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

Handleiding Omgevingsveiligheid

Versie oktober 2019

Toelichting

CONCEPT

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

CONCEPT

CONCEPT

Inhoudsopgave

1 Toelichting Module 1: Basisvoorschriften 5

2 Toelichting B.4 Rekenvoorschrift opslaan van vaste minerale anorganische meststoffen 66

3 Toelichting E.2 Rekenvoorschrift koelinstallatie met ammoniak 81

4 Toelichting E.3.3.Rekenvoorschrift andere insluitsystemen - Het opslaan in een opslagtank van meer dan 13 m3 propaan of propeen, bedoeld in artikel 3.22, eerste lid, aanhef en onder c, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om het opslaan van: a. ten hoogste 50 m3 met een jaarlijkse doorzet van meer dan 600 m3; of b. meer dan 50 m3. 91

5 Toelichting E.5 Rekenvoorschrift opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking 93

6 Toelichting E.8 Rekenvoorschrift metaalproductenindustrie: cyanidehoudend bad 114

7 Toelichting E.9 Rekenvoorschrift opslag- en transportbedrijf, groothandel en containeroverslag: Seveso-hoeveelheid 125

8 Toelichting E.11 Rekenvoorschrift mijnbouwwerk 135

9 Toelichting module IV, D.1 en E.1 Rekenvoorschrift windturbines 183

10 Referenties 215

CONCEPT

1 Toelichting Module 1: Basisvoorschriften

1.1 Parameters specifiek voor een QRA in Nederland

Parameters die de gebruiker niet kan wijzigen, maar die kenmerkend zijn voor een QRA berekening in Nederland.

1.1.1 Middelingstijd

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

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

1.1.2 Maximum uitstroomtijd en blootstellingsduur

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

De blootstellingsduur is voor warmtestraling maximaal 20 s. Voor giftige stoffen is in SAFETI-NL geen maximale blootstellingsduur vastgesteld. Omdat de uitstroomduur (inclusief plasverdamping) begrensd is op 1800 s is de blootstellingsduur in de praktijk ook maximaal ongeveer 1800 s.

1.1.3 Geblokkeerde uitstroming

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

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

1.1.4 Massa betrokken in een vuurbal

CONCEPT

De massa betrokken in de vuurbal is gelijk aan 3 × de flashfractie[1] bij de faaldruk, met een maximum van de volledige systeeminhoud. Bij het stand-alone vuurbalmodel moet de *vapour fraction* gelijk zijn aan de flash fractie,

1.1.5 Ingeterpte en ondergrondse tanks met tot vloeistof verdichte ontvlambare gassen

Voor ingeterpte en ondergrondse LPG tanks wordt aangenomen dat een (warme) BLEVE door aanstraling niet kan optreden. Dit wordt in SAFETI-NL ingevoerd door uit te gaan van de standaard faalfrequentie (5×10^{-7} per jaar voor instantaan falen) en *yes* te selecteren bij het veld *Reduced risks for mounded/underground tanks*. Hierdoor wordt in de gebeurtenissenboom bij de directe ontsteking de vervolgkans op een vuurbal verlaagd van 1 naar 0,3. Dit betekent dat voor ondergrondse LPG tanks met een inhoud van meer dan 10 ton (kans op directe ontsteking is 0,7) de effectieve faalfrequentie voor instantaan vrijkomen gelijk is aan $2,55 \times 10^{-7}$ per jaar, met $1,05 \times 10^{-7}$ per jaar een vuurbal en $1,50 \times 10^{-7}$ per jaar vertraagde ontsteking.

Opmerking:
Voor het instantaan falen van de ondergrondse opslag van giftige stoffen is de faalfrequentie gelijk aan 5×10^{-7} per jaar.

In SAFETI-NL 6.54 is $F_{vuurbal}$ = 0,7 gedefinieerd voor de fractie die gemodelleerd wordt als een vuurbal bij directe ontsteking. Deze historisch gedefinieerde fractie leidt tot een onrealistische, niet-fysische uitkomst, namelijk een explosie/wolkbrand bij directe ontsteking na instantaan falen van een tank met tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas. De volgende gebeurtenissen worden gemodelleerd:

- 0,7 BLEVE
- 0,18 wolkbrand
- 0,12 explosie

Aangenomen wordt dat het BLEVE scenario (voor een belangrijk deel) veroorzaakt wordt door aanstraling van de tank. Deze faaloorzaak is weggenomen voor een ingeterpte en ondergrondse tank. Voor ingeterpte en ondergrondse tanks werd daarom gemodelleerd dat het scenario BLEVE/vuurbal resulteert in ‘geen effect’. Dit leidt tot de volgende gebeurtenissen voor directe ontsteking bij instantaan falen van een ingeterpte of ondergrondse tank met tot vloeistof verdicht gas:

- 0,7 geen effect
- 0,18 wolkbrand
- 0,12 explosie

In SAFETI-NL 8.1 is het optreden van de onrealistische, niet-fysische uitkomst gecorrigeerd en leidt directe ontsteking bij instantaan falen van een tank met tot

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

CONCEPT

vloeistof verdicht gas altijd tot een BLEVE/vuurbal. De volgende gebeurtenis wordt gemodelleerd:

- 1,0 BLEVE

Om in lijn te blijven met de eerdere modellering van ondergrondse/ingeterpte tanks, is besloten om aan te nemen dat ook nu een fractie 0,7 van de ongevalsoorzaken weggenomen wordt en resulteert in 'geen effect'. Dit leidt tot de volgende gebeurtenissen voor directe ontsteking bij instantaan falen van een ingeterpte of ondergrondse tank met tot vloeistof verdicht gas:

- 0,7 geen effect
- 0,3 BLEVE

1.1.6 Gebeurtenissenboom ontvlambare stoffen

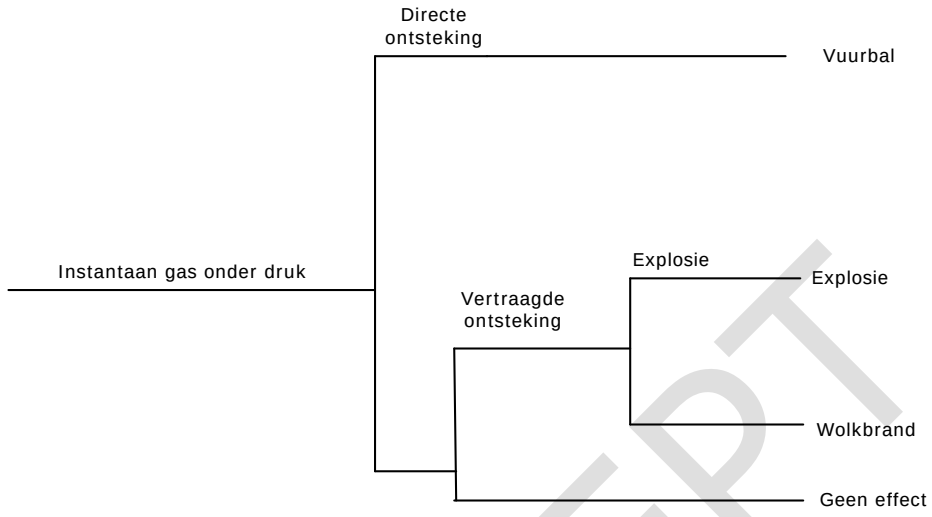
Bij het vrijkomen van ontvlambare gassen en vloeistoffen zijn er verschillende vervolgeffecten mogelijk, namelijk een BLEVE en/of vuurbal, fakkel, plasbrand, gaswolkexplosie en wolkbrand (flash fire). Het optreden van deze fenomenen hangt af van de stof, de condities en het scenario. In deze paragraaf zijn de gebeurtenissenbomen voor de verschillende scenario's gegeven inclusief de vervolgkansen. Voor mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen gelden afwijkende vervolgeffecten. Deze worden beschreven in module 2.

De effecten van de plasbrand die ontstaat ten gevolge van het ontsteken van de ontvlambare wolk worden meegenomen in de berekening voor een wolkbrand, explosie en een BLEVE.

1.1.6.1 Instantane vrijzetting van een ontvlambaar gas

De gebeurtenissenboom voor de instantane vrijzetting van een ontvlambaar gas (zonder uitregenen) is weergegeven in Figuur 1.

