF2 wordt n-hexaan gehanteerd.
- Voor LT2 is vooralsnog als voorbeeldstof allylamine gekozen met de probitrelatie zoals voorgesteld door de toetsgroep probitrelaties. In andere rekenvoorschriften wordt propylamine gebruikt, maar omdat voor deze stof door de toetsgroep nog geen probitrelatie is voorgesteld is deze stof niet te gebruiken. Het berekende risico veroorzaakt door LT2 is met de voorbeeldstof allylamine in ieder geval groter dan het risico veroorzaakt door LT1 met de voorbeeldstof acrylnitril.
- Voor LT3 kan ook broom of waterstoffluoride worden gebruikt. Voor GT4 kan ook waterstofchloride worden gebruikt. De keuze is afhankelijk van de gerealiseerde doorzet. Het is ook mogelijk om een stofcategorie met een aantal verschillende voorbeeldstoffen door te rekenen.

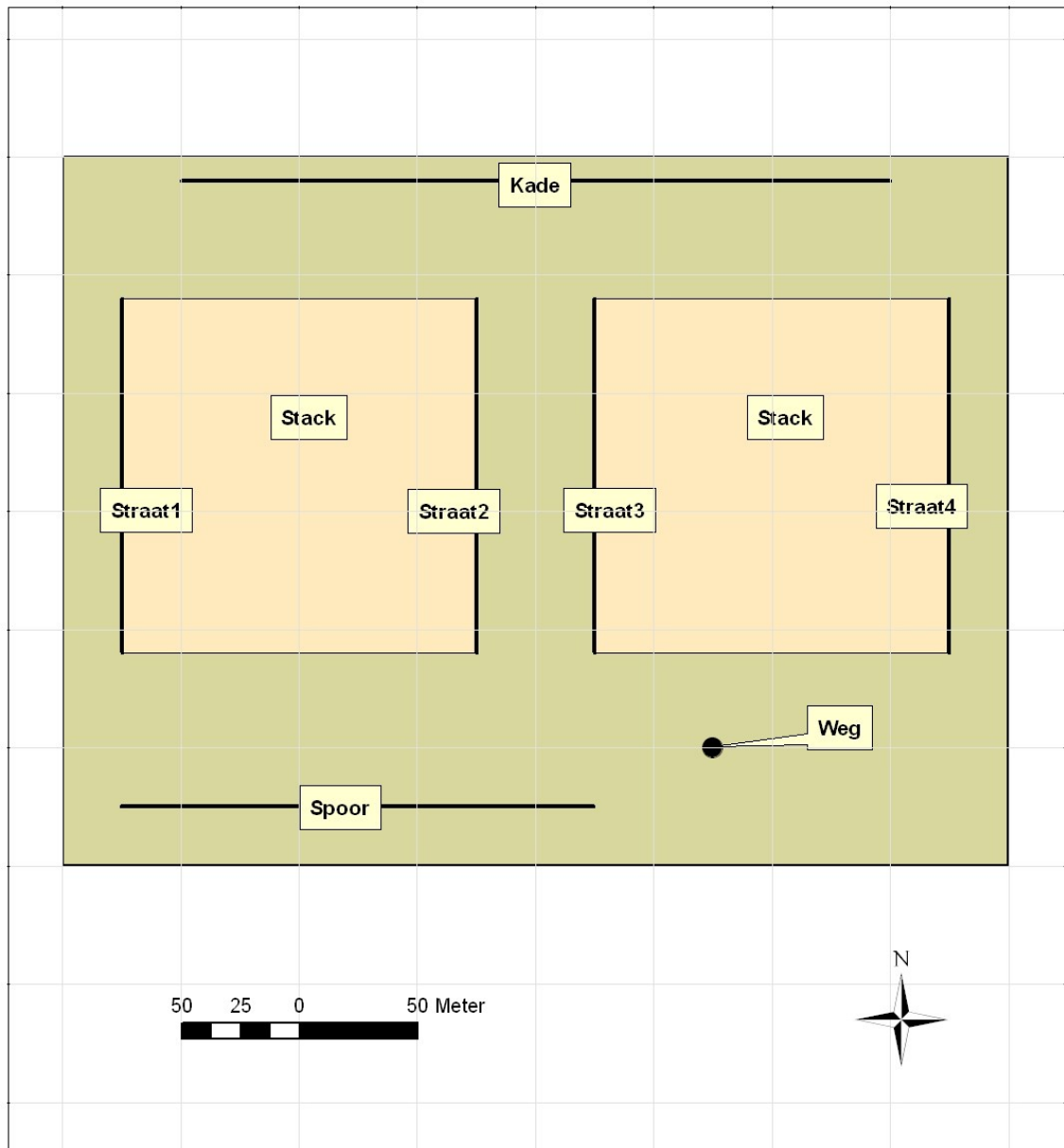
Tabel 47 Voorbeeldstoffen

Hoofdcategorie	Categorie	Stofnaam
Brandbare gassen	GF1	Ethyleenoxide (brandbaar)
	GF2	Butaan
	GF3	Propaan
Toxische gassen	GT2	Methylmercaptaan
	GT3	Ammoniak (toxisch)
	GT4	Zwavel dioxide
	GT5	Chloor
Brandbare vloeistoffen	LF1	Nonaan

	LF2	Hexaan
Toxische vloeistoffen	LT1	Acrylnitril (toxisch)
	LT2	Allylamine (toxisch)
	LT3	Acroleïne (toxisch)
	LT4	Methylisocyanat (toxisch)

30.5 Voorbeeldberekening

Figuur 12 toont de plattegrond van de inrichting die voor de voorbeeldberekening wordt gebruikt. De grootte van het inrichtingsterrein is 400 x 300 m. Aan de noordzijde bevindt zich de kade. Er zijn twee gebieden gemarkeerd als stack waar containers worden neergelegd in afwachting van verder transport. (Tank)containers met gevaarlijke stoffen worden alleen neergelegd aan de westelijke en oostelijke buitenzijde van de stack. Deze posities zijn gemarkeerd als Straat1 t/m Straat4. Verder is het uitwisselpunt voor vracht- en spoorwagens gemarkeerd.



Figuur 12 Plattegrond inrichting

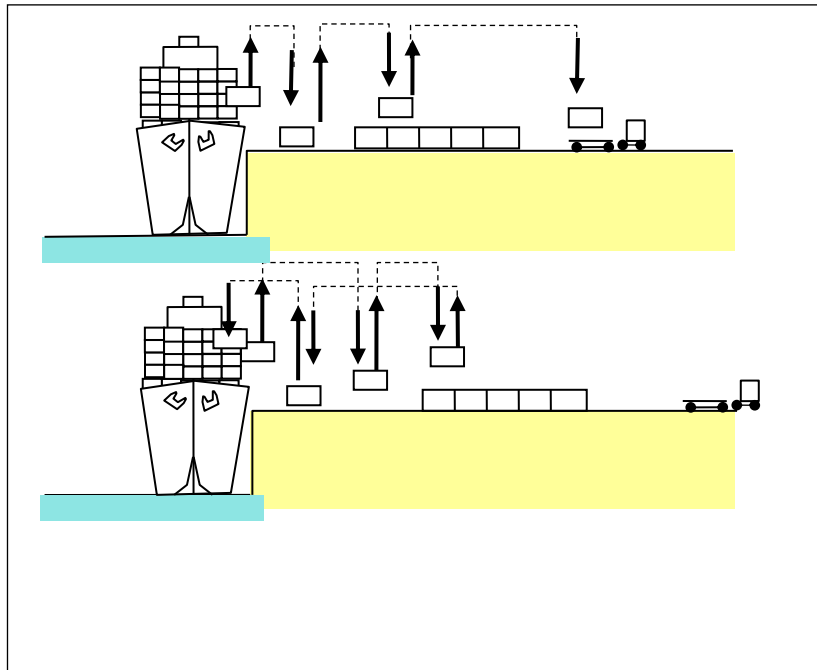
Deze stuwadoor heeft een doorzet van 500000 containers per jaar. Circa 2% van de doorzet bestaat uit volle tankcontainers met gevaarlijke stoffen. Hiervan is 47,25% gevuld met een gevaarlijke stof die relevant is voor de berekening van het extern veiligheidsrisico. Het totaal aantal behandelde relevante tankcontainers is 4725 /jr. De gemiddelde verblijftijd van een tankcontainer met gevaarlijke stoffen in de stack is 72 uur.

Tabel 48 toont het percentuele aandeel van stofcategorieën relevant voor het extern veiligheidsrisico van het aantal volle tankcontainers, het hieruit afgeleide jaarlijks aantal overslagen (in- en uitslag) en het gemiddeld aantal tankcontainers aanwezig in de stack uitgaande van de gemiddelde verblijftijd.

Tabel 48 Aantal tankcontainers relevant voor het extern veiligheidsrisico

Categorie	Voorbeeldstof	Percentage [%]	Aantal overslagen [/jr]	Aantal aanwezig [-]
GF3	Propaan	4,233	200	1,644
GT3	Ammoniak	2,116	100	0,822
GT4	Zwavel dioxide	0,106	5	0,041
LF2	Hexaan	77,249	3650	30,000
LT1	Acrylnitril	6,349	300	2,466
LT2	Allylamine	9,312	440	3,616
LT3	Acroleïne	0,635	30	0,247
Totaal		100,000	4725	38,836

De overslag van de volle tankcontainers vindt op de volgende wijze plaats: van een schip naar het spoor (of vice versa) voor 20%, van een schip naar de weg (of vice versa) voor 40% en van een schip naar een schip voor 40%. Alle containers worden bij binnenkomst eerst in de stack geplaatst. Bij de aan- en afvoer per schip wordt de container eerst vanuit de stack op de kade geplaatst. Figuur 13 toont het aantal verticale deelhandelingen voor de verschillende routes van een (tank)container tijdens de totale afhandeling.



Figuur 13 Deelhandelingen voorbeeldberekening

Tabel 49 toont de frequentie van de ongevalsscenario's voor de overslag van tankcontainers en de percentuele verdeling naar posities op het terrein. De faalfrequentie voor de route schip-weg en schip-spoor met zes verticale handelingen is gelijk aan $1,0 \times 10^{-6}$ /overslag (kleine uitstroming) en $1,0 \times 10^{-7}$ /overslag (grote uitstroming). De faalfrequentie voor de route schip-schip met acht verticale handelingen is 33,3% groter dan de faalfrequentie voor de route schip-weg of schip-spoor (zie paragraaf 1.2.3). Via de route schip-schip wordt 40% van de containers afgehandeld. Dit zijn $0,4 * 4725 = 1890$ containers per jaar. De frequentie op een klein ongevalsscenario is $1,333 * 1890 * 1,0 \times 10^{-6} = 2,52 \times 10^{-3}$ /jr.

Tabel 49 Frequentie ongevalsscenario's tankcontainers overslag

Route	Aantal [/jr]	Scenario	Frequentie [/jr]	Percentuele verdeling			
				Kade	Stack	Weg	Spoor
Schip- schip	1890	Klein	$2,52 \times 10^{-3}$	75	25	0	0
		Groot	$2,52 \times 10^{-4}$	75	25	0	0
Schip- weg	1890	Klein	$1,89 \times 10^{-3}$	50	33,3	16,7	0
		Groot	$1,89 \times 10^{-4}$	50	33,3	16,7	0
Schip- spoor	945	Klein	$9,45 \times 10^{-4}$	50	33,3	0	16,7
		Groot	$9,45 \times 10^{-5}$	50	33,3	0	16,7
Totaal	4725	Klein	$5,36 \times 10^{-3}$	61,7	29,4	5,9	3,0
		Groot	$5,36 \times 10^{-4}$	61,7	29,4	5,9	3,0

Uitgaande van bovenstaande tabel en de percentuele verdeling van het aantal volle tankcontainers per stofcategorie kan een tabel worden opgesteld met de

frequentie op de ongevalsscenario's per stofcategorie en per positie. Tabel 50 toont de frequenties voor een kleine uitstroming. Voor een grote uitstroming zijn de frequenties een factor tien kleiner. De berekening voor bijvoorbeeld stofcategorie GF3 op de kade verloopt als volgt. De frequentie op de kade is $0,617 * 5,36 \times 10^{-3} = 3,31 \times 10^{-3}$ /jr. Het aandeel van GF3 in het aantal tankcontainers is 4,233%. De frequentie op de kade van GF3 is dan $0,04233 * 3,31 \times 10^{-3} = 1,40 \times 10^{-4}$ /jr.

Tabel 50 Frequentie ongevalsscenario's kleine uitstroming tankcontainers overslag

Categorie	Kade	Stack	Weg	Spoor
GF3	1.40×10^{-4}	6.66×10^{-5}	1.34×10^{-5}	6.68×10^{-6}
GT3	7.00×10^{-5}	3.33×10^{-5}	6.68×10^{-6}	3.34×10^{-6}
GT4	3.50×10^{-6}	1.67×10^{-6}	3.34×10^{-7}	1.67×10^{-7}
LF2	2.55×10^{-3}	1.22×10^{-3}	2.44×10^{-4}	1.22×10^{-4}
LT1	2.10×10^{-4}	9.99×10^{-5}	2.00×10^{-5}	1.00×10^{-5}
LT2	3.08×10^{-4}	1.47×10^{-4}	2.94×10^{-5}	1.47×10^{-5}
LT3	2.10×10^{-5}	9.99×10^{-6}	2.00×10^{-6}	1.00×10^{-6}

Tabel 51 toont de ongevalsscenario's voor het verblijf in de stack. De berekening voor bijvoorbeeld het instantaan vrijkomen van een container met GF3 verloopt als volgt. Er is gemiddeld 1,644 container met GF3 in de stack aanwezig. De frequentie is dan $1,644 \times 5,0 \times 10^{-7} = 8,22 \times 10^{-7}$ /jr.

Tabel 51 Frequentie ongevalsscenario's tankcontainers verblijf stack

Categorie	Aantal aanwezig [-]	Instantaan [/jr]
GF3	1,644	8.22×10^{-7}
GT3	0,822	4.11×10^{-7}
GT4	0,041	2.05×10^{-8}
LF2	30,000	1.50×10^{-5}
LT1	2,466	1.23×10^{-6}
LT2	3,616	1.81×10^{-6}
LT3	0,247	1.23×10^{-7}

Rest nog het scenario BLEVE van een GF3 tankcontainer tijdens het verblijf in de stack veroorzaakt door een externe brand. In de stack zijn vier straten gedefinieerd waarin de (tank)containers met gevaarlijke stoffen kunnen worden geplaatst. Elke straat is 150 m lang en de containers worden maximaal drie hoog gestapeld. De lengte van een container is circa 6 m, zodat er in elke straat plek is voor 75 containers. In elke straat bevindt zich gemiddeld 7,5 container met LF2 en 0,411 container met GF3. De frequentie op een grote uitstroming van LF2 in de stack is $0,1 * 1,22 \times 10^{-3} = 1,22 \times 10^{-4}$ /jr (zie tabel 8) en per straat $1,22 \times 10^{-4} * 0,25 = 3,05 \times 10^{-5}$ /jr.

De frequentie op brand per straat is dan $3,05 \times 10^{-5} * 0,13 * 0,1 = 3,97 \times 10^{-7}$ /jr. Deze brand heeft een diameter van 34 m. Binnen deze afstand bevinden zich maximaal $3 - 1 + \text{trunc} (34 * 3 / 6) = 19$ containers. Het aantal containers met

GF3 binnen deze afstand is $0,411 * 19 / 75 = 0,104$. De frequentie op een BLEVE van een GF3 tankcontainers voor elke straat is daarmee $0,104 * 3,97 \times 10^{-7} = 4,12 \times 10^{-8}$ /jr.

De positie van de ongevalsscenario's is in Safeti-NL als volgt gemodelleerd:

- De kade is een lijnbron met een lengte van 300 m.
- De stack bestaat uit vier lijnbronnen met elk een lengte van 150 m.
- Het uitwisselpunt weg is een puntbron.
- Het uitwisselpunt spoor is een lijnbron met een lengte van 200 m.

Figuur 14 Plaatsgebonden risico verblijf

31 E.10 Rekenvoorschrift LNG: opslag- en transportbedrijf, groothandel en containeroverslag en tankstation

31.1 Scenario's afleveren LNG

De scenario's en faalfrequenties voor het falen van de afleverslang zijn gegeven in Tabel 52.

Tabel 52 Scenario's voor het falen van de afleverslang

Scenario	Basisfaalfrequentie		Factor	Frequentie (jaar ⁻¹)	
	metaal	composiet		metaal	composiet
1. Breuk, bekrachtigingsknop werkt	4×10^{-6}	4×10^{-7}	0,99 x 521	$2,1 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-4}$
2. Breuk, bekrachtigingsknop faalt	4×10^{-6}	4×10^{-7}	0,009 x 521	$1,9 \times 10^{-5}$	$1,9 \times 10^{-6}$
3. Breuk, inblok faalt	4×10^{-6}	4×10^{-7}	0,001 x 521	$2,1 \times 10^{-6}$	$2,1 \times 10^{-7}$
4. Lek	4×10^{-5}	4×10^{-5}	521	$2,1 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-2}$

Opmerking:

- De totale faalkans moet naar rato verdeeld worden over de verschillende afleverzuilen.
- In de referentieanalyse is gekozen voor een composietslang met een diameter van 1". Er is geen sprake van operatoringrijpen, maar wel van het gebruik van een *bekrchtigingsknop* en automatische detectie.
- Uitgaande van een doorzet van 5.000 m³ en een afleverdebiet van 160 l/min is de totale aflevertijd 521 uur.
- De hoogte van het uitstroomdebiet bij breuk is 1,5 maal het afleverdebiet.

32 E.11.1 Rekenvoorschrift mijnbouwwerk

32.1 Inleiding rekenmethode mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen

De volgende activiteiten vallen binnen het toepassingsgebied van de rekenmethode:

- Productie van aardgas en aardolie vanuit ondergrondse reservoirs.
- Injectie van aardgas en aardolie in ondergrondse reservoirs.
- Behandeling van aardgas, aardolie en mengsels van aardgas en aardgascondensaat.
- Activiteiten ter ondersteuning van het transport en de distributie van aardgas, aardolie en aardgascondensaat.

Voor andere stoffen of omstandigheden dan waarin deze rekenmethode voorziet, moet gerekend worden naar het oordeel van het bevoegd gezag en de wetenschappelijke inzichten inzake risicoberekeningen. Hierbij moet waar mogelijk aangesloten worden bij de uitgangspunten van dit hoofdstuk.

32.2 Algemene uitgangspunten

32.2.1 *Inrichtingsgrens*

De risicoberekening wordt uitgevoerd voor de bovengrondse en ondergrondse installatie-onderdelen binnen de inrichtingsgrens. Voor doorgaande transportleidingen, veelal ondergronds gelegen, geldt het volgende:

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

32.2.2 *Mengsels en voorbeeldstoffen*

Voor mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen zijn de belangrijkste producten:

- aardgas;
- (aardgas)condensaat;
- mengsels van aardgas en aardgascondensaat;
- olie;
- mengsels van gas en olie.

Deze mengsels kunnen naast koolwaterstoffen ook andere stoffen bevatten die in het reservoir aanwezig zijn. De meest voorkomende 'verontreinigingen' in de genoemde mengsels zijn water, stikstof, kooldioxide, koolmonoxide en zwavelwaterstof.

32.2.2.1 Toxiciteit en ontvlambaarheid

Mengsels van aardgas en (aardgas)condensaat met minder dan 4,3 vol% toxische stoffen worden ingedeeld als alleen ontvlambaar. Voor mengsels met 4,3 vol% toxische stoffen of meer moet op basis van de uitstroomcondities en de compositie van het mengsel worden afgewogen of toxische effecten relevant zijn voor het plaatsgebonden risico en/of het groepsrisico. De opsteller van de QRA dient een onderbouwing te geven van de gekozen risicomodellering. Aanbevolen wordt om de keuze voor de modelstof af te stemmen met de Helpdesk SAFETI-NL.

32.2.2.2 Voorbeeldstoffen voor ontvlambare mengsels

Pure componenten worden als zodanig ingevoerd in SAFETI-NL. Voor ontvlambare mengsels worden de gevaarscategorieën van Tabel 53 en de bijbehorende voorbeeldstoffen gebruikt. Voor ongestabiliseerde mengsels en voor gestabiliseerde mengsels categorie 1 is geen voorbeeldstof gedefinieerd. Voor deze mengsels moet de opsteller van de QRA zelf met een onderbouwd voorstel voor de risicoberekening komen. Aanbevolen wordt om de keuze voor de modelstof af te stemmen met de Helpdesk SAFETI-NL.

Tabel 53 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 ²⁹ kleiner of gelijk aan 35°C.	
Gestabiliseerde mengsels categorie 2	Mengsels met een vlampunt kleiner dan 23°C en een kookpunt ²⁹ 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

32.2.3 Voorwaarden voor het gebruik van de standaard uitstroomfrequenties

Uitgangspunt voor de toepassing van de standaard uitstroomfrequenties in een QRA is dat het bedrijf voldoet aan de standaarden voor een goede bedrijfsvoering. Dit betekent onder andere dat het beleid ten aanzien van de beheersing van de risico's voldoet aan de eisen en dat er voldoende maatregelen zijn genomen tegen alle voorziene faalmechanismen. Zie ook module 1. In paragraaf 32.2.4 is beschreven welke additionele faaloorzaken beschouwd

²⁹ Voor mengsels gaat om het beginkookpunt. Dit is de temperatuur waarbij de dampspanning van het mengsel gelijk is aan omgevingsdruk (101,325 kPa).

moeten worden. Voor het eventueel afwijken van de standaard uitstroomfrequenties is module 1 van toepassing.

32.2.4 *Additionele faaloorzaken*

In de uitstroomfrequenties is de eventuele bijdrage van runaway reacties, van beschadiging door externe activiteiten en van natuurrampen niet verdisconteerd. Voor hogedruk gastransportleidingen is ook de eventuele bijdrage van een intern domino-effect niet in de uitstroomfrequentie opgenomen. In de volgende paragrafen wordt beschreven onder welke omstandigheden de additionele faaloorzaken moeten worden meegenomen en onder welke omstandigheden deze oorzaken buiten beschouwing gelaten kunnen worden.

32.2.4.1 Runaway reacties

Met betrekking tot de uitstroomfrequenties wordt verondersteld dat er geen runaway reacties mogelijk zijn. Als er wel runaway reacties mogelijk zijn, dan moeten daarvoor de uitgangspunten uit module 1 worden aangehouden.

32.2.4.2 Externe beschadiging

Externe beschadiging betreft een Loss of Containment ten gevolge van mechanische impact van buiten af. De kans op een uitstroming ten gevolge van een externe beschadiging is niet opgenomen in de standaard uitstroomfrequenties. Er wordt onderscheid gemaakt naar externe beschadiging door activiteiten binnen de inrichting (zoals aanrijdingen en het vallen van voorwerpen) en door activiteiten buiten de inrichting (zoals het falen van windturbines en vliegtuigongevallen).

De bijdrage van externe beschadiging ten gevolge van activiteiten binnen de inrichting moet additioneel in rekening worden gebracht tenzij kan worden aangetoond dat op de inrichting voldoende maatregelen genomen zijn om externe beschadiging van installatieonderdelen te voorkomen. Het betreft onder meer maatregelen tegen aanrijdingen en maatregelen tegen het vallen van voorwerpen bij hijswerkzaamheden. Als dergelijke maatregelen niet genomen zijn, dan moet de opsteller van de risicoanalyse een gemotiveerd voorstel doen voor de additionele bijdrage van deze faaloorzaken aan de uitstroomfrequentie.

Voor externe beschadiging door activiteiten van buiten worden alleen vliegtuigen en windturbines beschouwd. Zie daarvoor module 1.

32.2.4.3 Interne domino-effecten

Interne domino-effecten worden (alleen) voor hogedruk gastransportleidingen (voorheen 'interunit leidingen' genoemd) additioneel in rekening gebracht. Het betreft de mogelijkheid dat een leiding breekt als gevolg van aanstraling door een brand volgend op een flenslekkage in een nabijgelegen systeem (leiding of vat).

1. Interne domino-effecten worden *niet* additioneel in rekening gebracht:
 - a. voor delen van de inrichting waar een werkend brand- en gasdetectiesysteem aanwezig is;
 - b. voor delen van de inrichting waar ontwerpmaatregelen genomen zijn die domino-effecten als gevolg van een flenslekkage voorkomen;
 - c. voor ondergrondse gelegen (ontvangende) leidingen.
2. Indien op basis van punt 1 interne domino-effecten als gevolg van flenslekkages niet kunnen worden uitgesloten, moet worden bekeken hoeveel flenzen de naburige systemen bevatten. Voor een relevante bijdrage (> 10%) aan de uitstroombrequentie 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 uitstroombesonderheden (zoals lekkage vanuit een vat) worden niet meegenomen.
 - c. Een flenslekkage vanuit een naburig systeem kan alleen leiden tot een domino-effect als de warmtestraling ter plaatse van de ontvangende leiding op enig punt groter is (of kan zijn) dan 35 kW/m^2 . Deze effectafstanden kunnen worden afgelezen uit Tabel 54. Voor het flenslek wordt een diameter aangehouden van 10% van de leidingdiameter, met een maximum van 50 mm.
 - d. Voor elke flens die een domino-effect kan veroorzaken, wordt de uitstroombrequentie voor breuk van het ontvangende leidingdeel met $9,3 \times 10^{-10}$ per jaar verhoogd. Deze verhoging wordt verdeeld over het hele ontvangende leidingdeel.

Tabel 54 Effectafstanden voor domino-effecten (35 kW/m^2 warmtestraling horend bij de fakkelbrand bij weertype D9)

Diameter lek Overdruk	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	50 mm
16 bar	5 m	10 m	15 m	20 m	35 m
25 bar	10 m	15 m	20 m	20 m	40 m
40 bar	10 m	15 m	20 m	25 m	50 m
60 bar	15 m	20 m	25 m	30 m	60 m
80 bar	15 m	20 m	30 m	35 m	65 m

100 bar	20 m	25 m	35 m	40 m	75 m
140 bar	20 m	30 m	40 m	50 m	85 m
200 bar	25 m	35 m	50 m	60 m	100 m
300 bar	30 m	45 m	55 m	70 m	115 m

32.2.4.4 Uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden

Het falen van installaties door uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden, zoals overstromingen, aardbevingen en orkanen, is niet in de standaard uitstroombereik verdisconteerd. De extra bijdragen hoeven echter niet in rekening gebracht te worden, op voorwaarde dat de installaties voldoen aan de geldende standaarden voor goede bedrijfsvoering inclusief eisen ten aanzien van het Veiligheidsbeheersysteem.

32.2.4.5 Moedwillige verstoring

De mogelijke bijdrage van moedwillige verstoring aan het risico buiten de inrichting wordt niet in rekening gebracht op voorwaarde dat voldaan wordt aan vigerend beleid tegen moedwillige verstoring.

32.2.5 *Boringen*

De risico's van boringen en van 'completion' van de put worden niet meegenomen. Dit zijn eenmalige activiteiten waarvoor het afwegingskader van Bevi niet geschikt is. Bij de aanvraag voor een boorvergunning wordt afgewogen of de risico's voor de omgeving acceptabel zijn.

32.2.6 *Insluitsystemen die buiten beschouwing mogen worden gelaten*

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

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

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

1. Glycolopslag en regeneratiesysteem voor zover de procestemperatuur lager is dan het vlammpunt en de operationele druk lager is dan 10 bar (overdruk);
2. Brandstofdistributiesystemen (fuel gas systems) met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
3. Offgas-systemen met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
4. Afdekgas (blanket gas) systemen met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
5. Afgas- en fakkelsystemen met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);

6. Systemen voor het schoonmaken van leidingen (ragerinstallaties).
7. Open en gesloten drainagesystemen;
8. Systemen voor chemicaliën- en methanolinjectie.

32.2.7 Afkapgrens

In de QRA hoeven alleen uitstroombesluitingen te worden meegenomen als de frequentie van het scenario groter is of gelijk aan 1×10^{-9} per jaar. Scenario's waarbij de effectafstand kleiner is dan de afstand tot de terreingrens hoeven ook niet te worden meegenomen. Dat is het geval voor (alle) lekkages van leidingen met verticale uitstroomrichting, voor sommige lekkages met horizontale uitstroomrichting (zie Tabel 55³⁰) en voor sommige leidingbreuken met verticale uitstroomrichting (zie Tabel 56).

Tabel 55 Maximale effectafstand (10 kW/m^2) voor een lekkage met horizontale uitstroomrichting

Overdruk Diameter gat	25 bar	40 bar	60 bar	100 bar	140 bar	200 bar
2,5 mm (0,1 inch)	0 m	0 m	5 m	5 m	5 m	5 m
5,1 mm (0,2 inch)	5 m	5 m	5 m	10 m	10 m	15 m
12,7 mm (0,5 inch)	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m
25,4 mm (1 inch)	20 m	30 m	35 m	45 m	55 m	65 m
50,8 mm (2 inch)	45 m	55 m	70 m	85 m	100 m	120 m

Tabel 56 Maximale effectafstand (10 kW/m^2) voor breuk van een hogedruk aardgasleiding met verticale uitstroomrichting

Overdruk Diameter leiding	20 bar	40 bar	60 bar	80 bar	100 bar	120 bar
102 mm (4 inch)	55 m	70 m	85 m	100 m	110 m	115 m
152 mm (6 inch)	80 m	110 m	130 m	145 m	160 m	170 m
203 mm (8 inch)	105 m	145 m	170 m	190 m	205 m	220 m
254 mm (10 inch)	135 m	175 m	205 m	230 m	250 m	265 m
305 mm (12 inch)	160 m	205 m	240 m	270 m	290 m	310 m
356 mm (14 inch)	180 m	235 m	270 m	305 m	330 m	355 m
406 mm (16 inch)	200 m	260 m	305 m	340 m	370 m	395 m

32.2.8 Maatregelen en systeemreacties

Maatregelen zijn bedoeld om de kans op het optreden van een Loss of Containment (LoC) te verkleinen of de effecten van een LoC te verminderen. Het betreft onder meer de aanwezigheid van veiligheidskleppen en inbloksystemen. In Hoofdstuk 4 wordt beschreven hoe mitigerende maatregelen doorwerken in de QRA. In aanvulling hierop gelden voor mijnbouwwerken nog de volgende opmerkingen:

³⁰ Voor waarden voor overdruk en leidingdiameter die niet in de tabel zijn opgenomen, moeten de eerstvolgende waarden gebruikt worden.