CONCEPT



Figuur 1 Gebeurtenissenboom voor een instantane vrijzetting van een ontvlambaar gas

De volgende kansen en verdelingen zijn gedefinieerd:

$P_{\text{directe ontsteking}}$	de kans op directe ontsteking (zie paragraaf 1.1.6.6)
$P_{\text{vertraagde ontsteking}}$	de kans op vertraagde ontsteking (zie paragraaf 1.1.6.7)
F_{explosie}	de fractie gemodelleerd als explosie (zie paragraaf 1.1.6.8)

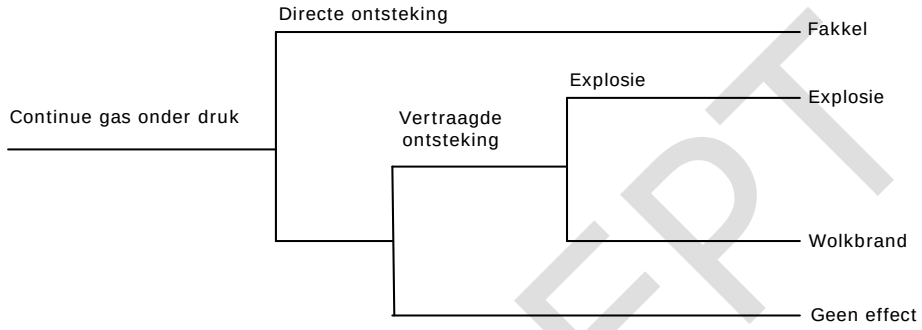
In SAFETI-NL 6.54 was in de gebeurtenissenboom opgenomen dat er, naast een vuurbal, ook een wolkbrand en explosie kan optreden bij directe ontsteking van het vrijgekomen ontvlambaar gas. Deze gebeurtenis heeft een historische achtergrond. In eerdere handleidingen is namelijk beschreven dat de kans op een BLEVE gelijk is aan 0,7, gegeven directe ontsteking van een instantane vrijzetting [1]. Dit betekent dat er een kans van 0,3 is op directe ontsteking van een instantane vrijzetting, zonder dat er een BLEVE optreedt. Hiervoor ontbreekt een goed model: een BLEVE is immers de verwachte uitkomst. Dit is in het Paarse Boek kunstmatig opgelost door hiervoor een apart model te ontwikkelen en toe te passen. In dit model expandeert de wolk eerst tot de UFL, waarna de (semi-) directe ontsteking optreedt. Dit resulteert in de wolkbrand en explosie. In SAFETI-NL 8.1 is deze onrealistische, niet-fysische uitkomst gecorrigeerd: bij directe ontsteking na instantaan falen van een vat met (tot vloeistof verdicht) ontvlambaar gas treedt altijd een BLEVE op.

1.1.6.2 Continue vrijzetting van een ontvlambaar gas

CONCEPT

De gebeurtenissenboom voor de continue vrijzetting van een ontvlambaar gas (zonder uitregenen) is weergegeven in Figuur 2. De volgende kansen en verdelingen zijn gedefinieerd:

$P_{directe\ ontsteking}$	de kans op directe ontsteking (zie paragraaf 1.1.6.6)
$P_{vertraagde\ ontsteking}$	de kans op vertraagde ontsteking (zie paragraaf 1.1.6.7)
$F_{explosie}$	de fractie gemodelleerd als explosie (zie paragraaf 1.1.6.8)

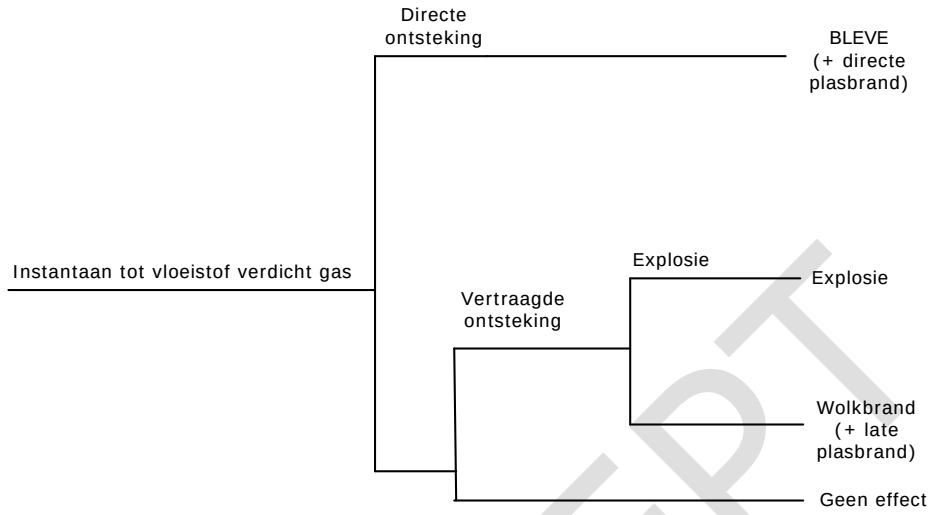


Figuur 2 Gebeurtenissenboom voor een continue vrijzetting van ontvlambaar gas

1.1.6.3 Instantane vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas

De gebeurtenissenboom voor de instantane vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas is weergegeven in Figuur 3.

CONCEPT



Figuur 3 Gebeurtenissenboom voor een instantane vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas

De volgende kansen en verdelingen zijn gedefinieerd:

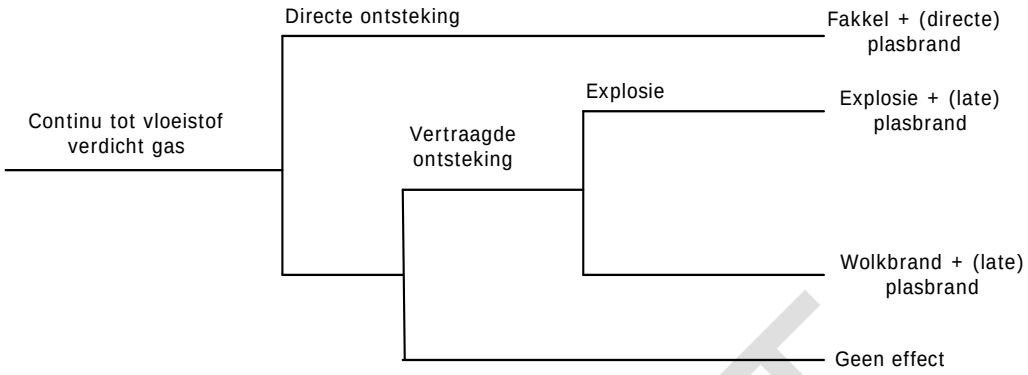
$P_{\text{directe ontsteking}}$	de kans op directe ontsteking (zie paragraaf 1.1.6.6)
$P_{\text{vertraagde ontsteking}}$	de kans op vertraagde ontsteking (zie paragraaf 1.1.6.7)
F_{explosie}	de fractie gemodelleerd als explosie (zie paragraaf 1.1.6.8)

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

1.1.6.4 Continue vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas

De gebeurtenissenboom voor de continue vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas is weergegeven in Figuur 4.

CONCEPT



Figuur 4 Gebeurtenissenboom voor een comtinue vrijzetting van een tot vloeistof verdicht ontvlambaar gas

De volgende kansen en verdelingen zijn gedefinieerd:

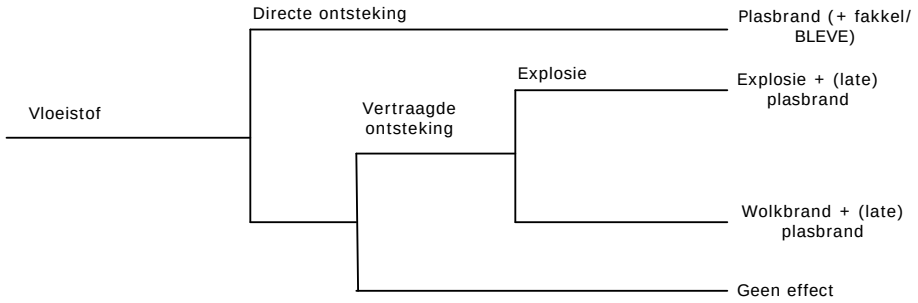
$P_{directe\ ontsteking}$	de kans op directe ontsteking (zie paragraaf 1.1.6.6)
$P_{vertraagde\ ontsteking}$	de kans op vertraagde ontsteking (zie paragraaf 1.1.6.7)
$F_{explosie}$	de fractie gemodelleerd als explosie (zie paragraaf 1.1.6.8)

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

1.1.6.5 Vrijzetting van een ontvlambaar vloeistof

De gebeurtenissenboom voor de vrijzetting van een ontvlambare vloeistof is weergegeven in Figuur 5. De volgende kansen en verdelingen zijn gedefinieerd:

$P_{directe\ ontsteking}$	de kans op directe ontsteking (zie paragraaf 1.1.6.6)
$P_{vertraagde\ ontsteking}$	de kans op vertraagde ontsteking (zie paragraaf 1.1.6.7)
$F_{explosie}$	de fractie gemodelleerd als explosie (zie paragraaf 1.1.6.8)



CONCEPT

Figuur 5 Gebeurtenissenboom voor een vrijzetting van een ontvlambare vloeistof

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

Opmerking:

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

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

De kans op directe ontsteking is afhankelijk van het type installatie (stationaire installatie of transportmiddel), de stofcategorie en de uitstroomhoeveelheid. De waarden voor stationaire installaties zijn gegeven in Tabel 1, de waarden voor transportmiddelen zijn gegeven in Tabel 2. De definitie van de stofcategorie is gegeven in
Tabel 3.