- 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 systeem³¹. 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 32.8.3. 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 1 van kracht. Dat betekent dat de feitelijke situatie maatgevend is, in het bijzonder wanneer faalkansen en reactietijden significant afwijken van de in module 1 vermelde standaardwaarden.
- De invloed van pompen en compressoren op de uitstroming aan de perszijde wordt bepaald aan de hand van de pomp-/compressorkarakteristieken. Als deze niet bekend zijn, mag worden uitgegaan van 150% van de nominale doorzet (zoals vastgelegd in de *Process Flow Diagram* of massa- & energiebalans).

De uitstroombesonderheden 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 uitstroombesonderheden niet als extra veiligheidsmaatregel verdisconteerd worden in de QRA.

32.2.9 *Nalevering*

In overeenstemming met Module 1 moet er rekening gehouden worden met nalevering als de nageleverde hoeveelheid significant is (zie in het bijzonder opmerking 2 in de genoemde paragraaf). In aanvulling hierop zijn de volgende afspraken gemaakt:

- Nalevering hoeft niet te worden meegenomen voor het "tien minuten scenario".
- Nalevering hoeft niet te worden meegenomen voor kleine lekkages, waaronder het "tien millimeter lek" voor opslag- en reactievaten en een "lek met een diameter van 10% van de nominale diameter" voor leidingen.

32.2.10 *Rapportageplicht*

Met betrekking tot de rapportage gelden dezelfde eisen als voor andere Beveiligingsplichtige bedrijven. Deze eisen zijn vermeld in paragraaf 4.2 van Module B. In aanvulling daarop moeten voor putten de volgende reservoirkarakteristieken worden opgenomen in het QRA-rapport:

- de lengte en diameter van de tubing en de casing;
- de flowing bottom hole pressure (FBHP);
- het productiedebiet;
- de 'closed-in tubing head pressure' (CITHP);
- de 'casing blowout potential' (CBOP);
- de 'tubing blowout potential' (TBOP);

³¹ Er is wel een generieke invloed van inbloksystemen die reageren voordat de LoC optreedt, namelijk via de uitstroombesonderheden die zijn vastgesteld.

- 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 32.9) dan moeten de uitgangspunten in het QRA rapport op een herleidbare manier beschreven worden.

32.2.11 *Installatieonderdelen, uitstroomscenario's en uitstroomfrequenties*

In Tabel 57 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 1 of Hoofdstuk 27 gebruikt.

Tabel 57 Installatieonderdelen waarvoor nieuwe scenario's en frequenties zijn vastgesteld

Onderdeel	Verwijzing
Olie- en gasputten a. Injectieputten b. Productieputten	Paragraaf 32.3
Leidingen a. Flexibele leidingen b. Procesleidingen c. Hogedruk gastransportleidingen	Paragraaf 32.4
Separatoren a. Vloeistofvangervang b. Slokkenvangervang c. Gaswassers (incl. adsorbers) d. Filter- en centrifugaalseparatoren	Paragraaf 32.5
Pompen en compressoren a. Verdringerpomp b. Centrifugaalpomp c. Verdringercompressor d. Centrifugaalcompressor e. Hogedruk centrifugaalcompressor	Paragraaf 32.6
Warmtewisselaars a. koelerbanken	Paragraaf 32.7

32.3 Gas- en olieputten

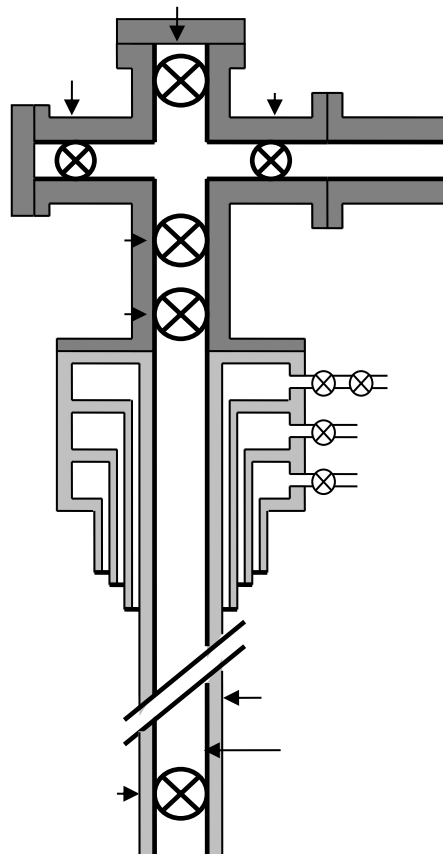
32.3.1 *Definitie*

Een gas- of olieput bestaat uit een bovengronds afsluiterblok ('christmas tree') die met een ondergronds olie- of gasreservoir verbonden is via een systeem van een of meerdere leidingen. Voor de QRA worden olie- en gasputten begrensd door de 'wing valve' (zie Figuur 15). Leidingen en installatieonderdelen vanaf de 'production wing valve' moeten afzonderlijk worden beschouwd.

32.3.2 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 15).
- Afsluiters voor het drukvrij maken van verschillende behuizingen.
- 'Flow meters' en druk- en temperatuursensoren op het afsluiterblok.



Figuur 15 Weergave van de put (inclusief 'christmas tree')

32.3.3 Uitstroomscenario's en - frequenties

In Tabel 58 en Tabel 59 zijn de uitstroomscenario's en -frequenties voor gasputten vermeld en in Tabel 60 en Tabel 61 de gegevens voor olieputten. Voor gasputten is de 'gas oil ratio'³² groter dan 1000, de overige putten zijn olieputten.

Opmerkingen:

1. De uitstroomfrequenties voor productie gelden per productiejaar en die voor injectie per injectiejaar. Voor onderhoudsactiviteiten zijn de frequenties per activiteit. Op basis van een inschatting voor de frequentie van activiteiten per jaar kan een uitstroomfrequentie per jaar verkregen worden.
2. Voor de blowout-scenario's is de gatgrootte gelijk aan de (inwendige) diameter van de casing of de tubing. Voor lekkages is de diameter van het lek 10% van de diameter van de tubing.
3. Tijdens productie en injectie is de 'wing valve', die de put verbindt met de installatie-onderdelen op de inrichting, geopend. Tijdens onderhoudswerkzaamheden staat de put onder druk en is de 'wing valve' gesloten.

32.3.3.1 Gasputten

Tabel 58 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 59 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	$6,1 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$2,7 \times 10^{-4}$	$6,4 \times 10^{-5}$

32.3.3.2 Olieputten

Tabel 60 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	-	$7,4 \times 10^{-6}$	$8,7 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-6}$

³²

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

Tabel 61 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	$3,4 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-5}$

32.4 Leidingen

32.4.1 Definitie

Voor flexibele leidingen en procesleidingen zijn geen aparte uitstroomscenario's gedefinieerd voor de toebehoren van een leiding, zoals flenzen, stompen, appendages en instrumentatie. Voor deze leidingen is de uitstroming vanuit deze toebehoren onderdeel van de generieke scenario's en frequenties voor leidingen. Voor hogedruk gastransportleidingen is wel een specifiek 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.

32.4.2 Kenmerken

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

- flexibele leidingen;
- procesleidingen;
- hogedruk gastransportleidingen.

32.4.3 Uitstroomscenario's en -frequenties

32.4.3.1 Procesleidingen

Procesleidingen zijn de leidingen die niet vallen onder de definities van flexibele leidingen en hogedruk gastransportleidingen. Voor procesleidingen (gas, 2-fase en vloeistof) gelden de scenario's en frequenties die zijn afgeleid voor Seveso-inrichtingen (module 1).

32.4.3.2 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 17J³³ of API 17K³⁴ of vergelijkbare normen.

Voor flexibele leidingen (gas, 2-fase en vloeistof) gelden de scenario's en frequenties van Tabel 62. 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 62 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}	$2,5 \times 10^{-6}$

32.4.3.3 Hogedruk gastransportleidingen

Een hogedruk gastransportleiding (voorheen 'interunit leiding') voldoet aan de volgende eigenschappen:

- Het is een rigide leiding, of een systeem van leidingen, met een lengte van minimaal 25 meter, een uitwendige diameter van minimaal 2 inch (0,051 m) en een ontwerpdruk van minimaal 16 bar (overdruk).
- Het ontwerp en beheer van de leiding zijn (minimaal) gelijkwaardig aan NEN3650.
- Het product is aardgas met maximaal 80 m³ (aardgas)condensaat per miljoen Nm³ aardgas.
- Er is een analyse uitgevoerd van mogelijke faaloorzaken en voor deze faaloorzaken zijn aantoonbaar effectieve maatregelen geïmplementeerd. In het bijzonder worden de leidingen beschermd tegen aanrijdingen en hijs- en graafwerkzaamheden.

Voor hogedruk gastransportleidingen gelden de scenario's en frequenties van Tabel 63. Voor de breuk van de leidingen wordt uitgegaan van een gat ter grootte van de inwendige diameter. De twee lekscenario's betreffen een gat met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van de leiding, met een maximum van 50 mm. Er wordt met betrekking tot de uitstroomfrequenties geen onderscheid gemaakt naar bovengrondse- en ondergrondse leidingen.

Tabel 63 Uitstroomscenario's en -frequenties voor hogedruk gastransportleidingen

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

³³ Specification for unbonded flexible pipe. American Petroleum Institute (API).

³⁴ Specification for bonded flexible pipe. American Petroleum Institute (API).

Flenslek (10% van de leidingdiameter, maximaal 50 mm) ³⁵	9,3×10 ⁻⁷ per flens per jaar
---	---

Voor overige transportleidingen binnen de inrichting gelden de scenario's en frequenties Seveso activiteiten (module 1).

32.5 Separatoren

32.5.1 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 vloeistofvangers, slokkenvangers, gaswassers (inclusief adsorbers), filterseparatoren en centrifugaalseparatoren.

32.5.2 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 uitstroombereikfrequenties gelden voor de separator inclusief de gelaste stempels, 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.

32.5.3 Uitstroombereikscenario's en -frequenties

32.5.3.1 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 32.5.3.2) is de vloeistof tamelijk gelijkmatig over de productstroom verdeeld. In tegenstelling tot gaswassers (zie 32.5.3.3) wordt de vloeistof niet geadsorbeerd of opgelost. In tegenstelling tot

³⁵ Lek van de leiding en lek van de flens mogen met één (gezamenlijk) scenario worden ingevoerd in de risicoberekening. Dit wordt dan ingevoerd als een route. De contributie van de flenzen wordt in dat geval gelijkmatig verdeeld over de leiding.

centrifugaalseparatoren (32.5.3.5) kan de productstroom nog aanzienlijke hoeveelheden verontreinigingen bevatten.

De uitstroomscenario's en -frequenties voor vloeistofvangervan zonder complexe internals zijn weergegeven in Tabel 64. Het betreft onder meer buffer- en zuigvaten, refluxvaten en knockout-vaten. Voor vloeistofvangervan met complexe 'internals' zijn de scenario's en frequenties van Tabel 65 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 64 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een vloeistofvanger zonder complexe internals

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

Tabel 65 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een vloeistofvanger met complexe internals

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

Opmerkingen:

1. Voor het lekscenario wordt verondersteld dat de lekkage plaatsvindt in de vloeistoffase. Als voorbeeldstof wordt n-butaan gebruikt. Het uitstroomdebiet is constant en gelijk aan het initiële uitstroomdebiet. Dit geldt voor beide typen vloeistofvangervan.

32.5.3.2 Slokkenvangervan

Slokkenvangervan worden gebruikt om grote 'slokken' vloeistof te verwijderen uit een productstroom. De scheiding gebeurt op basis van inertie en zwaartekracht zonder verdere internals. Slokkenvangervan kunnen bestaan uit een vat ('vessel type' slokkenvangervan) of uit een of meerdere onderling verbonden buizen ('finger type' slokkenvangervan). De uitstroomscenario's voor een slokkenvanger met buizen zijn gegeven in Tabel 66. De uitstroomfrequenties gelden per buis. De scenario's voor een slokkenvanger met een vat zijn gegeven in Tabel 67.

Tabel 66 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 67 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.

32.5.3.3 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 68 zijn de uitstroomscenario's en -frequenties vermeld die voor gaswassers moeten worden gebruikt.

Tabel 68 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.

32.5.3.4 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 69. In specifieke omstandigheden kan een filterseparator na afstemming met het bevoegd gezag gemodelleerd worden als leiding (zie daarvoor Tabel 70). Minimale eisen waaraan de filterseparator dan moet voldoen zijn:

- De filterseparator is intrinsiek veilig ontworpen, dat wil zeggen dat een blokkade leidt tot falen van het filter zelf voordat een LoC kan optreden.
- Er zijn maatregelen genomen en geborgd om een LoC bij ingebruikname van de filterseparator (ook na onderhoud) te voorkomen.

Tabel 69 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.

32.5.3.5 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 m³ per miljoen Nm³ gas. Centrifugaalseparatoren die een filter bevatten worden beschouwd als filterseparator (zie vorige paragraaf).

Een centrifugaalseparator wordt als leiding gemodelleerd. De uitstroomscenario's en -frequenties zijn weergegeven in Tabel 70. Deze frequenties zijn afkomstig van hogedruk gastransportleidingen en het gebruik van deze waarden is daarom onder voorbehoud dat de ontwerpdruk minimaal 16 bar (overdruk) bedraagt en de uitwendige diameter van de aansluiting op de inkomende gasstroom minimaal 2 inch (0,051 m) is. De uitstroomfrequenties voor breuk en lek hangen af van de lengte (c.q. hoogte) van de separator.

Tabel 70 Uitstroomscenario's en -frequenties voor centrifugaalseparatoren

Scenario	Frequentie
1. Breuk van de separator	5,6×10 ⁻⁹ per meter per jaar
2. Lek in de separator (10% van de diameter, max. 50 mm)	2,0×10 ⁻⁸ per meter per jaar
3. Flenslek (10% van de diameter, maximaal 50 mm)	9,3×10 ⁻⁷ per jaar per flens

Opmerkingen:

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

32.6 Pompen en compressoren

32.6.1 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.

32.6.2 Kenmerken

Een pomp- of compressorsysteem bestaat uit een aantal elementen, waaronder:

- het pomp- of compressorhuis met de inlaat- en afvoeraansluitingen;
- recycle leiding;
- aandrijfsysteem;
- flenzen en kleppen;
- instrumentatie;
- pulsatie dempers.

32.6.3 Uitstroomscenario's en -frequenties

De uitstroomscenario's en -frequenties voor pompsystemen zijn vermeld in Tabel 71 (verdringerpompen) en Tabel 72 (centrifugaalpompen). Voor deze

typen pompen wordt alleen een breuk gemodelleerd. De scenario's voor compressorsystemen zijn gegeven in Tabel 73 (verdringercompressoren) en Tabel 74 (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.