Tabel 1 Kans op directe ontsteking voor stationaire installaties

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

Tabel 2 Kans op directe ontsteking voor transportmiddelen in een inrichting

Stof-categorie	**Transportmiddel**	**Scenario**	**Kans op directe ontsteking**
Klasse 0	Tankauto	Continu	0,1
	Tankauto	Instantaan	0,4
	Ketelwagen	Continu	0,1

CONCEPT

	Ketelwagen	Instantaan	0,8
	Schepen – gastankers	Continu, 180 m3	0,7
	Schepen – gastankers	Continu, 90 m3	0,5
	Schepen – semi gastankers	Continu	0,7
Klasse 1	Tankauto, ketelwagen Schepen	Continu, instantaan	0,065
Klasse 2	Tankauto, ketelwagen schepen	Continu, instantaan	0,01
Klasse 3, 4	Tankauto, ketelwagen schepen	Continu, instantaan	0

Tabel 3 Classificatie ontvlambare stoffen

Klasse	**Grenzen**
Klasse 0	Stoffen met een vlampunt lager dan 0 °C en een beginkookpunt gelijk aan of lager dan 35 °C.
Klasse 1	Vloeistoffen met een vlampunt lager dan 23 °C, en een beginkookpunt hoger dan 35 °C
Klasse 2	Vloeistoffen met een vlampunt hoger dan 23 °C en ten hoogste 55 °C.
Klasse 3	Vloeistoffen met een vlampunt hoger dan 55 °C en ten hoogste 100 °C.
Klasse 4	Vloeistoffen met een vlampunt hoger dan 100 °C.

Opmerkingen:

1. Voor de scenario's van de verlading worden de ontstekingskansen uit Tabel 1 aangehouden.

2. Indien de procestemperatuur van klasse 2, klasse 3 en klasse 4 stoffen hoger is dan het vlampunt dient gerekend te worden met de directe ontstekingskans voor klasse 1 stoffen.

3. Onder de reactiviteit van een stof wordt verstaan de gevoeligheid voor vlamversnelling [2]. Deze wordt bepaald op basis van gegevens zoals de grootte van het explosiegebied, minimum ontstekingsenergie, zelfontbrandingstemperatuur, experimentele gegevens en ervaringen in praktijksituaties. Standaard moet gerekend worden met de ontstekingskans voor gemiddelde/hoge reactiviteit. Alleen wanneer aangetoond is dat de reactiviteit van de stof laag is, wordt gerekend met

CONCEPT

de ontstekingskansen voor lage reactiviteit. De klasse 0 stoffen met een lage reactiviteit zijn gegeven in Tabel 4. Giftige, ontvlambare stoffen met een lage reactiviteit, zoals ammoniak, worden doorgerekend als puur giftig (zie paragraaf 1.1.6.9).

*Tabel 4 Klasse 0 stoffen met een lage reactiviteit. De stoffen aangegeven met een * zijn ook giftig en dienen als alleen giftig doorgerekend te worden.*

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

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

Hierbij is de volgende benadering gevolgd:

Klasse 0 Ontvlambare gassen vallen in klasse 0. Daarom zijn voor alle stoffen in klasse 0 de ontstekingskansen voor ontvlambare gassen aangehouden, dus ook de ontvlambare vloeistoffen.
In het Paarse Boek zijn geen ontstekingskansen gedefinieerd voor de scenario's van aanvaring van schepen. Hiervoor is aangesloten bij RBMII.

Klasse 1 Voor klasse 1 vloeistoffen definieert het Paarse Boek een directe ontstekingskans van 0,065. Voor wegtransport (categorie LF2, vlampunt < 23 °C) wordt een directe ontstekingskans van 0,13 aangehouden (en 0,87 voor geen ontsteking). Dit is de combinatie van directe ontsteking (0,065) en vertraagde ontsteking (0,065) met dezelfde effecten (plasbrand). Voor spoortransport wordt een directe ontstekingskans van 0,25 aangehouden (en 0,75 voor geen ontsteking) [1].
In het Paarse Boek is ingevoerd dat voor het Plaatsgebonden Risico gerekend moet worden met een vertraagde ontstekingskans die gelijk is aan (1 – kans op directe ontsteking). Voor K1 vloeistof betekent dit dat de totale kans op ontsteking (direct + vertraagd) gelijk is aan één. De ontvlambare wolk is voor ontvlambare vloeistoffen vaak nauwelijks groter dan de plas: voor weerklasse D5 is er geen LFL-contour buiten de plas indien de dampspanning kleiner is dan 550 mbar [3]. De kans op vertraagde ontsteking is klein en de aanname van een totale kans op ontsteking gelijk aan 1 leidt tot een conservatieve benadering.

CONCEPT

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

Klasse 3 Gasolie heeft een vlampunt > 55 °C [Chemiekaarten] en valt dus in klasse 3. In de S3b methodiek valt gasolie in categorie LF1. Daarom is voor klasse 3 een ontstekingskans van 0,01 aangehouden in de berekeningen voor bunkerstations [4]. Voorgesteld wordt nu aan klasse 3 geen ontstekingskans toe te kennen (en dus niet mee te nemen in de QRA), omdat de stof geen WMS classificatie heeft. Alleen wanneer de procestemperatuur hoger is dan de vlamtemperatuur dient de stof meegenomen te worden.

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

Andere aandachtspunten zijn:

- In het Paarse Boek zijn de ontstekingskansen voor transportmiddelen onafhankelijk van de stof. Vermoedelijk zijn deze ontstekingskansen alleen bedoeld voor K0 stoffen. Voorgesteld wordt voor de niet-K0 stoffen dezelfde benadering als voor stationaire installaties gevolgd.
- In het Paarse Boek wordt in de subselectie een ontvlambare stof gedefinieerd als een stof met een procestemperatuur gelijk aan of hoger dan het vlampunt. In de ontstekingskansen in het Paarse Boek wordt geen onderscheid gemaakt naar de procestemperatuur in relatie tot het vlampunt. Voorgesteld wordt voor klasse 2 - 4 stoffen de ontstekingskans van klasse 1 stoffen aan te houden wanneer de procestemperatuur gelijk aan of hoger dan het vlampunt.
- De ontstekingskansen voor klasse 0 stoffen zijn conform het Paarse Boek afhankelijk van de reactiviteit van de stof. De definitie van laag reactief is niet goed omschreven. Een aantal stoffen met een lage reactiviteit is in het Paarse Boek met name genoemd. Voor deze stoffen is onderzocht in hoeverre de reactiviteit van belang is voor het bepalen van de ontstekingskans.
  - 1-chloor-2,3-epoxypropaan (epichloorhydrine, CAS nr 106-89-8)
    Deze stof is klasse 2 zodat de reactiviteit niet relevant is voor de bepaling van de ontstekingskans. De stof is wel vergiftig voor inhalatie, zodat deze genoemd moet worden bij de stoffen die ontvlambaar en giftig zijn.
  - 1,3-dichloorpropeen (CAS nr 542-75-6)
    Deze stof is klasse 2 en de reactiviteit is niet relevant voor de bepaling van de ontstekingskans. De stof is niet vergiftig voor inhalatie.
  - 3-chloor-1-propeen (synoniem allylchloride, CAS nr 107-05-1)

CONCEPT

Deze stof is klasse 1 en de reactiviteit is dus niet relevant voor de bepaling van de ontstekingskans. De stof is zeer giftig voor inhalatie, zodat deze genoemd moet worden bij de stoffen die ontvlambaar en giftig zijn.

- ammoniak (CAS nr 7664-41-7)
  Deze stof is klasse 0. De stof is giftig voor inhalatie, zodat deze genoemd moet worden bij de stoffen die ontvlambaar en giftig zijn.
- koolmonoxide (CAS nr 630-08-0)
  Deze stof is klasse 0. De stof is giftig voor inhalatie, zodat deze genoemd moet worden bij de stoffen die ontvlambaar en giftig zijn.
- chloorethaan (synoniem ethylchloride, CAS nr 75-00-3)
  Deze stof is klasse 0, zodat de reactiviteit de ontstekingskans bepaalt. De stof is niet geclassificeerd als giftig voor inhalatie en wordt daarom specifiek genoemd bij de ontvlambare stoffen.
- chloormethaan (synoniem methylchloride, CAS nr 74-87-3)
  Deze stof is klasse 0, zodat de reactiviteit de ontstekingskans bepaalt. De stof is niet geclassificeerd als giftig voor inhalatie en wordt daarom specifiek genoemd bij de ontvlambare stoffen.
- methaan (CAS nr 74-82-8)
  Deze stof is klasse 0, zodat de reactiviteit de ontstekingskans bepaalt. De stof wordt daarom specifiek genoemd bij de ontvlambare stoffen.
- tetra-ethyllood (CAS nr 78-00-2)
  Deze stof is klasse 3 en de reactiviteit is niet relevant voor de bepaling van de ontstekingskans. De stof is giftig voor inhalatie, zodat deze genoemd moet worden bij de stoffen die ontvlambaar en giftig zijn.

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

De kans op vertraagde ontsteking hangt af van het eindpunt van de berekening. In de berekening van het plaatsgebonden risico wordt alleen gerekend met ontstekingsbronnen op het terrein van de inrichting. Ontstekingsbronnen buiten de terreingrens worden genegeerd: aangenomen wordt dat, wanneer de wolk niet ontsteekt op het terrein van de inrichting én een ontvlambare wolk ontstaat buiten de inrichting, ontsteking altijd optreedt bij de grootste wolkomvang. In de berekening van het groepsrisico wordt gerekend met alle aanwezige ontstekingsbronnen, inclusief de ingevoerde populatie. Voor het groepsrisico is het dus mogelijk dat, bij afwezigheid van ontstekingsbronnen, een ontvlambare wolk niet ontsteekt (zie Tabel 5).

Om te bepalen of een ontstekingsbron tot het terrein van de inrichting behoort en of een wolk de terreingrens passeert, moet de terreingrens (‘*Plant boundary’)* zijn ingevoerd. Hiervoor gelden de volgende richtlijnen:

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

CONCEPT

Tabel 5 Kans op vertraagde ontsteking voor de berekening van het PR en GR

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

1.1.6.8 Fractie explosie

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

1.1.6.9 Stoffen die zowel giftig als ontvlambaar zijn

Er zijn stoffen geclassificeerd als zowel giftig als ontvlambaar. Stoffen met een lage reactiviteit worden gemodelleerd als een zuiver giftige stof. Dit betreft allylchloride (CAS nr 107-05-1), ammoniak (CAS nr 7664-41-7), epichloorhydrine (CAS nr 106-89-8), koolmonoxide (CAS nr 630-08-0) en tetra-ethyllood (CAS nr 78-00-2).

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

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

De kansen op directe ontsteking, $P_{directe\ ontsteking}$, zijn gegeven in paragraaf 1.1.6.6.

Opmerking:

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

[2] Wanneer de LFL contour buiten de terreingrens komt

CONCEPT

1.1.7 Explosie parameters

Voor de bepaling van de overdrukeffecten van een gaswolkexplosie wordt aangenomen dat 12,5% van de ontvlambare wolk zich in obstructed regions bevindt. De overdrukeffecten daarvan worden bepaald met curve 10 van het multi-energie model.

1.1.8 Hoogte voor de berekening van de effecten

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

1.1.9 Verdeling binnen en buiten

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

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

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

Opmerking:

1. In het rekenpakket kan voor elke ingevoerde populatie een verdeling over binnen en buiten worden gekozen. Dit biedt de mogelijkheid een afwijkende verdeling in te voeren voor bijvoorbeeld recreatieterreinen.

1.1.10 Het modelleren van personen bij evenementen

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

Voorbeeld: In de omgeving van een bedrijf ligt een woonwijk en een recreatieplas. Bij de recreatieplas zijn in de drie zomermaanden overdag gemiddeld 200 personen aanwezig gedurende acht uur; 's nachts en buiten de zomermaanden zijn er (vrijwel) geen bezoekers.
In SAFETI-NL wordt dit gemodelleerd door uit te gaan van drie rijen, namelijk:

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

CONCEPT

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

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

1.1.11 Letaliteit

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

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

waarbij

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

1.1.11.1 Blootstelling aan giftige stoffen

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

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

met

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

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

De berekening van de letaliteit voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico is gegeven in Tabel 7.

Tabel 7 Overlijdingskans voor giftige stoffen

Gebied	**Plaatsgebonden Risico**	**Groepsrisico Binnen**	**Groepsrisico Buiten**
P_{letaal}			

CONCEPT

dimensies van de concentratie en de blootstellingstijd aansluiten bij de waarde van constante a.

2. De sterftekans voor mensen binnen (groepsrisico) wordt berekend met de probitrelatie op basis van de blootstelling binnen. De blootstelling binnen wordt berekend met een standaard ventilatievoud van één per uur. Aangenomen wordt dat mensen na verloop van tijd weer naar buiten gaan; zij doen dit 1800 s nadat de concentratie buitenshuis afneemt.

1.1.11.2 Ontvlambare stoffen - warmtestraling

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

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

met

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

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

De berekening van de letaliteit voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico is gegeven in Tabel 8. Hierbij is een dosis gedefinieerd als functie van de blootstellingsduur t en de intensiteit I, namelijk $t \cdot I^{4/3}$ met als eenheid $s \cdot (W/m^2)^{4/3}$. De waarde $D_{grens} = 2{,}29 \cdot 10^7\ s \cdot (W/m^2)^{4/3}$ komt overeen met een blootstellingsduur t = 20 s en een intensiteit I = 35 kW/m^2

Tabel 8 Overlijdingskans voor ontvlambare stoffen – vlamgebied en warmtestraling

Gebied	**Plaatsgebonden Risico**	**Groepsrisico Binnen**	**Groepsrisico buiten**
Vlamgebied	1	1	1
$t \cdot I^{4/3} > 2{,}29 \cdot 10^7\ s \cdot (W/m^2)^{4/3}$	1	1	1
$t \cdot I^{4/3} < 2{,}29 \cdot 10^7\ s \cdot (W/m^2)^{4/3}$	P_{letaal}	0	$0{,}14 \times P_{letaal}$

Opmerkingen:

1. Het vlamgebied is voor een wolkbrand gegeven door de contour van de onderste explosiegrens. Buiten het vlamgebied treedt geen sterfte op voor een wolkbrand.

2. De maximum blootstellingsduur aan warmtestraling is gelijk aan 20 s.

CONCEPT

In SAFETI-NL 6.54 werd aangenomen dat 100% letaliteit optreedt bij warmtestraling gelijk aan 35 kW/m^2 of meer, ongeacht de blootstellingsduur. De blootstellingsduur aan warmtestraling van een plasbrand of fakkelbrand was gelijkgesteld aan 20 s.

In SAFETI-NL 8.1 wordt ook voor een plasbrand of fakkelbrand de werkelijke blootstellingsduur gebruikt met een maximum van 20 s. Ook is een dynamisch BLEVE-model geïmplementeerd, waarbij de warmtestraling varieert in de tijd. Het toepassen van 100% letaliteit bij 35 kW/m^2, ongeacht de blootstellingsduur, leidt voor kortdurende blootstellingen tot een overschatting van de risico's. Daarom is besloten over te gaan tot een dosiscriterium voor de berekening van sterfte door warmtestraling. Het dosiscriterium komt overeen met een stralingsintensiteit van 35 kW/m^2 gedurende 20 s blootstelling. Bij grotere doses is de letaliteit gelijk aan één. Dit is goed in overeenstemming met de letaliteit op basis van de probitrelatie: deze is bij 35 kW/m^2 gedurende 20 s blootstelling gelijk aan 0,98.

Aangenomen is dat bij doses groter dan het dosiscriterium de letaliteit gelijk is aan één, en er dus geen beschermende werking meer is van kleding of verblijf binnenshuis. Er is een literatuurstudie uitgevoerd om te bepalen in hoeverre deze aanname correct is. De (literatuur)studie is voornamelijk gebaseerd op de informatie uit Lees [5], het Groene Boek [6], onderzoek uitgevoerd in opdracht van de HSE/HSL [7,8,9] en literatuuronderzoek met behulp van Scopus (zoektermen: heat-radiation-clothing; heat-radiation-probit; heat-radiation-lethality; heat-radiation-skin burn; radiation-ignition-clothing). Hieruit komt de volgende informatie naar voren.

Ontsteking van kleding

In Lees [5] wordt voor de ontsteking van kleding de volgende informatie gegeven:
Hymes states that for thermal radiation intensities greater than 75 kW/m^2 most clothing will undergo spontaneous ignition within about 5 s. Under conditions such as a BLEVE, piloted ignition is probable and the time to ignition will tend to be even shorter. The Green Book refers to the work of Hymes and proposes for the ignition of clothing the following threshold relation: $t \cdot I^2 = D_s$ where D_s is the clothing ignition load (s(kW/m^2)^2), I is the thermal radiation intensity (kW/m^2), and t is the time (s). It states that the value of D_s lies approximately in the range $2.5 \cdot 10^4$ and $4.5 \cdot 10^4$ s·(kW/m^2)^2.
Bij een blootstelllingsduur van 20 seconden zal de warmtestralingsintensiteit waarbij kleding ontsteekt dan tussen de 35 en 47 kW/m^2 liggen.