32.6.3.1 Verdringerpompen

Tabel 71 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een verdringerpomp

Scenario	Frequentie (per jaar)
Breuk van de toevoerleiding	$4,8 \times 10^{-5}$

32.6.3.2 Centrifugaalpompen

Tabel 72 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een centrifugaalpomp

Scenario	Frequentie (per jaar)
Breuk van de toevoerleiding	$2,8 \times 10^{-5}$

32.6.3.3 Verdringercompressoren

Tabel 73 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)	$1,2 \times 10^{-3}$

32.6.3.4 Centrifugaalcompressoren

Tabel 74 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)	$1,2 \times 10^{-3}$

32.6.3.5 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 32.4).

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 m³ per miljoen Nm³.

32.7 Warmtewisselaars

In paragraaf 3.12 zijn uitstroomscenario's en -frequenties opgenomen voor warmtewisselaars en condensors. De categorie 'koelerbanken' (ook wel 'finfan-koelers') ontbreekt en wordt hier besproken.

32.7.1 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.

32.7.2 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.

32.7.3 Uitstroomscenario's en -frequenties

De uitstroomscenario's en -frequenties voor koelerbanken zijn weergegeven in Tabel 75. 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 75 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.

32.8 Effectmodellering

Voor de effectberekening gelden in het algemeen de voorwaarden van paragraaf 3.4.6 van Module B. In paragraaf 32.8.3 worden voor de voorschriften beschreven die afwijken van Module B. In 32.8.4 worden aanvullende uitgangspunten voor blowout en lekkage van de put beschreven.

32.8.1 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 32.3)
- 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.

32.8.2 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 van de risico-analyse te onderbouwen of het ontstaan van een krater wel of niet aannemelijk is.

32.8.3 Afwijkende effectmodellering ten opzichte van module 1

Voor mijnbouwrichtingen en gastransportinrichtingen zijn afwijkende voorschriften opgesteld die recht doen aan de aard van de activiteiten en de bijbehorende risico's. Deze afwijkende voorschriften worden in deze paragraaf beschreven en zijn van toepassing op installatie-onderdelen die voldoen aan de volgende voorwaarden:

- Het insluitsysteem bevat ontvlambare gassen of een ongestabiliseerd mengsel van ontvlambare gassen en vloeistoffen.
- De operationele druk in het insluitsysteem is 16 bar (overdruk) of hoger.
- Het aandeel toxische componenten, in het bijzonder 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 B van toepassing. Het betreft onder meer insluitsystemen met gestabiliseerde vloeistoffen en insluitsystemen met een operationele druk lager dan 16 bar.

Hieronder wordt de *afwijkende* modellering beschreven.

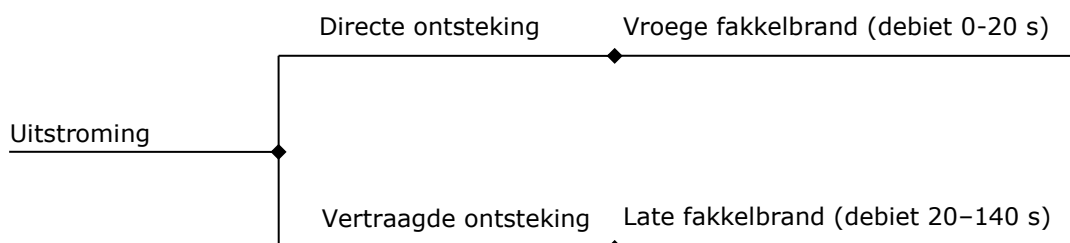
32.8.3.1 Maatwerk voor snelsluitende kleppen

Er wordt onderscheid gemaakt naar scenario's met snelsluitende kleppen³⁶ en scenario's zonder snelsluitende kleppen. Voor scenario's met snelsluitende kleppen moet maatwerk verricht worden. Het initiatief daarvoor ligt bij de opsteller van de QRA.

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

32.8.3.2 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 16).



Figuur 16 Gebeurtenissenboom voor hogedruk gassystemen met een uitstroomduur groter of gelijk aan 20 s

Opmerkingen:

- Voor breuk van een leiding en voor het instantaan falen van een vat wordt aangenomen dat de uitstroming vanuit toevoer- en afvoerleidingen bepalend is voor (de ontwikkeling van) het uitstroomdebiet. Deze is in het algemeen sterk tijdsafhankelijk.
- Voor het vrijkomen van de gehele inhoud van een vat in 10 minuten wordt een constant uitstroomdebiet verondersteld. Voor dit scenario zijn de

³⁶ Snelsluitende kleppen sluiten in vijf seconden of minder na aanvang van de uitstroming.

- effecten van de vroege en late fakkelbrand dus identiek zodat beide scenario's kunnen worden samengenomen (zie ook paragraaf 32.9.2)
- Voor een lek van 10 mm wordt aangenomen dat de afname van het uitstroomdebiet gedurende de eerste 140 s verwaarloosbaar is. Voor het 10 mm lek kunnen de vroege en late fakkelbrand dus ook worden samengenomen (zie paragraaf 32.9.1)

32.8.3.3 Kans op ontsteking

De kans op directe ontsteking (P_{dir}) is weergegeven in Tabel 76. Voor de kans op vertraagde ontsteking moet worden nagegaan of de LFL contour van het tweede segment (20-140 s) deels buiten de inrichting ligt³⁷. In dat geval treedt er altijd vertraagde ontsteking op. De kans op vertraagde ontsteking is dan $1 - P_{dir}$. Als de LFL contour niet buiten de inrichting komt, dan wordt er geen vertraagde ontsteking gemodelleerd.

Tabel 76 Kans op directe ontsteking (P_{dir})

Bronterm i.g.v. continue releases	Kans op directe ontsteking	
	Aardgas	Ongestabiliseerd mengsel
< 10 kg/s	0,02	0,2
10-100 kg/s	0,04	0,5
> 100 kg/s	0,09	0,7

Opmerkingen:

- Voor verticale releases blijft de LFL contour op 1 m hoogte doorgaans binnen de inrichting³⁸. Voor deze releases hoeft het tweede segment, dat alleen relevant is voor vertraagde ontsteking, niet te worden beschouwd. Uitzondering zijn leidingdelen buiten de inrichting (waaronder meetlussen) en leidingen die evenwijdig aan de inrichtingsgrens liggen op een afstand van 10 m of minder.

32.8.3.4 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 uitstroomfrequentie en de kans op (directe of vertraagde) ontsteking.

Voor ondergrondse leidingen met een verticale uitstroomrichting worden de stroomopwaartse en -afwaartse bijdragen samengenomen en met één uitstroomscenario doorgerekend.

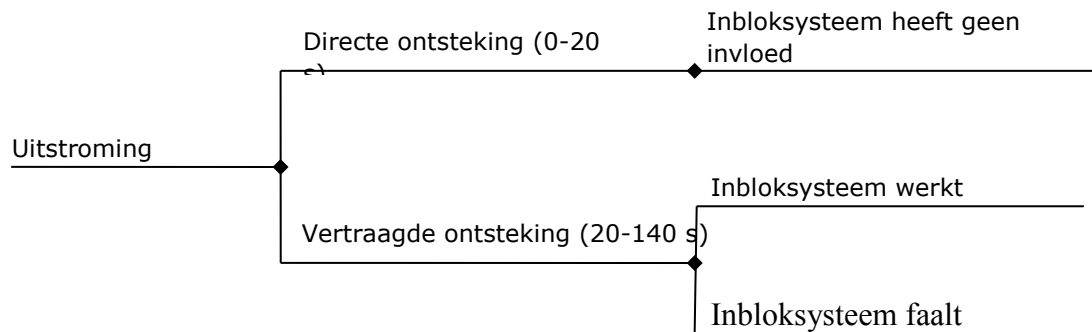
³⁷ Dit wordt getoetst op de gemodelleerde uitstroomhoogte.

³⁸ Voor grote scenario's berekent SAFETI-NL ten gevolge van een interactie met de inversielaag voor weertype F1.5 soms wel een LFL contour op 1 m hoogte buiten de inrichting. Voor leidingen met ontvlambare gassen onder hoge druk is dit een artefact van het model waar geen rekening mee gehouden hoeft te worden.

32.8.3.5 Invloed van inbloksystemen

Inbloksystemen kunnen gebruik maken van snelsluitende kleppen en van reguliere kleppen³⁹. Voor inbloksystemen met snelsluitende kleppen moet conform paragraaf 32.8.3.1 maatwerk worden verricht. Voor situaties zonder snelsluitende kleppen worden conform paragraaf 32.8.3.2 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 17).



Figuur 17 Deelscenario's voor een inbloksysteem met reguliere kleppen

32.8.4 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 inrichting.

- De gatgrootte voor de blowout is afhankelijk van het scenario gelijk aan de diameter van de tubing of de casing, zie paragraaf 32.3.3.
- 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 inrichting plaats. De uitstroomrichting is verticaal. Voor de 'casing blowout' tijdens werkzaamheden geldt de 'casing blowout potential' als minimumwaarde voor het uitstroomdebiet. Evenzo is de 'tubing blowout potential' de minimumwaarde voor het uitstroomdebiet van de tubing blowout tijdens werkzaamheden.

³⁹ Kleppen die niet binnen 5 s gesloten zijn.

- Voor de blowouts scenario's worden de vervolgeffecten (vroeg en late fakkelbrand) van paragraaf 32.8.3.2 gebruikt en de ontstekingskansen van paragraaf 32.8.3.3.
- Eventueel aanwezige putbeveiligingen worden niet verdisconteerd in de QRA (zie paragraaf 32.2.8).

Voor lekkages wordt verondersteld dat de drukafname tijdens het incident beperkt zal zijn. De uitstroming hangt alleen af van de gatgrootte en de initiële druk. Voor de vervolgeffecten worden de uitgangspunten van paragraaf 32.8.3.2 gebruikt (fakkelbrand) en voor de ontstekingskansen paragraaf 32.8.3.3.

32.9 Invoer van scenario's in SAFETI-NL

Standaard is module 1 van toepassing. In deze paragraaf wordt de invoer beschreven voor installatie-onderdelen waarvoor op basis van paragraaf 32.8.3 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 32.9.6 t/m 32.9.8 wordt beschreven hoe blowout en lekkage van de put moet worden gemodelleerd.

32.9.1 *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:

- Voer een Pressure Vessel in en voer de juiste waarden in voor de stof, de temperatuur en de druk. De massa-inhoud (mass inventory) doet niet ter zake, hier kan een willekeurige waarde worden ingevoerd. Kies ook de juiste locatie (geometry).
- Voer daarna een 'Leak' scenario in en selecteer de juiste gatgrootte, uitstroomhoogte, uitstroomfrequentie, uitstroomrichting en kans op directe ontsteking ('probability of immediate ignition').
- 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 76) verdisconteerd in de 'event frequency' (of, in het geval van een route, 'event probability').

32.9.2 *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:

- Selecteer het Pressure Vessel dat reeds voor het lekscenario is ingevoerd (paragraaf 32.9.1).
- Voor vervolgens het scenario 'Fixed duration release' in met uitstroomduur 600 s.
- De 'probability of immediate ignition' wordt gelijk gesteld aan 1 zodat SAFETI-NL een fakkelbrand in rekening brengt. Als alleen directe ontsteking kan optreden, dan wordt de kans op directe ontsteking (zie Tabel 76) verdisconteerd in de 'event frequency' (of, in het geval van een route, 'event probability').

32.9.3 *Leidingbreuk en instantaan falen*

Het uitstroomdebiet na breuk van een leiding of na instantaan falen van een installatie-onderdeel, varieert in de tijd en hangt af van de layout van de inrichting. Een gedetailleerde berekening is tijdsintensief. Daarom is de volgende werkwijze voorgesteld.

- In paragraaf 32.9.4 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 QRA mag ervoor kiezen om een meer realistische berekening te doen op basis van maatwerk maar kan daartoe niet worden verplicht zolang de druk in de toevoer- en/of afvoerleidingen niet beduidend lager is dan de druk in het falende installatie-onderdeel. Als maatwerk wordt toegepast, dan moet de aanpak door de opsteller van de QRA worden toegelicht en verantwoord⁴⁰.

Als de druk van toevoer- of afvoerleidingen wel beduidend lager is dan de druk in het falende installatie-onderdeel, dan kan het gebruik van de vereenvoudigde invoermethode leiden tot een systematische onderschatting van de risico's. Voor die situaties moet de opsteller van de QRA maatwerk toepassen, toelichten en verantwoorden.

32.9.4 *Vereenvoudigde invoermethode voor leidingbreuk en instantaan falen*

In paragraaf 32.9.3 is beschreven dat de effecten van de scenario's 'instantaan falen van een installatieonderdeel' en van 'breuk van een leiding' default berekend worden met de onderstaande 'vereenvoudigde invoermethode'. In paragraaf 32.9.3 is ook aangegeven dat deze vereenvoudigde invoermethode niet gebruikt mag worden als de druk in de toevoer- en/of afvoerleidingen beduidend lager is dan die van het falende installatie-onderdeel.

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

⁴⁰ Het doel van maatwerk is het realistisch berekenen van effecten. De opsteller van de QRA geeft een zo goed mogelijk beeld van de te verwachten effecten van een uitstroomscenario. De invoerwijze moet zoveel mogelijk aansluiten bij deze effecten.

- De inrichting en de omgeving worden beschouwd als één systeem.
- De bronterm voor een scenario wordt bepaald met het Long Pipeline model en de optie Location specific breach.
- De karakteristieken van de Long Pipeline hangen af van de eigenschappen van de toevoer- en afvoerleidingen naar de inrichting. Afgezien van de aanwezigheid van eventuele inbloksystemen binnen de inrichting, is de verdere layout van de inrichting 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 binnen de inrichting geen (relevante) inbloksystemen zijn, dan wordt de nalevering vanuit stroomopwaartse respectievelijk stroomafwaartse zijde voor de hele inrichting op identieke wijze gemodelleerd. Er zijn voor een inrichting met bovengrondse en ondergrondse installaties dan maar drie Long Pipeline 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 uitstroombrequentie zijn vervolgens nog scenariospecifiek.
- Als er binnen of buiten de inrichting 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 het betreffende Long Pipeline model.
- De met het location specific breach scenario berekende uitstroming wordt ingevoerd in een standalone jet fire scenario, dat wil zeggen de relevante uitkomsten van de long pipeline/specific location breach scenario worden handmatig ingevoerd in een apart standalone Jet Fire model. De standalone jet fire scenario's worden in de risicoberekeningen gebruikt. De Long Pipeline modellen dienen alleen ter referentie, ze worden niet gebruikt in de risicoberekening, maar worden wel bewaard om de herkomst van gegevens te kunnen herleiden.
- Het standalone jet fire model is beschikbaar als onderdeel van de standalones. De locatie van het scenario wordt ingevoerd in het tabblad Geometry. De invoerwaarden zijn gebaseerd op de outputs van het betreffende 'location specific breach' rapport:
 - o de 'mass discharge rate' is gelijk aan de 'mass flow rate';
 - o de 'post-expansion jet temperature' is gelijk aan de 'temperature';
 - o de 'jet velocity' is gelijk aan de 'velocity';
 - o de 'post-expansion liquid fraction' is gelijk aan de 'liquid mass fraction in material';
 - o de 'inclination of jet from horizontal' is gelijk aan de uitstroombichting.