Experimentele data ondersteunen de aanname dat bij stralingsintensiteiten van meer dan 50 kW/m^2 kleding kan ontsteken. In onderzoek van de HSL [7] wordt voor kledingmaterialen de volgende tijden tot ontsteking bij verschillende stralingsintensiteiten gegeven:

Material	*Heat flux (kWm^{-2})*	*Time to ignition (s)*
Clothing Cotton	58	10

CONCEPT

Clothing Cotton	81	6
Clothing Cotton	105	3
Clothing Nylon	58	22
Clothing Nylon	81	26
Clothing Nylon	105	7

In voor de HSE uitgevoerd onderzoek [8] worden de volgende data gegeven.

Incident flux (kW/m^2)	Time to ignition, t_{ig} (s), for various material types			
	Cotton (white)	Cotton (white) Fire Retardant[1]	Polyester / Cotton(65/35)	Polyester / Cotton(50/50)
198	3	2	3	6
118	7	4	8	15
87	12	6	15	26
70	19	8	26	43
52	41	13	(no ignition)	(no ignition)

[1] Fire retardant in this context refers to the resistance to flame spread and not the resistance to ignition. This explains why ignition of fire retardant cotton occurs before the untreated cotton.

Het literatuuronderzoek in Scopus geeft veel onderzoek naar het effect van beschermende kleding voor bijvoorbeeld de brandweer in het gebied met een stralingsintensiteit van 3-10 kW/m^2.

Voor het meenemen van het effect van het ontsteken van kleding zijn er twee benaderingen. In Lees wordt het effect van ontsteking van kleding als volgt benaderd: *With regard to fatal injury from ignited clothing, in a survey of five American hospitals by Schlapowsky (1967) of 179 people admitted to hospital suffering from burns from clothing, almost 40% had second degree burns or worse, requiring extensive surgery and skin grafts; 16% had third degree burns. In his survey, Lawrence states that there were 248 cases of ignition of ordinary clothing, excluding those involving flammable liquids, of whom 46 died, giving a mortality of 18.5%.*
Hierbij is het niet duidelijk of de slachtoffers ook aan warmtestraling zijn blootgesteld of dat het ontsteken van de kleding alleen te wijten was aan direct vlamcontact.

Atkins [9] volgt de volgende benadering: *In incidents involving radiation from a fire event, the radiation will be of a very high level in order to ignite clothing, and will remain as a substantial source of burn even if the clothing is removed. An equally important factor is that ignited clothing will significantly hamper escape, leading to an increased dose on the unclothed areas of skin. Thus, although acknowledging that it is potentially conservative, Hockey & Rew*

CONCEPT

concluded that the assumption of 100% fatality in the event of clothing ignition from radiation is reasonable.

Bij het vaststellen van een dosiscriterium wordt de benadering van Atkins gevolgd. Dit betekent dat de overall correctiefactor voor het dragen van kleding niet 0,14 maar 1 is voor het gebied waar kleding wel ontsteekt en 0,14 voor het gebied waar kleding niet ontsteekt.

Conclusie:
Het is verdedigbaar (wellicht conservatief) uit te gaan van een dosiscriterium voor het ontsteken van kleding op basis van een stralingsintensiteit van 35 kW/m^2 en 20 seconden blootstellingsduur (dosiscriterium $2{,}29 \cdot 10^7$ s·(W/m^2)$^{4/3}$).

Ontbranden huizen/bouwmaterialen

Casuïstiek
Bij het incident in Edison (VS) is een 36 inch (66,2 bar) aardgasleiding gefaald. Huizen ontbrandden op ongeveer 100 meter afstand [10]. Het bijbehorende warmtestralingsniveau zal ongeveer 55 kW/m^2 zijn geweest (*op basis van PipeSafe data*). Zover bekend zijn er geen slachtoffers gevallen.

Bij het incident in Gellingen is een 39 inch leiding (80 bar) aardgasleiding gefaald. Gebouwen ontbrandden tot op 210-240 meter [11]. Omdat de jet pas na enkele minuten is ontstoken, zal op basis van de actiekaart het warmtestralingsniveau op deze afstand ongeveer 10 kW/m^2 zijn geweest.

Ontsteking bouwmaterialen
Materiaaloppervlakken kunnen onder invloed van warmtestraling ontbranden. Van belang hierbij zijn de stralingsintensiteit en de expositieduur. Naar mate de expositie langer aanhoudt zal in beginsel een steeds geringere stralingsintensiteit voldoende zijn om het materiaaloppervlak tot ontbranding te brengen. Beneden een bepaalde waarde van de stralingsintensiteit zal ontbranding uitblijven, ongeacht de lengte van de expositieduur. Deze grenswaarde wordt uitgeduid met het begrip "kritische stralingsintensiteit" [6].
Een andere definitie is dat de temperatuur aan het oppervlak van het materiaal voldoende is voor het starten van het pyrolyse proces [8].

Verschillende bronnen geven kritische stralingsintensiteiten:
- Voor verschillende brandbare materialen ligt de kritische stralingsintensiteit (geen aansteekvlam) bij 25-35 kW/m^2 (hout, hennep, jute, vlas, textiel, zachtboard, hardboard en kurk). Voor staal[3] ligt de kritische stralingsintensiteit op 100 kW/m^2 [6].
- In [8] worden de volgende waarden gegeven:

[3] Staal is onbrandbaar maar bij toenemende temperatuur nemen de sterkte en stijfheid van staal echter betrekkelijk snel af. Daarom is het denkbaar dat een stalen constructieonderdeel onder invloed van warmtestraling zal bezwijken

CONCEPT

Incident flux (kW/m^2)	Time to ignition, t_{ig} (s), for various material types			
	Particleboard (thermally thin)	Spruce (thermally thick)	PVC (extruded) 3mm (grey)	PVC (pressed) 5mm (white)
50	40	15	26	55
40	53	30	43	95
30	82	60	71	209
20	166	625	184	332
15	400	~1200	655	653
10	(no ignition)	(no ignition)	(no ignition)	(no ignition)

Conclusie:
Bouwmaterialen kunnen al bij relatief lage warmtestralingsintensiteiten ontsteken/branden. De gevonden data in de literatuur ondersteunen dat bij voldoende lange blootstellingstijden boven een warmtestralingsintensiteit van 10-15 kW/m^2 gebouwen kunnen ontbranden. Bij het vaststellen van de aandachtsgebieden wordt een ondergrens van 10 kW/m^2 gebruikt.

Echter, er zijn redenen om het dosiscriterium op dit punt toch op basis van een warmtestralingsintensiteit hoger dan 15 kW/m^2 te kiezen.

1. Voor kortdurende scenario's als instantaan falen (en vuurbal) is de blootstellingstijd maximaal in de orde van een minuut en is de benodigde warmtestralingsintensiteit voor het ontbranden van bouwmaterialen in de orde van 30 – 50 kW/m^2.
2. Bij het ontbranden van bouwmaterialen en daarmee ook mogelijk het gehele gebouw bij een stralingsintensiteit van 15 kW/m^2, kunnen/zullen mensen het gebouw verlaten en buiten bloot worden gesteld aan warmtestraling. De kans op overlijden ligt, indien bij het verlaten van het brandende huis de oorspronkelijke warmtestralings-intensiteit nog steeds aanwezig is, dan maximaal in de grootte orde van 2-14% zolang kleding niet ontsteekt. Een dosiscriterium baseren op een warmstralingsintensiteit van 15 kW/m^2 is dan over-conservatief. Bij een plasbrand zal het warmtestralingsniveau buiten relatief laag zijn en is de vluchtweg naar een veilig warmtestralingsniveau relatief kort.
3. Kritische stralingsintensiteiten liggen in de orde van 25-35 kW/m^2 en ook de casuïstiek laat aanwijzingen zien dat pas bij hogere stralingsintensiteiten huizen ontbranden.

Een dosiscriterium van $2{,}29 \cdot 10^7$ $s \cdot (W/m^2)^{4/3}$ is zeker voor kortdurende scenario's een verdedigbare keuze, maar ook voor langdurige scenario's.