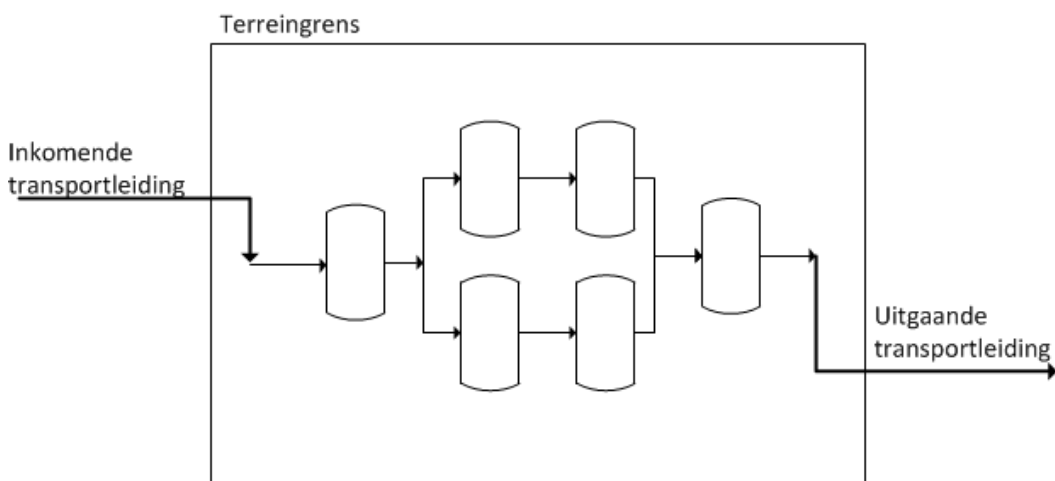
Voor de inrichting en de omgeving wordt onderscheid gemaakt naar de volgende situaties:

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

Deze situaties worden per stuk besproken.

32.9.4.1 Inrichting verbonden met één inkomende leiding en één uitgaande leiding

Figuur 18 geeft een voorbeeld van een inrichting die verbonden is met één ingaande en één uitgaande leiding. In Tabel 77 zijn de invoerwaarden voor het **stroomopwaartse deelscenario** weergegeven. Het betreft de invoer van het 'Long pipeline' (LP) model en het onderliggende 'Location specific breach' (LSB) scenario. Alleen de waarden die kunnen afwijken van de defaults zijn opgenomen in de tabel.



Figuur 18 Voorbeeld van een inrichting verbonden met één inkomende en één uitgaande transportleiding

Tabel 77 Invoerwaarden voor bovengrondse installaties verbonden met één inkomende transportleiding: uitstroming vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting

Model/tabblad	Parameter	Invoerwaarde
LP/Material	Temperature	De temperatuur van de inkomende transportleiding.

Model/tabblad	Parameter	Invoerwaarde
LP/Material	Pressure	De maximale werkdruk van de inkomende transportleiding ⁴¹ .
LP/Scenario	Internal diameter	De inwendige diameter van de inkomende transportleiding.
LP/Scenario	Pumped inflow	Default: 0 kg/s (zie opmerking 3)
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 sluitijd. De 'valve distance' wordt zodanig gekozen dat het leidingvolume tussen de klep en de breuklocatie ⁴² niet kleiner is dan het daadwerkelijk ingeblokke volume stroomopwaarts van de uitstroomlocatie.
LP/Geometry	Coordinates	Default zodanig kiezen dat de gemodelleerde leiding een lengte heeft van 32 km (zie opmerking 2). Omdat het een referentiescenario is, hoeven de ingevoerde coördinaten niet overeen te komen met de werkelijkheid.
LSB/Scenario	Relative branche aperture (area)	Default: d^2/D^2 (zie opmerking 4).
LSB/Scenario	Distance to break	Totale lengte van de ingevoerde long pipeline
LSB/Scenario	Elevation	Default: 1 m (zie opmerking 5).
	Release direction	Horizontaal
LSB/Scenario	Isolation	Wordt automatisch bepaald op basis van de data die in het long pipeline model zijn ingevoerd.
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

⁴¹ Het betreft de waarde die ook gebruikt wordt voor berekeningen in het kader van het Besluit Externe Veiligheid Buisleidingen.

⁴² 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
		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 6).

Opmerkingen:

1. Invoerwaarden die betrekking hebben op frequenties en (vervolg)kansen doen niet ter zake. Het long pipeline model wordt immers niet gebruikt in de risicoberekening, maar wordt alleen gebruikt om de invoergegevens voor het standalone jet fire model te bepalen.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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 77). Ter vergroting van de leesbaarheid zijn in Tabel 78 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 78 Invoerwaarden voor bovengrondse installaties verbonden met één uitgaande transportleiding: uitstroming vanuit het stroomafwaartse deel van de inrichting

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	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 ingeblokke 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. Eerst wordt bepaald welk deelscenario de grootste gemiddelde uitstroming geeft tussen 0 en 20 s. Daarbij wordt de uitstroming uit het stroomopwaartse leidingdeel doorgerekend met de aannames van Tabel 77 en de uitstroming uit het stroomafwaartse leidingdeel op basis van Tabel 78 (als ware het bovengrondse leidingen). In beide gevallen wordt de 'relative aperture' gelijk gesteld aan 1 (namelijk de situatie waarbij de drukafname in de leiding het snelst verloopt). Het leidingdeel met het grootste gemiddelde uitstroomdebiet tussen 0 en 20 s is het 'bepalende leidingdeel' en fungeert als basis voor de invoer van het Long Pipeline model. Alleen de lengte wordt aangepast om de invloed van het tweede leidingdeel te verdisconteren.

De invoerwaarden voor ondergrondse installatie-onderdelen zijn weergegeven in Tabel 79. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de gewijzigde waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 77.

Tabel 79 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	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 ingeblokte volume stroomopwaarts danwel stroomafwaarts van de uitstroomlocatie.
LP/Long pipe	Crater modelling	Aanvinken dat het een ondergronds installatieonderdeel betreft en invullen wat de gronddekking en grondsoort is.
LP/Geometry	Coordinates	Default zodanig kiezen dat de gemodelleerde leiding een lengte heeft van 64 km (zie opmerking 1). Omdat het een referentiescenario is, hoeven de gemodelleerde coördinaten niet overeen te komen met de werkelijkheid.
LSB/Scenario	Distance to break	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.

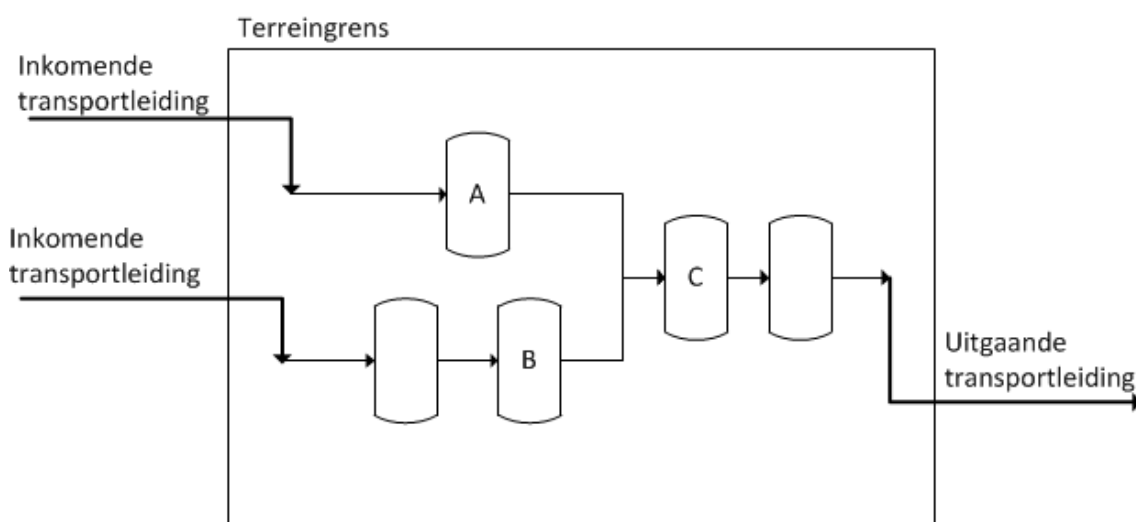
32.9.4.2 Inrichting verbonden met meerdere inkomende en uitgaande leidingen

Figuur 19 geeft een voorbeeld van een inrichting die verbonden is met meerdere ingaande en uitgaande leidingen. Ook voor deze situatie wordt een Long Pipeline model gebruikt. Omdat er meerdere leidingen zijn, is er 'guidance' nodig over de invoerwaarden voor druk, temperatuur, diameter, enz.

Strikt genomen zijn de inkomende leidingen voor de uitstroming vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting verschillend voor de installatieonderdelen A, B en C in Figuur 19. In de vereenvoudigde aanpak wordt hiermee geen rekening gehouden. De vereenvoudigde aanpak blijft een eenvoudige

aanpak die over het geheel genomen robuuste uitkomsten oplevert. In het bijzonder is de modellering voor de installatie-onderdelen A, B en C dus identiek als de diameter van de aansluitingen gelijk is. De inrichting zelf is een 'black box'. De enige uitzondering⁴³ hierop is een inrichting met volledig gescheiden productstromen. Volledig gescheiden productstromen worden los van elkaar ingevoerd en gemodelleerd.

Hieronder wordt een voorbeeld uitgewerkt voor een uitstroming vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting met meerdere inkomende transportleidingen. De aanpak voor een downstream deel met meerdere uitgaande transportleidingen is analoog. Vervolgens is de aanpak voor ondergrondse installatie-onderdelen met meerdere inkomende en/of uitgaande transportleidingen weer analoog aan de aanpak van de vorige paragraaf.



Figuur 19 Voorbeeld van een inrichting verbonden met meerdere inkomende en uitgaande transportleidingen

Voorbeeld: meerdere inkomende transportleidingen: uitstroming met nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting
 Eerst wordt voor elk van de inkomende leidingen afzonderlijk het uitstroomdebiet tussen 0 en 20 s bepaald op basis van de uitgangspunten van Tabel 77. Alleen de 'relative aperture' wijkt af en wordt gelijk gesteld aan 1 (de situatie waarbij de drukafname in de leiding het snelst verloopt). De inkomende transportleiding die het grootste gemiddelde uitstroomdebiet geeft tussen 0 en 20 s, geldt als het 'bepalende leidingdeel' en fungeert als basis voor de verdere invoer. De invloed van de overige leidingen wordt verdisconteerd door de diameter in het Long Pipeline model te vergroten (de inkomende transportleiding wordt als het ware verbreed).

⁴³ Het is natuurlijk ook toegestaan om maatwerk te leveren.

De invoerwaarden voor bovengrondse installatie-onderdelen zijn weergegeven in Tabel 80. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de gewijzigde waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 77.

Tabel 80 Invoerwaarden voor toevoer vanuit meerdere inkomende transportleidingen

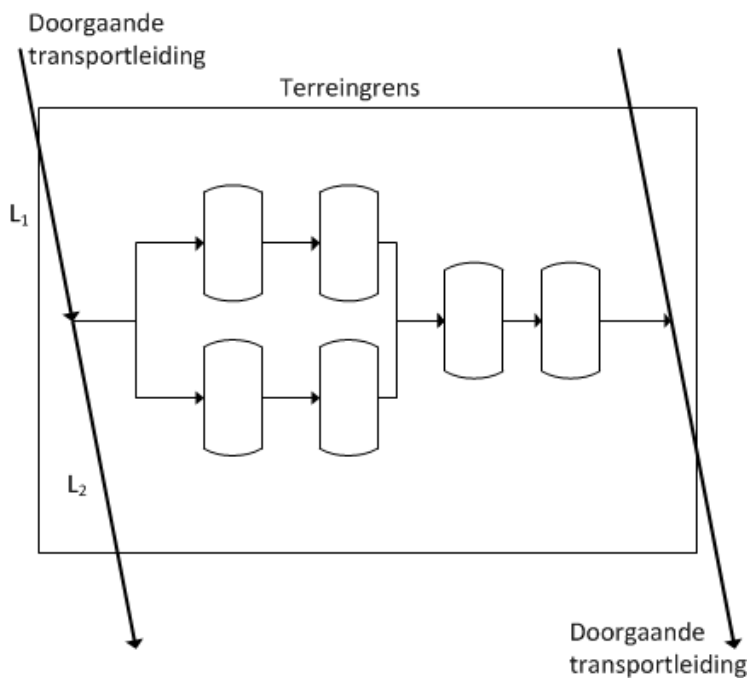
Model/tabblad	Parameter	Invoerwaarde
LP/Material	Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
LP/Material	Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
LP/Scenario	Internal diameter	De equivalente diameter voor 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 compressor-debiet van alle inkomende transportleidingen of de som van het productiedebiet van inkomende productieleidingen.

32.9.4.3 Inrichting verbonden met doorgaande leidingen

Figuur 20 geeft een voorbeeld van een inrichting die verbonden is met doorgaande transportleidingen. De berekeningswijze lijkt sterk op die voor inrichtingen met inkomende en uitgaande transportleidingen (paragraaf 32.9.4.1). L_1 is de lengte van de doorgaande leiding voorafgaand aan de aftakking naar de inrichting en L_2 is de lengte van de doorgaande leiding voorbij de aftakking naar de inrichting.



Figuur 20 Voorbeeld van een inrichting verbonden met doorgaande transportleidingen

De (eenzijdige) uitstroming uit een bovengronds installatie-onderdeel met nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting wordt wederom als voorbeeld genomen. De invoerwaarden voor zijn weergegeven in Tabel 81. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de afwijkende waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 77.

Tabel 81 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	Pipe length	Default: 32 km. Anders de <i>totale</i> lengte van de <i>doorgaande</i> transportleiding, $L_1 + L_2$ (zie Figuur 20).
LP/Scenario	Distance to break	Gelijk aan de 'pipe length' (zie opmerking 1).