Breken van glas

CONCEPT

Het scheuren (springen) van glas, onder invloed van warmtestraling, wordt veroorzaakt door het optreden van een niet-homogene temperatuurverdeling in het glas [6]. (Enkelvoudig?) glas kan breken door warmtestraling bij een intensiteit van 4 kW/m^2 en een expositie van ongeveer een half uur. Het blijkt dat in het glas, blootgesteld aan een (kritische) stralingsintensiteit van 4 kW/m^2 al na ca. 10 minuten, 90% van de (kritieke) eindtemperatuur van 393 K wordt bereikt.

Andere studies geven voor het doel van dit onderzoek vergelijkbare resultaten [8]: *'A summary of the results from the study suggests that single pane wood frame windows always failed at heat fluxes above 10 kW/m^2 and did not fail at heat fluxes of less than 7 kW/m^2. The unexposed (inside) panes of double glazed wood frame windows failed in all tests in which imposed fluxes ranged from 10 kW/m^2 to 18 kW/m^2. If windows break or are open, then it is reasonable to assume that the effects of flame penetration on these people will be the same as if they were unprotected by the building and engulfed in the flash fire, i.e. they would have a 100% probability of fatality. For people not adjacent to the window, the direct effects of flame penetration are not so easily defined. This would suggest that, unless people are standing at the window, the effect of transmission of thermal radiation through windows can be neglected. If people are standing at the window then window breakage and flame penetration are likely to be the more serious event.*

Conclusie: glas kan breken[4] na relatief geringe tijd. Echter, invloed van soort van glas (enkelvoudig, dubbel of HR++) is niet duidelijk. Na het breken van het glas mag worden verondersteld dat men ook binnen (gedeeltelijk) aan dezelfde stralingsintensiteit wordt blootgesteld als buiten. Verondersteld mag worden dat mensen na het breken van het glas niet achter het raam blijven staan maar naar een veiligere plek in huis gaan. Het te kiezen dosiscriterium is daarmee niet direct afhankelijk van glasbreuk.

Algemene conclusies

- Het dosiscriterium van $2{,}29 \cdot 10^7$ s·(W/m^2)$^{4/3}$ is bruikbaar. Bij het afleiden van dit dosiscriterium is rekening gehouden met de effecten van warmtestraling op mensen binnen (ontbranden van huizen en effecten aan glas) als buiten (ontsteken van kleding) en grotendeels met de duur van een scenario.
- De onderbouwing van het dosiscriterium is op basis van de beschikbare data niet kwalitatief beter dan de vaststelling van het stralingscriterium van 35 kW/m^2 omdat sinds de introductie van het Paarse Boek in 1999 niet veel nieuwe, voor dit onderwerp bruikbare, data beschikbaar zijn gekomen.

1.1.11.3 Ontvlambare stoffen - overdruk

[4] Verondersteld wordt dat door het breken van het glas geen (glas)projectielen ontstaan die letaal letsel kunnen veroorzaken

CONCEPT

De berekening van de letaliteit voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico ten gevolge van een gaswolkexplosie is gegeven in Tabel 9.

Tabel 9 Overlijdingskans voor ontvlambare stoffen - overdruk

Gebied	**Plaatsgebonden Risico**	**Groepsrisico Binnen**	**Groepsrisico buiten**
	1	1	1
	0	0,025	0
overdruk < 0,1 bar	0	0	0

1.2 Toelichting bij paragraaf ontstekingsbronnen

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

Voor spoorwegen en snelwegen wordt de ontstekingskans berekend met:

$d = N E / v$

waarbij

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

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

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

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

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

waarbij de eff
$8{,}51 \times 10^{-3}$ s^{-1} voor een weg en een niet-geëlectrificeerde spoorlijn en $26{,}8 \times 10^{-3}$ s^{-1} voor een geëlectrificeerde spoorlijn.

In de Handleiding zijn voor (snel-) wegen en spoorwegen standaard waarden opgenomen voor het aantal voertuigen per uur en de gemiddelde snelheid.

CONCEPT

Voor snelwegen is het aantal voertuigen een ruwe inschatting op basis van de categorisatie van snelwegen in de studie “Veilig Vervoer over Weg” [12]. Voor autosnelwegen (tweestrooks) wordt onderscheid gemaakt in drie intensiteiten, namelijk < 18000, 18.000 – 30.000 en > 30.000 voertuigen per etmaal. Voor autosnelwegen (drie- en vierstrooks) zijn de intensiteitsklassen < 44.000, 44.000 – 64.000 en > 64.000 voertuigen per etmaal. Als standaardwaarde is gekozen voor 36.000 voertuigen per etmaal. De overige standaardwaarden zijn niet onderbouwde schattingen.

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

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

waarbij:

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

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

In SAFETI-NL 6.54 werd de locatie (x,y) van de ontstekingsbron vergeleken met de locatie van de ontvlambare wolk (LFL-contour) op één meter hoogte: ontsteking kan plaatsvinden als de LFL-contour op één meter hoogte overlapt met de locatie van de ontstekingsbron.
In SAFETI-NL 8.1 wordt de locatie (x,y,z) van de ontstekingsbron vergeleken met de grenzen van de ontvlambare wolk (3D LFL-contour): ontsteking kan plaatsvinden als er een ontvlambare wolk aanwezig is boven de ontstekingsbron.

1.3 Toelichting bij paragraaf modelparameters

Modellering van de scenario’s
Om te bepalen wat een significante bijdrage van nalevering is, is een testberekening gedaan voor een scenario waarbij 25 ton ammoniak (onder druk) vrijkomt in 10 minuten. Vervolgens is de uitstroomhoeveelheid verhoogd bij gelijkblijvend uitstroomdebiet om de nalevering uit andere systeemonderdelen te simuleren. Het resultaat is gegeven in Tabel 10. Hieruit blijkt dat een nalevering van 20% leidt tot een toename in risicoafstand van 4 – 7%.
Er zijn geen criteria vastgelegd om te bepalen welke toename in risico-afstand significant is. Wanneer als criterium een toename van de risicoafstand met meer dan 5 – 10% wordt aangehouden, betekent dit dat een nalevering van meer dan 10-20% meegenomen moet worden in de QRA-berekening. Op basis hiervan is 10% aangehouden.

CONCEPT

Tabel 10 Invloed van de uitstroomhoeveelheid van ammoniak op het plaatsgebonden risico op 200 m en 400 m; weergegeven is de procentuele verandering in plaatsgebonden risico (PR) en in afstand.

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

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

In SAFETI-NL 6.54 werd de inhoud van de leiding (scenario *'line rupture')* niet meegenomen in de berekening van de uitstroming, in SAFETI-NL 8.1 wel. Dezelfde invoer leidt dus tot een grotere bronterm in SAFETI-NL 8.1. Daarom is expliciet toegevoegd dat bij breuk van een leiding aan een vat (line rupture) de inhoud van de leiding automatisch wordt opgeteld bij de inhoud van het vat.

In SAFETI-NL 8.1 is een nieuwe optie toegevoegd, namelijk *fixed flow rate.* Hiermee kan de gebruiker direct een vast uitstroomdebiet invoeren, bijvoorbeeld waneer de uitstroming bepaald wordt door een (verhoogd) pompdebiet.

Hoogte van de uitstroming ten opzichte van de omgeving

In het Paarse Boek wordt een verdeling van uitstroomlocaties over de hoogte van een vat toegestaan. In het kader van een unificatie van de QRA berekeningen is nu één locatie voorgeschreven. De minimum hoogte is gelijkgesteld aan één meter voor continue uitstromingen om te voorkomen dat een zeer groot gedeelte van de emissie direct uitregent. Voor instantane emissies is de hoogte van de uitstroming gelijk aan het midden van de vloeistofkolom of het vat, in overeenstemming met het toegepaste model in versie 8.1.

Voor ondergrondse reservoirs en leidingen wordt uitgegaan van 0 meter hoogte.

Fase van de uitstroming

Het model voor instantane uitstroming in SAFETI-NL versie 6.54 rekende met een vaste, opwaartse hoek waarin de druppels bewegen voordat ze uitregenen.
In de 'modelevaluatie Buncefield' [13] is gebleken dat de modellering van het scenario instantaan falen van atmosferische opslagtanks fysisch onrealistisch is als voor de hoogte van de vloeistofkolom wordt uitgegaan van de maximale hoogte. Voor ontvlambare atmosferische vloeistoffen is bovendien gebleken dat

CONCEPT

de bijbehorende effectafstanden afwijken van de effectafstanden die in de praktijk zijn opgetreden bij (bijna) instantane uitstromingen. Daarom is besloten om in SAFETI-NL 6.54 voor instantaan falen van atmosferische tanks te rekenen met een hoogte van de vloeistofkolom gelijk aan 0 meter.
Het model voor instantane uitstroming is in SAFETI-NL 8.1 geheel vernieuwd. In dit nieuwe model moet voor de locatie van instantaan falen het midden van de vloeistofkolom worden ingevoerd, en de hoogte van de vloeistofkolom als '*tank head*'.