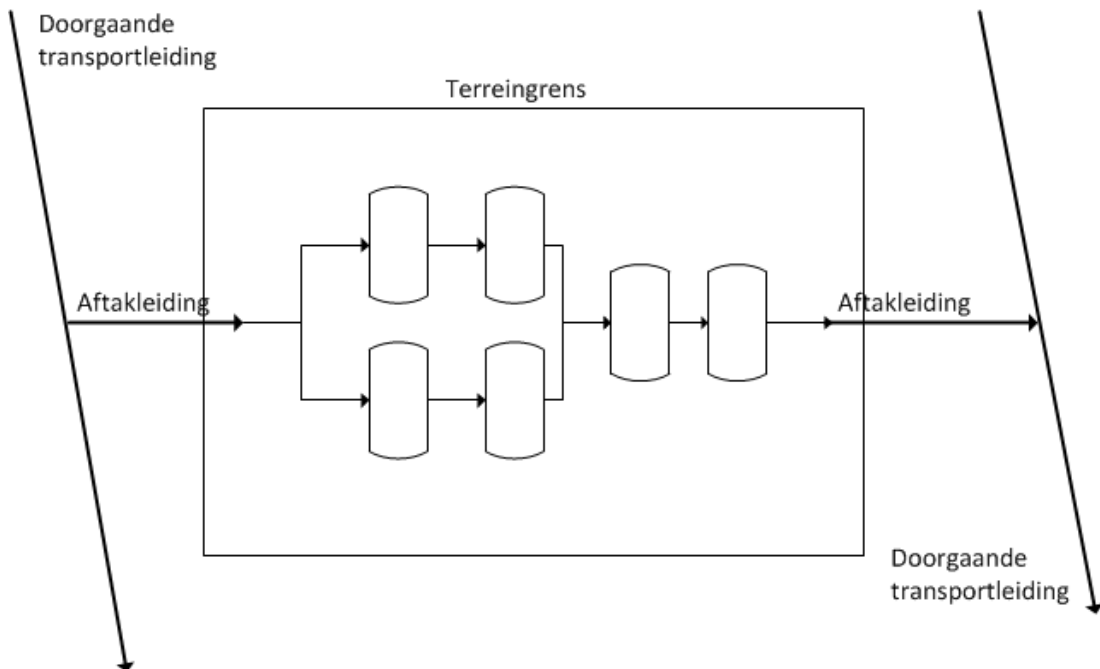
Opmerkingen:

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

32.9.4.4 Inrichting met aftakleidingen naar doorgaande transportleidingen

Figuur 21 geeft een voorbeeld van een inrichting die via aftakleidingen verbonden is met doorgaande transportleidingen. Voor deze inrichting geldt:

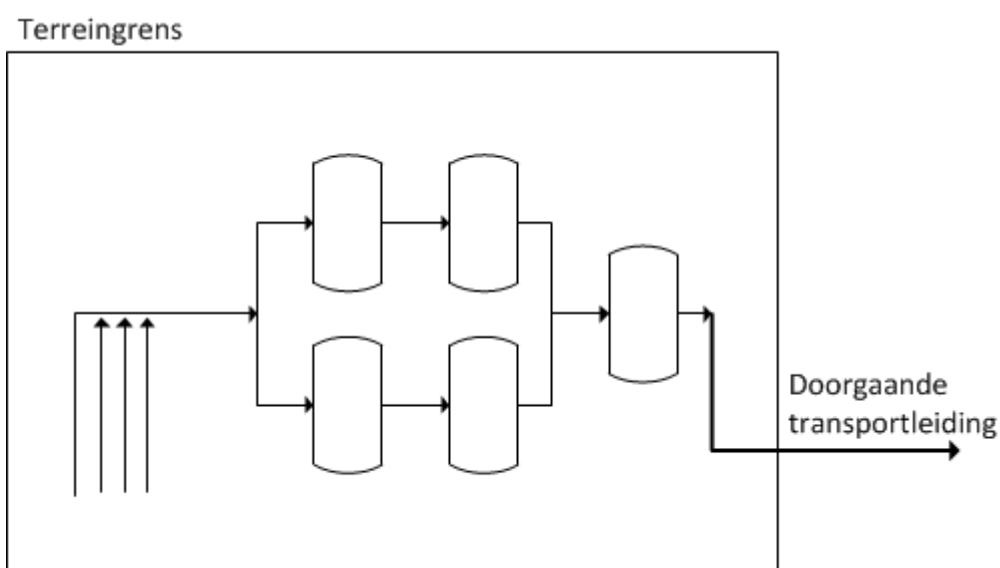
- Als de lengte van de aftakleiding kleiner is dan 10 km, dan wordt de doorgaande transportleiding gebruikt om de invoerwaarden voor het Long Pipeline model te bepalen.
- Als de aftakleiding zelf voldoende lang is (10 km of meer), dan worden de eigenschappen van de aftakleiding gebruikt om de invoerwaarden voor het Long Pipeline model te bepalen. Hiervoor zijn de regels van paragraaf 32.9.4.1 van toepassing.



Figuur 21 Voorbeeld van een inrichting die via aftakleidingen is verbonden met doorgaande transportleidingen

32.9.4.5 Puttenlocatie

Figuur 22 geeft een voorbeeld van een productielocatie. De belangrijkste invoerwaarden voor de toevoer vanaf de productieput zijn weergegeven in Tabel 82. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de afwijkende waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 77.



Figuur 22 Voorbeeld van een productielocatie

Tabel 82 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	Relative aperture	Default: d^2/D^2 , met d de veronderstelde diameter van het gat en D de invoerwaarde voor de leidingdiameter.
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).

32.9.5 *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 uitstroombrequentie vermenigvuldigd wordt met een factor twee.

Bovenstaande default manier is conservatief omdat geen rekening wordt gehouden met drukval in de leidingen binnen het ingesloten systeem. Voor breuken in leidingen kan de drukval substantieel zijn. Een meer realistische manier om de effecten voor leidingbreuk in een ingesloten systeem te berekenen, maakt gebruik van het Line Rupture model in SAFETI-NL. De opsteller van de QRA mag deze aanpak gebruiken, maar is daartoe niet verplicht. De aanpak is dan als volgt:

- Bepaal het volume van het ingeblokkeerde systeem.
- Bepaal de diameter van de leiding ter plaatse van de gemodelleerde breuk.
- Bepaal – afzonderlijk voor het scenario met nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting en het scenario met nalevering vanuit het stroomafwaartse deel van de inrichting – de afstand tot de meest nabijge verbreding in de leiding of het meest nabijge 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'.

32.9.6 *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 32.8.4, 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 uitstroming wordt berekend met het Long Pipeline model.
- De lengte van de leiding is gelijk aan de afstand van de putmond tot het reservoir.
- De afstand tot de breuk ('distance to break') is gelijk aan de lengte van de leiding.
- De diameter van de leiding is gelijk aan de diameter van de tubing.
- De druk betreft de 'flowing bottom hole pressure' (FBHP) als er sprake is van productie. Voor injectie is de druk gelijk aan de compressordruk.

- Bij de 'pumped inflow' wordt een representatief productiedebiet ingevoerd als er sprake is van productie. Als er sprake is van injectie dan wordt er geen pumped inflow ingevoerd.

De nalevering vanuit de installaties op de inrichting (Q_B) en de totale uitstroming worden met maatwerk bepaald. De resulterende bronterm dient lager te zijn dan het uitstroomdebiet voor de gegeven diameter (tubing of casing) bij een constante druk gelijk aan de initiële druk.

32.9.7 *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 32.8.4). Voor de modellering in SAFETI-NL gelden de volgende voorwaarden.

- De uitstroming wordt berekend met het Long Pipeline model.
- De lengte van de leiding is gelijk aan de afstand van de putmond tot het reservoir.
- De afstand tot de breuk ('distance to break') is gelijk aan de lengte van de leiding.
- De diameter van de leiding is gelijk aan de diameter van de tubing of casing (zie Tabel 59 en Tabel 61).
- 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.

32.9.8 *Lekkage vanuit de put*

De modellering is gelijk aan die voor de overige leksscenario's, zie paragraaf 32.9.1.

32.10 Voorbeeldberekening

In deze paragraaf wordt een rekenvoorbeeld uitgewerkt voor een denkbeeldige inrichting. Het betreft een inrichting waarbij het gas dat toestroomt vanuit twee productieputten, wordt ontdaan van condensaat en water en daarna in een doorgaande transportleiding wordt geïnjecteerd (zie Figuur 23). De dikgedrukte (en van letter voorziene) doorgetrokken lijnen in deze figuur stellen de gasleidingen voor en de dungedrukte doorgetrokken lijnen de condensaatleidingen. Waterleidingen en gasleidingen met een kleine diameter zijn niet in de figuur weergegeven.

Het doel van de voorbeeldberekening is het illustreren van de nieuwe rekenmethode. Voor de opslag en verlading van condensaat is de rekenmethode niet veranderd ten opzichte van die voor Brzo-bedrijven. Deze onderdelen worden in het voorbeeld daarom niet verder uitgewerkt of toegelicht.

De belangrijkste eigenschappen van de installatieonderdelen worden hieronder beschreven.

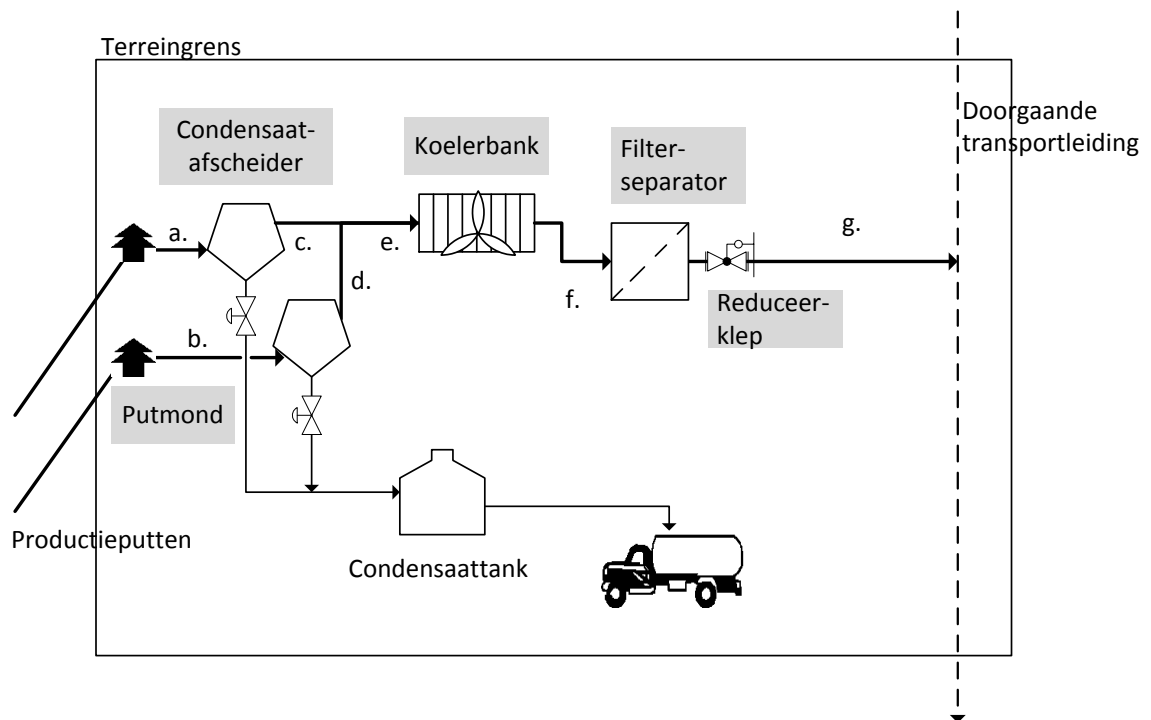
De productieputten voeren gas vanaf het reservoir naar twee **putmonden** binnen de inrichting. De putmonden worden meegenomen in de risicoanalyse.

De achterliggende productieleidingen hebben de volgende eigenschappen:

- Tubing diameter: 5¼ inch (0,133 m) voor beide putten.
- Casing diameter: 7 inch (0,178 m) voor beide putten.
- 'Gas oil ratio' groter dan 1000.
- Afstand tot reservoir: 3000 m voor beide putten.
- Reservoir temperatuur: 70°C voor beide putten.
- Productiedebiet: 0,5 miljoen Nm³/dag (4 kg/s) per put.
- Closed-in tubing head pressure (CITHP): 130 bar(g) voor beide putten.
- Flowing bottom hole pressure (FBHP): 60 bar(g) voor beide putten.
- Tubing blowout potential (TBOP): 10 kg/s.
- Casing blowout potential (CBOP): 15 kg/s.

Aan de productieputten wordt periodiek onderhoud gedaan met de volgende frequenties:

- Wireline: gemiddeld 1 keer per jaar per put.
- Coiled-tubing: gemiddeld 0,03 keer per jaar per put.
- Workover: gemiddeld 0,125 keer per jaar per put.
- Snubbing: nooit.



Figuur 23 Layout van de inrichting van het rekenvoorbeeld

De **gasleidingen a en b** verbinden de putmond met de condensatafscheiders. Beide leidingen hebben een lengte van 10 m en een inwendige diameter van $5\frac{1}{4}$ inch (0,133 m). De **condensaatafscheiders** zijn 'knockout' vaten zonder complexe 'internals'. De operationele druk is 60 bar(g) en de operationele temperatuur 70°C. De aansluitingen met de gasleidingen hebben een diameter van $5\frac{1}{4}$ inch (0,133 m). De inhoud van de vaten is 20 m³ (elk). De afvoer van condensaat wordt in dit rekenvoorbeeld niet besproken.

De **gasleidingen c en d** vanaf de condensatafscheiders komen voor de koelerbank samen en gaan dan over in **leiding e**. De diameter van de leidingdelen c en d is $5\frac{1}{4}$ inch (0,133 m), en die van leidingdeel e 7 inch (0,178 m). De lengte van alle drie de leidingdelen is 10 m (per stuk). De operationele druk en temperatuur zijn gelijk aan die van de binnenkomende productieleidingen (60 bar en 70°C). De **koelerbank** bestaat uit een honderdtal pijpen met een diameter van $\frac{3}{4}$ inch (0,019 m) per pijp. Voorbij de koelerbank is de operationele temperatuur gedaald tot omgevingstemperatuur.

De **gasleiding e** van de koelerbank naar de filterseparator heeft een diameter van 7 inch (0,178 m) en een lengte van 10 m. De **filterseparator** heeft een volume van 15 m³. De aansluiting met de inkomende en uitgaande gasleidingen is 7 inch (0,178 m). Voorbij de filterseparator wordt de operationele druk met een reduceerklep verlaagd van 60 bar(g) naar 40 bar(g). Voorbij de klep heeft **verbindingsleiding g** een diameter van 8,5 inch (0,216 m) en een lengte van

20 m tot aan de doorgaande gastransportleiding. Leidingdeel g heeft een geflensde verbinding met de filterseparator en een gelaste verbinding met de transportleiding.

De **doorgaande gastransportleiding** heeft een ontwerpdruk van 40 bar(g) en een diameter van 14 inch (0,356 m). Zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts van de inrichting is de doorgaande leiding langer dan 10 km.

32.10.1 Te hanteren uitstroomscenario's en -frequenties

In Tabel 83 zijn de te hanteren uitstroomscenario's en -frequenties weergegeven, met de volgende opmerkingen:

- Leiding g is onderdeel van een systeem van hogedruk gasleidingen met een lengte van meer dan 25 m en voldoet aan de definitie van hogedruk gastransportleidingen (paragraaf 32.4.3.3). Hiervoor moet worden nagegaan of domino-effecten door flenslekkages vanuit andere installaties relevant zijn (zie paragraaf 32.2.4.3).
 - Omdat er geen brand- en gasdetectiesysteem is en in het onderwerp niet expliciet is rekening gehouden met het voorkomen van domino-effecten, moeten worden nagegaan hoeveel flenzen de ontvangende leiding g kunnen aanstralen. Deze flenzen zijn relevant voor de uitstroombrequentie als het totale aantal groter is dan 0,6 maal de leidinglengte van leidingdeel g (20 m), oftewel 12.
 - De doorgaande (ondergrondse) leiding heeft geen geflensde verbindingen.
 - De overige leidingen binnen de inrichting, en de verbindingen van leidingen en vaten, hebben een diameter van 7 inch of minder. De gatgrootte voor relevante flenslekkages is daarom 0,7 inch (18 mm) of minder. De maximale afstand waarop de stralingsintensiteit 35 kW/m² of hoger kan zijn, is volgens Tabel 54 gelijk aan 25 m⁴⁴. Op basis van deze afstand hoeven alleen de flenzen in de filterseparator en de koelerbank te worden beschouwd.
 - De filterseparator bevat naast de verbinding met leiding g nog twee flenzen die leiding g kunnen aanstralen. Gezien vanuit de koelerbank wordt leiding g afgeschermd door de filterseparator. De flenzen op de koelerbank hoeven daarom niet meegenomen te worden voor domino-effecten naar leiding g.⁴⁵
 - Het aantal flenzen dat een domino-effect kan veroorzaken (2) is kleiner dan 12. Daarmee is de bijdrage van domino-effecten niet relevant en hoeft op basis van paragraaf 32.2.4.3 niet verder te worden onderzocht.⁴⁶

⁴⁴ Druk 60 bar, gatgrootte 20 mm.

⁴⁵ Volgens paragraaf 32.2.4.3 hoeven alleen naastgelegen systemen te worden beschouwd.

⁴⁶ De twee flenzen zorgen voor een kans op een domino-effect van $2 \times 9,3 \times 10^{-10} = 1,9 \times 10^{-9}$ per jaar. De inherente kans op een breuk voor leiding g is $20 \times 5,6 \times 10^{-9} = 1,1 \times 10^{-7}$ per jaar. De kans op een breuk door een domino-effect is dus 1,7% van de inherente kans op een breuk en is dus inderdaad verwaarloosbaar.

Tabel 83 Te hanteren uitstroomscenario's en -frequenties voor de installatieonderdelen van het rekenvoorbeeld

Installatieonderdeel	Activiteit	Scenario	Tabel	Vervolgfactor	Frequentie (per jaar)
Putmond A Putmond B	Productie	Tubing blowout	Tabel 58	1	$3,3 \times 10^{-5}$
		Verticaal lek		1	$5,2 \times 10^{-5}$
		Horizontaal lek		1	$9,4 \times 10^{-6}$
	Wireline	Tubing blowout	Tabel 59	1	$8,9 \times 10^{-6}$
		Verticaal lek		1	$1,4 \times 10^{-5}$
		Horizontaal lek		1	$2,6 \times 10^{-6}$
	Coiled-tubing	Tubing blowout	Tabel 59	0,03	$5,7 \times 10^{-6}$
		Verticaal lek		0,03	$3,3 \times 10^{-6}$
		Horizontaal lek		0,03	$9,9 \times 10^{-7}$
	Workover	Casing blowout	Tabel 59	0,125	$7,6 \times 10^{-6}$
		Tubing blowout		0,125	$3,0 \times 10^{-5}$
		Verticaal lek		0,125	$3,4 \times 10^{-5}$
		Horizontaal lek		0,125	$8,0 \times 10^{-6}$
Leidingen a, b, c en d		Breuk van de leiding	Module 1 – scenario's voor bovengro ndse leidingen	10	$3,0 \times 10^{-6}$
		Lek van de leiding		10	$2,0 \times 10^{-5}$
Knockout vat		Instantaan falen	Tabel 98	1	$5,0 \times 10^{-7}$
		Vrijkomen in 10 minuten		1	$5,0 \times 10^{-7}$
		Lekkage 10 mm		1	$1,0 \times 10^{-5}$
Leiding e en f		Breuk van de leiding	Module 1 – scenario's voor bovengro ndse leidingen	10	$1,0 \times 10^{-6}$
		Lek van de leiding		10	$5,0 \times 10^{-6}$
Koelerbank		Breuk 10 pijpen tegelijk	Tabel 75	1	$1,0 \times 10^{-5}$
		Breuk 1 pijp		1	$1,0 \times 10^{-3}$
Filterseparator		Instantaan falen	Tabel 69	1	$5,0 \times 10^{-7}$
		Vrijkomen in 10 minuten		1	$5,0 \times 10^{-7}$
		Lekkage 10 mm		1	$1,0 \times 10^{-5}$
Leiding g		Breuk van de leiding	Tabel 63	20	$1,1 \times 10^{-7}$
		Lek van de leiding		20	$4,0 \times 10^{-7}$
		Flenslekkage		1	$9,3 \times 10^{-7}$

- De leidingen a en b maken geen onderdeel uit van een systeem van hogedruk gasleidingen met een lengte van meer dan 25 m omdat de putmond als begrenzing van het systeem wordt gezien. Als gevolg hiervan

- gelden voor deze leidingen de scenario's en frequenties van procesleidingen uit module 1.
- Ook voor de overige leidingen, die verschillende typen vaten verbinden, is de lengte van het systeem van leidingen steeds kleiner dan 25 m en zijn de scenario's en frequenties van procesleidingen van toepassing.
 - De doorgaande transportleiding is geen onderdeel van de inrichting.

32.10.2 Gebruik vereenvoudigde invoermethode

Volgens paragraaf 32.9.3 worden de scenario's 'instantaan falen van een installatieonderdeel' en 'breuk van een leiding' standaard gemodelleerd met de 'vereenvoudigde invoermethode', op voorwaarde dat de operationele druk in het systeem 16 bar of hoger is, het insluitsysteem een mengsel van ontvlambare gassen bevat of een (ongestabiliseerd) mengsel van ontvlambare gassen en vloeistoffen, en de druk in de toe- en afvoerleidingen niet beduidend lager is dan de druk in het falende insluitsysteem. Deze criteria zijn van toepassing op alle installatieonderdelen behalve de condensaatleidingen, de condensaat tank en de tankauto.⁴⁷ Voor de blowout scenario's van de putten wordt de vereenvoudigde invoermethode conform paragraaf 32.9.6 en 32.9.7 ook niet gebruikt.

In Tabel 84 is aangegeven voor welke scenario's de vereenvoudigde invoermethode wordt gebruikt en wat de bijbehorende gatgrootte is (diameter van het gat).

Tabel 84 Scenario's die berekend worden met de vereenvoudigde invoermethode en bijbehorende gatgrootte (diameter)

Installatie-onderdeel	Scenario	Gatgrootte volgens vereenvoudigde methode
Leidingen a. t/m d.	Breuk van de leiding	5¼ inch (0,133 m)
Knockout vaten	Instantaan falen	5¼ inch (0,133 m)
Leidingen e. en f.	Breuk van de leiding	7 inch (0,178 m)
Filterseparator	Instantaan falen	7 inch (0,178 m)
Leiding g.	Breuk van de leiding	8,5 inch (0,216 m)

In de vereenvoudigde invoermethode wordt het uitstroomdebiet bepaald aan de hand van de eigenschappen van de inkomende en uitgaande transportleidingen. Voor de modellering wordt het Long Pipeline model in SAFETI-NL gebruikt. Als er meerdere (inkomende of uitgaande) leidingen zijn, dan wordt een equivalente leiding gedefinieerd. Dit is in het rekenvoorbeeld alleen het geval voor de twee inkomende leidingen vanaf de productieputten. De equivalente diameter van de twee putten is 0,189 m ($\sqrt{2} \times 5\frac{1}{4}$ inch). Voor de doorgaande (uitgaande) leiding is de diameter gelijk aan de feitelijke diameter, zie paragraaf 32.9.4.3. In Tabel 85 zijn alle relevante invoerwaarden voor Long Pipeline A en Long Pipeline B weergegeven.

Tabel 85 Invoerwaarden voor het Long Pipeline model

⁴⁷

In het bijzonder is 40 bar dus niet beduidend lager dan 60 bar.

Leiding	Relevante invoerwaarden Long Pipeline model
Long Pipeline A (toevoer vanaf putten)	<ul style="list-style-type: none"> • Maximale equivalente diameter: 0,189 m (namelijk $\sqrt{2} \times 0,133$ m) • Temperatuur: 70°C • Druk: 60 bar(g) tijdens productie • Lengte: 3000 m • Pumped inflow: 8 kg/s (2x4) • Distance to break: 3000 m
Long Pipeline B (toevoer vanuit door- gaande transportleiding)	<ul style="list-style-type: none"> • Maximale diameter: 0,356 m (14 inch) • Temperatuur: 9°C • Druk: 40 bar(g) • Lengte: 32 km • Pumped inflow: 0 kg/s • Distance to break: 32 km

Opmerkingen:

1. De weergegeven diameter betreft de maximale waarde omdat de 'relative aperture' in het Long Pipeline model niet kleiner mag zijn dan 0,2 (zie opmerking 1 onder Tabel 77). In Tabel 88 staat de werkelijke invoerwaarde voor de diameter. Uit Tabel 84 blijkt dat er vijf scenario's zijn die met de vereenvoudigde invoermethode worden berekend. Er zijn maar drie verschillende lekgrootten, namelijk 5¼ inch (0,133 m), 7 inch (0,178 m) en 8½ inch (0,216 m). Voor deze lekgrootten moeten de resterende invoerwaarden voor het Long Pipeline model worden bepaald, te weten de 'aperture area' en de inwendige diameter. De uitkomsten staan in Tabel 86.

Tabel 86 Invoerwaarden voor de diameter en aperture area in het Long Pipeline model, gegeven de gatgrootte

Lekgrootte	Long Pipeline A ($D_A = 0,189$ m)	Long Pipeline B ($D_B = 0,356$ m)
Diameter 5¼ inch	<ul style="list-style-type: none"> • $d^2/D_A^2 = 0,5$ • $D_A = 0,189$ m • Relative aperture = 0,5 	<ul style="list-style-type: none"> • $d^2/D_B^2 = 0,141$ • $D_B' = 0,298$ m ($\sqrt{5} \times 5¼$ inch) • Relative aperture = 0,2
Diameter 7 inch	<ul style="list-style-type: none"> • $d^2/D_A^2 = 0,889$ • $D_A = 0,189$ m • Relative aperture = 0,889 	<ul style="list-style-type: none"> • $d^2/D_B^2 = 0,250$ • $D_B = 0,356$ m • Relative aperture = 0,250
Diameter 8,5 inch	<ul style="list-style-type: none"> • $d^2/D_A^2 = 1,311$ • $D_A = 0,189$ m • Relative aperture = 1 	<ul style="list-style-type: none"> • $d^2/D_B^2 = 0,369$ • $D_B = 0,356$ m • Relative aperture = 0,369

In Tabel 86 komen drie bijzondere situaties voor:

i. De 5¼ inch leidingen (leidingen a t/m d) worden pas na de condensaatafscidders met elkaar verbonden (bij leiding d). Realistisch gezien vindt de toevoer vanuit de put voor deze leidingdelen dus plaats vanuit een leiding met een diameter van 5¼ inch (0,133 m) en niet vanuit een leiding met een diameter van 0,189 m (D_A). Echter, zoals in paragraaf 32.9.4.2 is aangegeven, is de inrichting zelf een black box en daarom wordt voor de toevoerleiding (Long Pipeline A) toch een diameter van 0,189 m ingevoerd. Hetzelfde geldt voor het instantaan falen van een condensaatafscieder.

- ii. Voor lekgruote 5¼ inch en nalevering vanuit de doorgaande transportleiding (Long Pipeline B) is d^2/D_B^2 gelijk aan 0,141 en dus kleiner dan 0,2. Omdat de minimale relative aperture in het Long Pipeline model gelijk is aan 0,2 moet de inwendige diameter van het model voor deze gatgruote verkleind worden tot 0,298 (i.p.v. 0,356), zodanig dat $d^2/D_B'^2 = 0,2$. Deze waarde wordt dus gebruikt voor breuk van de leidingen a t/m d en voor het instantaan falen van de condensatafscheiders.
- iii. Voor lekgruote 8,5 inch en nalevering vanaf putzijde (Long Pipeline A) is d^2/D_A^2 gelijk aan 1,311 en dus groter dan 1. Anders gezegd: de diameter van leiding g (0,216 m) is groter dan de equivalente leidingdiameter voor de productieputten (0,189 m).⁴⁸ De eigenschappen van de toevoerleiding zijn volgens de vereenvoudigde invoermethode bepalend. De te gebruiken invoerwaarden voor het Long Pipeline model zijn diameter 0,189 m, druk 60 bar, en relative aperture 1.

32.10.3 Effectmodellering

Hieronder wordt per scenario aangegeven hoe de scenario's zijn ingevoerd in SAFETI-NL.

- **Putmonden.** De 'blowouts' vanuit de putten worden op basis van paragraaf 32.9.6 en 32.9.7 niet berekend met de vereenvoudigde invoermethode maar op basis van maatwerk.

Tijdens productie is de wing valve geopend en is nalevering (terugstroming) vanaf de inrichting mogelijk. De gatgruote voor de uitstroming is gelijk aan de tubing diameter (5¼ inch). De levering vanaf de inrichting is vanwege de grotere diameters en langere leidinglengtes groter dan de levering vanuit de put. Op basis van een uitgebreide analyse (zie hiervoor de toelichting) is gekozen om de uitstroming te berekenen met een Long Pipeline met een diameter van 11,74 inch (0,298 m), relative aperture 0,2 (c.q. gatgruote 5¼ inch), leidinglengte 32 km, 'pumped inflow' 0 kg/s en 'distance to break' gelijk aan de leidinglengte (32 km).

Tijdens onderhoudswerkzaamheden (wireline, coiled-tubing en workover) is de put ingesloten maar wel onder druk (130 bar). Voor deze scenario's is de blowout gemodelleerd met een Long Pipeline met een diameter ter gruote van de tubing (5¼ inch) of de casing (7 inch) en een lengte gelijk aan de afstand tot het reservoir (3 km).

Voor lekscenario's wordt aangenomen dat de druk niet noemenswaardig afneemt in de tijd. Voor de modellering van deze scenario's is het Leak model gebruikt, zonder de optie 'time-varying release'. Voor onderhoudswerkzaamheden is geen apart lekscenario gebruikt; het lekscenario voor lek tijdens productie wordt geacht de risico's afdoende te beschrijven.

- **Leidingen a t/m d** Voor breuk van de leiding is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgruote die hoort bij het scenario breuk is 5¼ inch (0,133 m). Long Pipeline A (toevoer vanaf putzijde) heeft dus een diameter 0,189 m en een relative aperture van 0,5 (zie Tabel 86). Long Pipeline B (toevoer vanaf landzijde) heeft een diameter 0,298 m en een

⁴⁸ Wel kan worden opgemerkt dat de druk ter plaatse van leidingdeel g (40 bar) kleiner is dan in de productieputten (60 bar).

- relative aperture van 0,2. Lek van de leiding is gemodelleerd met het Leak model en een gatgrootte van 0,53 inch (0,013 m).
- **Condensaatafscheiders.** Voor het instantaan falen is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario breuk is 5¼ inch (0,133 m). De modellering stemt daarom overeen met breuk van leiding a (zie aldaar). Voor het vrijkomen van de gehele inhoud in tien minuten is het Fixed Duration model gebruikt en voor het 10 mm lek het Leak model.
 - **Leidingen e en f** Voor breuk van de leiding is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario breuk is 7 inch (0,178 m). Long Pipeline A (toevoer vanaf putzijde) heeft dus een diameter 0,189 m en een relative aperture van 0,889 (zie Tabel 86). Long Pipeline B (toevoer vanaf landzijde) heeft een diameter 0,356 m en een relative aperture van 0,25. Lek van de leiding is gemodelleerd met het Leak model en een gatgrootte van 0,7 inch (0,018 m).
 - **Koelerbank.** Het scenario breuk van 10 pijpen is gemodelleerd met het Leak model op basis van een equivalente diameter van 10 pijpen bij constante druk (geen 'time-varying release'). Breuk van één pijp hoeft vanwege de kleine diameter niet te worden meegenomen (zie Tabel 55).
 - **Filterseparator.** Voor het instantaan falen is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario instantaan falen is 7 inch (0,178 m). De modellering stemt daarom overeen met breuk van leiding e (zie aldaar). Voor het vrijkomen van de gehele inhoud in tien minuten is het Fixed Duration model gebruikt en voor het 10 mm lek het Leak model.
 - **Leiding g.** Voor breuk van de leiding is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario breuk van leiding g is 8,5 inch (0,216 m). Long Pipeline A (toevoer vanaf putzijde) heeft een diameter 0,189 m en een relative aperture van 1 (zie Tabel 17). Long Pipeline B (toevoer vanaf landzijde) heeft een diameter 0,356 m en een relative aperture van 0,369. Lek van de leiding (inclusief flenslek) is gemodelleerd met het Leak model en een gatgrootte van 0,85 inch (0,022 m).