Uitstroming uit reservoirs met een niet homogene inhoud
In dit hoofdstuk is geprobeerd een praktische benadering te hanteren voor distillatiekolommen e.d. Een verdere opsplitsing van het 10 mm gat over meerdere locaties is niet zinvol gezien de geringe bijdrage van dit scenario aan het totale risico.
De stof in de QRA wordt geselecteerd aan de hand van de effectafstand bij weerklasse D5. Hiermee is gekozen voor een gemiddelde weerklasse, zodat voor de meest voorkomende weerklassen de goede keuze is gemaakt.

Invloed van een krater
In Safeti-NL versie 8 is een kratermodel opgenomen. De consequenties hiervan zijn voor inrichtingen niet meegenomen in het consequentieonderzoek. Uit het consequentieonderzoek voor ondergrondse transportleidingen blijkt dat het kratermodel leidt tot grotere effect- en risicoafstanden. Omdat de consequenties voor inrichtingen nog onvoldoende in beeld zijn gebracht, is het kratermodel nog niet voorgeschreven.

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

Uitstroom in een gebouw
Bij uitstroming van een vloeistof onder druk in een gebouw zal een gedeelte direct verdampen door afkoelen van de vloeistof tot het atmosferisch kookpunt (flash fractie) en een gedeelte verdampen door opname van warmte uit de omgeving (lucht, voorwerpen, vloer, wanden). Als vaste defaultwaarde is gekozen voor een totale hoeveelheid damp gelijk aan drie keer de flash fractie. Dit is hoger dan de waarde voor de verdampte hoeveelheid in het Paarse Boek [1], namelijk twee tot drie keer de flash fractie, om rekening te houden met de opname van warmte uit de omgeving.

Faaldruk van een BLEVE
De faaldruk van een BLEVE is van belang voor de warmtestraling die vrijkomt. Aangenomen wordt dat een BLEVE ontstaat ten gevolge van warmtestraling in de omgeving van de tank.
Voor LPG ketelwagens is de testdruk gelijk aan 28 bar. Een praktijktest uitgevoerd door BAM met een voor ca 20% gevulde propaan ketelwagen resulteerde in een faaldruk van 25 bar [14]. Het rekenprogramma RBM II

CONCEPT

hanteert een lagere faaldruk voor een warme BLEVE van een ketelwagen, namelijk 19,5 bar. Deze waarde is afgeleid op basis van de testdruk voor stationaire tanks. Er zijn argumenten om voor ketelwagens een lagere faaldruk te hanteren dan de testdruk. Zo kan de verzwakking van de metaalwand door aanstraling van de dampruimte boven de vloeistof een belangrijke rol spelen, waardoor een BLEVE bij een lagere druk kan optreden. Bij het vervoer van gevaarlijke stoffen speelt daarnaast ook de vraag of een plasbrand van een ketelwagen ontvlambare vloeistof voldoende lang duurt voor het opwarmen van de inhoud tot de temperatuur behorende bij de faaldruk. Gezien bovenstaande is besloten aan te sluiten bij de RBMII benadering en voor ketelwagens uit te gaan van een faaldruk van 19,5 bar.

Voor tankauto's wordt in RBMII niet uitgegaan van een warme BLEVE, omdat de risico's van een warme BLEVE (falen t.g.v. een brand onder de tank) verwaarloosbaar zijn ten opzichte van een koude BLEVE (falen t.g.v. botsing). Voor de afstandentabel LPG tankstations is de referentie barstdruk voor de tankauto berekend op basis van de insteldruk van het veiligheidsventiel op de tankauto [15]. Deze insteldruk is gelijk aan 19,25 barg. Dit leidt tot een faaldruk van 1,21 × 20,25 bara = 24,5 bara.

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

Tijdsafhankelijke uitstroming

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

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

CONCEPT

Gekozen is om uit te gaan van een constant debiet met de condities op tijdstip t = 0 s (vat, korte leiding) dan wel een constant debiet gemiddeld over 0 – 20 s (lange leiding). Dit is de eenvoudigste wijze van modelleren en een goede benadering voor kortdurende (< 50 s) en langdurige (> 1800 s) uitstromingen. Alleen wanneer een reservoir leegstroomt in de periode 50 – 1800 s geeft deze benadering een overschatting van de risico's. Voor een zo goed mogelijke risicoberekening wordt daarom toegestaan in dergelijke gevallen uit te gaan van een variërend uitstroomdebiet met een eerste benadering van vijf segmenten. De risico-analist dient wel een onderbouwing te geven van de gemaakte keuze.

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

Tankput

De parameter '*whether the bund can overflow*' voor de tankput is nieuw in Safeti-NL 8.1. Voor beide invoeropties voor deze parameter is het uitgangspunt dat de inhoud van de tankput voldoende groot is om de vloeistofinhoud die vrijkomt te bevatten ('liquid overfil not possible'). De optie 'bund cannot fail' is gelijk aan de modellering in Safeti-NL 6.54. De vloeistof regent buiten de tankput uit als de (gemodelleerde) hoogte van de vloeistofstraal ter plaatse van de omwalling hoger is dan de hoogte van de omwalling. In dat geval is de tankput ook niet meer van invloed meer op de maximale omvang van de vloeistofplas. Bij de optie 'rainout always inside bund' vindt het uitregenen altijd binnen de tankput geplaatst en is de vloeistofplas nooit groter dan het oppervlak van de tankput, of 1,5 maal het oppervlak van de tankput (voor instantaan falen).

Ruwheidslengte van de omgeving

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

Meteorologische weerstations en parameters

De standaard waarden voor de meteorologische parameters zijn afgeleid uit de KNMI statistiek voor de normaalperiode 1971 – 2000, station De Bilt [16]. Omdat de berekeningen apart worden uitgevoerd voor de dag en de nacht, zijn de standaardwaarden nu ook gedefinieerd voor dag en nacht afzonderlijk. De volgende benadering is hierbij gevolgd:

Temperatuur

De KNMI statistiek geeft de etmaalgemiddelde dagtemperatuur (9,8 °C jaargemiddeld), het dagmaximum (13,7 °C jaargemiddeld) en het dagminimum (5,7 °C jaargemiddeld). De temperatuur voor de nachtperiode is berekend als het gemiddelde van het daggemiddelde en het dagminimum, de temperatuur voor de dagperiode is berekend als het gemiddelde van het daggemiddelde en het dagmaximum. Omdat in de QRA een verdeling 0,44

CONCEPT

voor de dag en 0,56 voor de nacht wordt aangehouden, is de dagtemperatuur berekend als 9,8 + 0,56 × (13,7 – 9,8) = 12 °C en de nachttemperatuur als 9,8 – 0,44 × (9,8 – 5,7) = 8,0 °C. Met deze correctie is de daggemiddelde temperatuur gelijk 0,44 × 12 °C + 0,56 × 8 °C = 9,8 °C. Overigens is het gebruik van een jaargemiddelde dag- en nachttemperatuur niet erg zinvol in de QRA: de variatie in temperatuur tussen zomer en winter is aanzienlijk groter dan de variatie in het jaargemiddelde dagmaximum of –minimum.
Voor de temperatuur van de bodem en het water wordt voorgesteld het jaargemiddelde aan te houden in verband met de bufferende werking van grote (water-) massa's.

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

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

Zonne-instraling
De KNMI statistiek geeft de etmaalsom van de globale straling (950 J/cm^2). Deze waarde is volledig toegekend aan de dagperiode, zodat de zonne-instraling dan gelijk is aan (950 J/cm^2 × 10.000 cm^2/m^2)/(10,5 × 3600 s) = 0,25 kW/m^2.

Menglaaghoogte
De menglaaghoogte voor de verschillende weerklassen is berekend

Classificatie van stoffen
Deze paragraaf verduidelijkt welke stoffen meegenomen moeten worden in een risicoberekening.

Probitwaarden
Module 1 geeft de probitrelaties voor een aantal giftige stoffen. De waarden voor a, b en n (eenheden mg/m^3 en minuten) zijn overgenomen uit Deel 4 van PGS 1 [17]. Het rekenpakket SAFETI-NL rekent in de eenheden ppmv en minuten. Daarom zijn ook de waarden voor a, b en n in de eenheden ppmv en minuten gegeven. Deze zijn berekend met de volgende formule:

CONCEPT

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

met M de molmassa (in g/mol).