32.10.4 *Uitkomsten*

In Tabel 87 zijn voor alle scenario's de ingevoerde uitstroombrequentie, de bronterm en de 1% letaliteitsafstanden voor weertype D5 weergegeven. De maximale effectafstand is (afgerond) 160 m en treedt op bij een breuk in leiding g met ontsteking gedurende de eerste 20 s en toevoer vanuit de transportleiding.

Afhankelijk van de locatie ligt de PR 10^{-6} -contour op 35 tot 70 m afstand van de inrichtingsgrens. Het invloedsgebied reikt tot 150 m afstand van de inrichtingsgrens. In Tabel 88 zijn de bepalende scenario's weergegeven voor 'risk ranking point' A (RRP A) dat 70 m ten oosten van de inrichtingsgrens ligt. In Tabel 89 zijn de bepalende scenario's weergegeven voor 'risk ranking point' B (RRP B) dat 40 m ten westen van de inrichtingsgrens ligt. De ligging van de PR 10^{-6} -contour wordt in dit rekenvoorbeeld vooral bepaald door leidingbreuken met terugstroming vanaf 'landzijde' (vanuit de doorgaande transportleiding).

Tabel 87 Overzicht van de scenario's en de meest relevante uitkomsten

Scenario	Bronterm (kg/s)	P _{ontsteking}	Frequentie (/jr)	1% letaliteitsafstand (m) bij D5
Put a/b Production blowout 0-20s	83	0,04	$1,3 \times 10^{-6}$	60
Put a/b Production blowout 20-140s	50	0,96	$3,2 \times 10^{-5}$	45
Put a/b Overige tubing blowouts 0-20s	53	0,04	$1,8 \times 10^{-6}$	45
Put a/b Overige tubing blowouts 20-140s	14	0,96	$4,3 \times 10^{-5}$	25
Put a/b Casing blowout 0-20s	104	0,09	$6,9 \times 10^{-7}$	65
Put a/b Casing blowout 20-140s	24	0,91	$6,9 \times 10^{-6}$	35
Put a/b Verticaal tubing lek	1	1,00	$5,1 \times 10^{-5}$	10
Put a/b Horizontaal tubing lek	1	1,00	$1,2 \times 10^{-5}$	15
Leiding a. t/m d. putzijde 0-20s	49	0,04	$1,2 \times 10^{-7}$	95
Leiding a. t/m d. putzijde 20-140s	17	0,96	$2,9 \times 10^{-6}$	60
Leiding a. t/m d. landzijde 0-20s	83	0,04	$1,2 \times 10^{-7}$	120
Leiding a. t/m d. landzijde 20-140s	50	0,96	$2,9 \times 10^{-6}$	100
Lek leiding a. t/m d.	1	1,00	$2,0 \times 10^{-5}$	15
Afscheider a/b putzijde 0-20s	49	0,04	$2,0 \times 10^{-8}$	95
Afscheider a/b putzijde 20-140s	17	0,96	$4,8 \times 10^{-7}$	60
Afscheider a/b landzijde 0-20s	83	0,04	$2,0 \times 10^{-8}$	120
Afscheider a/b landzijde 20-140s	50	0,96	$4,8 \times 10^{-7}$	100
Afscheider a/b Tien minuten scenario	1	1,00	$5,0 \times 10^{-7}$	15
Afscheider a/b Lek 10 mm	4	1,00	$1,0 \times 10^{-5}$	35
Leiding e. en f. putzijde 0-20s	53	0,04	$4,0 \times 10^{-8}$	100
Leiding e. en f. putzijde 20-140s	18	0,96	$9,6 \times 10^{-7}$	60
Leiding e. en f. landzijde 0-20s	135	0,09	$9,0 \times 10^{-8}$	150
Leiding e. en f. landzijde 20-140s	79	0,91	$9,1 \times 10^{-7}$	120
Lek leiding e. en f.	2	1,00	$5,0 \times 10^{-6}$	20
Koelerbank Breuk 10 pijpen	25	1,00	$1,0 \times 10^{-5}$	70
Filterseparator putzijde 0-20s	53	0,04	$2,0 \times 10^{-8}$	100
Filterseparator putzijde 20-140s	18	0,96	$4,8 \times 10^{-7}$	60
Filterseparator landzijde 0-20s	135	0,09	$4,5 \times 10^{-8}$	150
Filterseparator landzijde 20-140s	79	0,91	$4,6 \times 10^{-7}$	120
Filterseparator Tien minuten scenario	1	1,00	$5,0 \times 10^{-7}$	15
Filterseparator Lek 10 mm	1	1,00	$1,0 \times 10^{-5}$	10
Leiding g. putzijde 0-20s	54	0,04	$4,5 \times 10^{-9}$	100
Leiding g. putzijde 20-140s	18	0,96	$1,1 \times 10^{-7}$	60
Leiding g. landzijde 0-20s	156	0,09	$1,0 \times 10^{-8}$	160
Leiding g. landzijde 20-140s	84	0,91	$1,0 \times 10^{-7}$	120
Lek leiding g. (inclusief flenslek)	2	1,00	$1,3 \times 10^{-6}$	25

Opmerkingen:

1. De weergegeven frequenties zijn per installatieonderdeel. Voor leidingdelen betreft het de totale frequentie voor het leidingdeel. De weergegeven waarden komen overeen met de invoerwaarden in SAFETI-NL.
2. De 1%-letaliteitsafstand is afgerond op veelvouden van 5.
3. Het uitstroombdebit voor de tubing blowout (minimaal 14 kg/s) is hoger dan de TBOP (10 kg/s) en het debiet voor de casing blowout (minimaal 24 kg/s) is hoger dan de CBOP (15 kg/s). De modellering van deze scenario's hoeft dus niet te worden aangepast.

Tabel 88 Bepalende scenario's in IRRP A ($PR = 1,1 \times 10^{-6}$ /jaar)

Scenario	Frequentie (/jaar)	Absolute bijdrage aan IRRP A (/jaar)	Relatieve bijdrage aan IRRP A (%)
Leiding a landzijde 20-140s	$2,9 \times 10^{-6}$	$3,3 \times 10^{-7}$	30,7%
Leiding b landzijde 20-140s	$2,9 \times 10^{-6}$	$2,7 \times 10^{-7}$	25,2%
Leiding e landzijde 20-140s	$9,1 \times 10^{-7}$	$9,9 \times 10^{-8}$	9,4%
Leiding c landzijde 20-140s	$2,9 \times 10^{-6}$	$9,2 \times 10^{-8}$	8,7%
Leiding d landzijde 20-140s	$2,9 \times 10^{-6}$	$4,8 \times 10^{-8}$	4,5%
Afscheider a landzijde 20-140s	$4,8 \times 10^{-7}$	$3,1 \times 10^{-8}$	3,0%
Leiding a landzijde 0-20s	$1,2 \times 10^{-7}$	$2,6 \times 10^{-8}$	2,4%
Leiding b landzijde 0-20s	$1,2 \times 10^{-7}$	$2,4 \times 10^{-8}$	2,3%
Leiding e landzijde 0-20s	$9,0 \times 10^{-8}$	$2,0 \times 10^{-8}$	1,9%
Leiding c landzijde 0-20s	$1,2 \times 10^{-7}$	$2,0 \times 10^{-8}$	1,9%
Leiding d landzijde 0-20s	$1,2 \times 10^{-7}$	$1,8 \times 10^{-8}$	1,7%

Tabel 89 Bepalende scenario's in IRRP B ($PR = 9,7 \times 10^{-7}$ /jaar)

Scenario	Frequentie (/jaar)	Absolute bijdrage aan IRRP B (/jaar)	Relatieve bijdrage aan IRRP B (%)
Leiding f landzijde 20-140s	$9,1 \times 10^{-7}$	$2,2 \times 10^{-7}$	22,8%
Leiding e landzijde 20-140s	$9,1 \times 10^{-7}$	$1,7 \times 10^{-7}$	17,2%
Leiding d landzijde 20-140s	$2,9 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-7}$	14,6%
Filterseparator landzijde 20-140s	$4,6 \times 10^{-7}$	$1,2 \times 10^{-7}$	12,3%
Leiding c landzijde 20-140s	$2,9 \times 10^{-6}$	$7,5 \times 10^{-8}$	7,7%
Leiding g landzijde 20-140s	$1,0 \times 10^{-7}$	$3,4 \times 10^{-8}$	3,5%
Leiding f landzijde 0-20s	$9,0 \times 10^{-8}$	$2,6 \times 10^{-8}$	2,7%
Leiding e landzijde 0-20s	$9,0 \times 10^{-8}$	$2,3 \times 10^{-8}$	2,4%
Leiding d landzijde 0-20s	$1,2 \times 10^{-7}$	$2,1 \times 10^{-8}$	2,2%
Leiding c landzijde 0-20s	$1,2 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-8}$	2,0%
Afscheider b landzijde 20-140s	$4,8 \times 10^{-7}$	$1,4 \times 10^{-8}$	1,5%
Filterseparator landzijde 0-20s	$4,5 \times 10^{-8}$	$1,4 \times 10^{-8}$	1,4%

Lijst met afkortingen

Bevi	Besluit externe veiligheid inrichtingen
Bevb	Besluit externe veiligheid buisleidingen
Brzo	Besluit risico's zware ongevallen
CBOP	Casing blowout potential

CITHP	Closed-in tubing head pressure.
FBHP	Flowing bottom hole pressure
IeM	Het ministerie van Infrastructuur en Milieu
LP	Long pipeline model in SAFETI-NL
LSB	Location specific breach scenario in SAFETI-NL
LoC	Loss of containment
Revi	Regeling externe veiligheid inrichtingen
NOGEPA	Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
TBOP	Tubing blowout potential

Begrippenlijst

Begrip	Omschrijving
Blowout	Een ongeplande en ongehinderde uitstroming van olie en/of gas vanuit de put ter hoogte van de putmond ('well head').
Casing	De buitenste leiding in een put.
Casing blowout potential	Hoeveelheid gas (debiet) die vrijkomt als de blowout preventor faalt en het gas ongehinderd uitstroomt vanuit de casing.
Closed-in tubing head pressure	Druk die boven in de put (ter hoogte van de 'upper master gate valve') heerst als de production valve en/of de master gate valves lange tijd gesloten zijn (limietwaarde).
Coiled-tubing	Putonderhoud waarbij een flexibele leiding vanaf een spoel in de tubing wordt aangebracht (met als doel chemicaliën te kunnen toevoegen aan de put). De 'production wing valve' die de put verbindt met de bovengrondse installatie is gesloten. De put zelf is gevuld met winningsproduct (aardgas/aardolie).
Completion	Laatste fase in het proces waarbij de put gereedgemaakt wordt voor productie.
Flowing bottom hole pressure	Druk die onderin de put (ter hoogte van de 'bottom hole valve') heerst tijdens regulier gebruik (productie of injectie).
Gastransport-inrichting	Inrichting bestemd voor het transport en de distributie van aardgas.
Mijnbouwwerk	Mijnbouwwerk als bedoeld in artikel 1, onderdeel n, van de Mijnbouwwet, bestemd voor de winning, opslag, bewerking en het gereedmaken voor transport van gevaarlijke stoffen, dat tevens een inrichting is op grond van de Wet milieubeheer, met uitzondering van mijnbouwinstallaties als bedoeld in artikel 1, onderdeel o, van de Mijnbouwwet.
Offgas	Verzamelnaam voor verschillende typen residugassen.
Snubbing	Putonderhoud waarbij onderdelen in de put worden gebracht door het tijdelijk verhogen van de druk bovenin de put. Deze techniek wordt naar verluidt niet in Nederland toegepast.
Tubing	De binnenste leiding in een put en tevens het deel waardoor de olie en/of het gas stroomt.

Tubing blowout potential	Hoeveelheid gas (debiet) die vrijkomt als de blowout preventor faalt en het gas ongehinderd uitstroomt vanuit de tubing.
Wireline	Putonderhoud waarbij onderdelen met behulp van een kabel in de put worden gebracht of uit de put worden verwijderd. De 'production wing valve' die de put verbindt met de bovengrondse installatie is gesloten. De put zelf is gevuld met winningsproduct (aardgas/aardolie).
Workover	Grootschalig onderhoud aan de put waarbij (doorgaans) delen van de tubing, verbindingsstukken of andere leidingstukken worden vervangen. De 'production wing valve' die de put verbindt met de bovengrondse installatie (zie Figuur 15) is gesloten. De put zelf is ontdaan van winningsproduct.

33 E.12 Rekenvoorschrift andere insluitsystemen

Rekenvoorschrift

Voor activiteiten die zijn beschreven in het BKL, bijlage VII E.12 moet worden aangesloten bij module 1.

-
- [1] Richtlijn 2012/18/EU van het Europees Parlement en de Raad van 4 juli 2012
 - [2] RIVM, Aanpassing afstandentabel CPR-1 opslagen, brief kenmerk 209/07 CEV Rie/am-163 d.d. 6 augustus 2007
 - [3] RIVM, Afstandentabel CPR-1 opslagen, versie 3.0 van 23 maart 2004. Beschikbaar op aanvraag.
 - [4] Ullmann's Encyclopedia of industrial Chemistry, 2001 Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany
 - [5] PGS12 Ammoniakopslag en -verlading, den Haag, juli 2005.
 - [6] Commissie voor Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen. Handboek brandbestrijdingssystemen (CPR-15 supplement).
 - [7] Ministerie van VROM - Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 15. Opslag van verpakte gevaarlijke stoffen, richtlijn voor brandveiligheid, arbeidsveiligheid en milieuveiligheid, 2005.
 - [8] Commissie voor Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen. Opslag bestrijdingsmiddelen in emballage (CPR 15-3).
 - [9] Commissie voor Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen. Opslag gevaarlijke stoffen, chemische afvalstoffen en bestrijdingsmiddelen in emballage, opslag van grote hoeveelheden (CPR 15-2).
 - [10] VROM. Risico-analyse methodiek CPR-15 bedrijven, 1997
 - [11] AVIV en Royal Haskoning, 1994. Risico-analyse stuwadoorsbedrijven. Rapport nr. 9331
 - [12] Schols, e.a. 2007. De risico's van milieugevaarlijke stoffen in importcontainers. RIVM rapport 609021054/2007
 - [13] RIVM, 2009. Handleiding Risicoberekeningen Bevi (versie 3.2 gedateerd 1 juli 2009)
 - [14] AVIV, 1999. Systematiek voor de indeling van stoffen ten behoeve van risicoberekeningen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen. Rapport nr. 98175