Inerte gassen en zuurstof

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

- In het Veiligheidsrapport van Hoek Loos IJmuiden [18] zijn geen risicoberekeningen opgenomen omdat "… het voor de stoffen zuurstof, stikstof en argon niet mogelijk is de zogenaamde quantitatieve risico-analyse uit te voeren." Er zijn meerdere cryogene opslagtanks; de maximale opslaghoeveelheid (kleinste tank – grootste tank) is gelijk aan 570 – 1824 ton zuurstof, 17 – 714 ton argon en 2000 – 3200 ton stikstof.
- In het Veiligheidsrapport van de Nederlandse Gasunie [19] zijn de risico's beschreven van de cryogene opslag van stikstof (19.000 m^3). In dit rapport staat beschreven dat een zuurstofpercentage van 6 – 8% gedurende 8 minuten 100% letaal is, gedurende 6 minuten 50% letaal en gedurende 4 – 5 minuten: na behandeling herstel optreedt. Direct letale effecten worden geassocieerd met 10% zuurstof in lucht. Voor de subselectie wordt aangehouden dat 50% stikstof in lucht (10,5% zuurstof) letaal is. De gehanteerde probit functie is a = –86,793, b = 1 en n = 6,995 voor de concentratie in ppmv.
- In het Veiligheidsrapport van Air Products [20] zijn inerte gassen en zuurstof niet meegenomen in de risicoberekeningen.
- TNO heeft in opdracht van Hoek Loos een onderzoek uitgevoerd naar Schadecriteria voor zuurstof en stikstof [21].
- De schadecriteria voor zuurstofverrijking zijn 10% letaliteit bij 40% zuurstof gedurende 10 minuten en 1% letaliteit bij 30% zuurstof gedurende 10 minuten. Deze waarden zijn gebaseerd op de veronderstelling dat ontsteking nodig is (ontstekingskans voor een persoon 0,01 in één minuut, bij benadering 0,1 in 10 minuten), en de kleding niet tijdig gedoofd kan worden (kans op niet-doven is 1 bij 40% en 0,1 bij 30%).
- De schadecriteria voor zuurstofverarming zijn 100% letaliteit bij 10% zuurstof gedurende 10 minuten en 1% letaliteit bij 14% zuurstof gedurende 10 minuten.
- Het RIVM is betrokken bij het opstellen van AEGL grenswaarden voor asphyxie (zuurstofverarming). De AEGL-3 waarde ligt naar verwachting in de orde van 14 – 16%.

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

CONCEPT

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

Tabel 11 Relatie tussen letaliteit, concentratie zuurstof in lucht en tijdsduur op basis van de probitrelatie met a = –17,8, b = 1 en n = 5,2.

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

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

3.6 Mengsels en voorbeeldstoffen

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

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

3.6.1 Vloeibare aardolieproducten K1/K2

De samenstelling van vloeibare aardolieproducten zoals benzine en kerosine, kan variëren. De milieuvergunning betreft vaak een vergunning voor K1 en/of K2 in het algemeen, zonder verdere specificatie. In de ‘modelevaluatie Buncefield’ [13] is gebleken dat n-hexaan een geschikte voorbeeldstof is voor

CONCEPT

aardoliemengsels van de klasse K1 en dat n-nonaan een geschikte voorbeeldstof is voor aardoliemengsels van de klasse K2.

3.6.2 Aardgas
De invoerwijze van aardgasmengsels bij mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen en de verantwoording hiervan is verderop beschreven.

3.6.3 Producten bij PGS-15 inrichtingen
De invoerwijze van (mengsels) van stoffen bij PGS 15 inrichtingen en de verantwoording hiervan is verderop beschreven.

CONCEPT

1.4 Subselectie

Het aantal insluitsystemen[5] binnen een inrichting waarvoor een QRA moet worden opgesteld kan erg groot zijn. Omdat niet alle insluitsystemen significant bijdragen aan het risico, is het niet zinvol om alle insluitsystemen in de QRA op te nemen. Daarom is een selectiemethode ontwikkeld, de subselectie, om de insluitsystemen aan te wijzen die het meest bijdragen aan het externe risico en dus in de QRA moeten worden opgenomen. Deze methode wordt hieronder toegelicht.

1.4.1 Doelstelling en reikwijdte

1.4.1.1 Doelstelling van de subselectie

De doelstelling van de subselectie is als volgt:

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

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

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

1.4.1.2 Reikwijdte van de subselectie

1.4.1.2.1 Verantwoordelijkheid van de subselectie en afwijkingen

De subselectie heeft een algemeen karakter en dient daarom uitsluitend als leidraad te worden gehanteerd. De insluitsystemen worden geselecteerd na overleg tussen de exploitant en het bevoegd gezag. De exploitant voert de berekeningen uit, maar de subselectie zelf is de verantwoordelijkheid van het bevoegd gezag. Deze kan dan ook besluiten insluitsystemen op te laten nemen in de QRA die niet met behulp van de hier beschreven methode zijn geselecteerd.

[5] Een insluitsysteem wordt omschreven als een of meerdere toestellen, waarvan de eventuele onderdelen blijvend met elkaar in open verbinding staan en bestemd om één of meerdere stoffen te omsluiten. Voor de subselectie is bepalend dat een Loss of Containment in één insluitsysteem niet leidt tot het vrijkomen van significante hoeveelheden gevaarlijke stof uit andere insluitsystemen (zie paragraaf 6.3.2.2).

CONCEPT

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

1.4.1.2.2 Reactieproducten en giftige verbrandingsproducten

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

- *Risico's van reactieproducten en run-away reacties.*
  Bij het evalueren van een mogelijk verlies van controle dient rekening te worden gehouden met het ontstaan van gevaarlijke reactieproducten en het optreden van run-away reacties. De insluitsystemen waarin dit kan voorkomen en de kans van optreden moeten worden beschouwd in de QRA. Het ontstaan van onvoorziene, gevaarlijke reactieproducten wordt niet beoordeeld in de subselectie.

- *Opslagen van gevaarlijke stoffen die vallen onder de richtlijn PGS 15.*
  Bij PGS 15 opslagplaatsen is het voornaamste risico het ontstaan van giftige verbrandingsproducten tijdens een brand in de betreffende opslag. Omdat de bijdrage van deze opslagen significant kan zijn voor de externe risico's, dienen deze opslagplaatsen altijd te worden meegenomen in de QRA. Een opslagplaats kan weggelaten worden uit de QRA wanneer gevaarlijke stoffen in hoeveelheden kleiner dan 10 ton en bestrijdingsmiddelen in hoeveelheden kleiner dan 400 kg worden opgeslagen. Ook wanneer op basis van berekende effectafstanden of met de standaard risicoafstanden uit de Regeling Externe Veiligheid Inrichtingen (Revi) [22] kan worden onderbouwd dat de bijdrage van een opslagplaats aan het externe risico van de inrichting verwaarloosbaar is, kan de betreffende opslagplaats worden weggelaten uit de QRA.

1.4.1.2.3 Bulkverladingsactiviteiten

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

CONCEPT

Er zijn situaties waarin een ketelwagen alleen als opslagreservoir wordt gebruikt en een procesinstallatie direct gevoed wordt vanuit de transporteenheid. In een dergelijk geval moet de ketelwagen voor de subselectie als opslagreservoir worden beschouwd en als zodanig meegenomen worden in de subselectie.

1.4.1.2.4 Uitsluiting van bepaalde stoffen

De subselectie is alleen toepasbaar voor giftige stoffen, ontvlambare gevaarlijke stoffen en ontplofbare stoffen. Voor deze stoffen zijn grenswaarden opgenomen (zie paragraaf 0). Voor de aanwijzing van andere stoffen, zoals de gekoelde opslag van (zeer) grote hoeveelheden stikstof, zuurstof of kooldioxide, is de subselectie niet geschikt. Wanneer deze stoffen aanwezig zijn dienen over de beschouwing ervan met het bevoegd gezag afspraken te worden gemaakt. Op basis hiervan kan bijvoorbeeld besloten worden dat een opslag met een grote hoeveelheid stikstof wordt meegenomen in de QRA.

1.4.2 De subselectie

1.4.2.1 De subselectie op hoofdlijnen

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

1. De inrichting wordt verdeeld in insluitsystemen met gevaarlijke stoffen (zie paragraaf 1.4.2.2).

2. Op basis van effectafstanden vindt een selectie plaats van insluitsystemen waarvan de effecten tot buiten de terreingrens[6] raken (zie paragraaf 1.4.2.3). Deze insluitsystemen dragen bij aan de externe risico's en worden meegenomen in de QRA.

3. Wanneer meer dan vijf insluitsystemen via de effectbenadering worden geselecteerd, kan er vervolgens een verdiepingsstap worden gemaakt om het aantal insluitsystemen dat moet worden meegenomen in de QRA te reduceren. Dit vindt plaats op basis van de soort en hoeveelheid stof in een insluitsysteem en de heersende procescondities. Hiervoor wordt per insluitsysteem een aanwijzingsgetal en selectiegetal berekend (zie paragraaf 1.4.2.4).

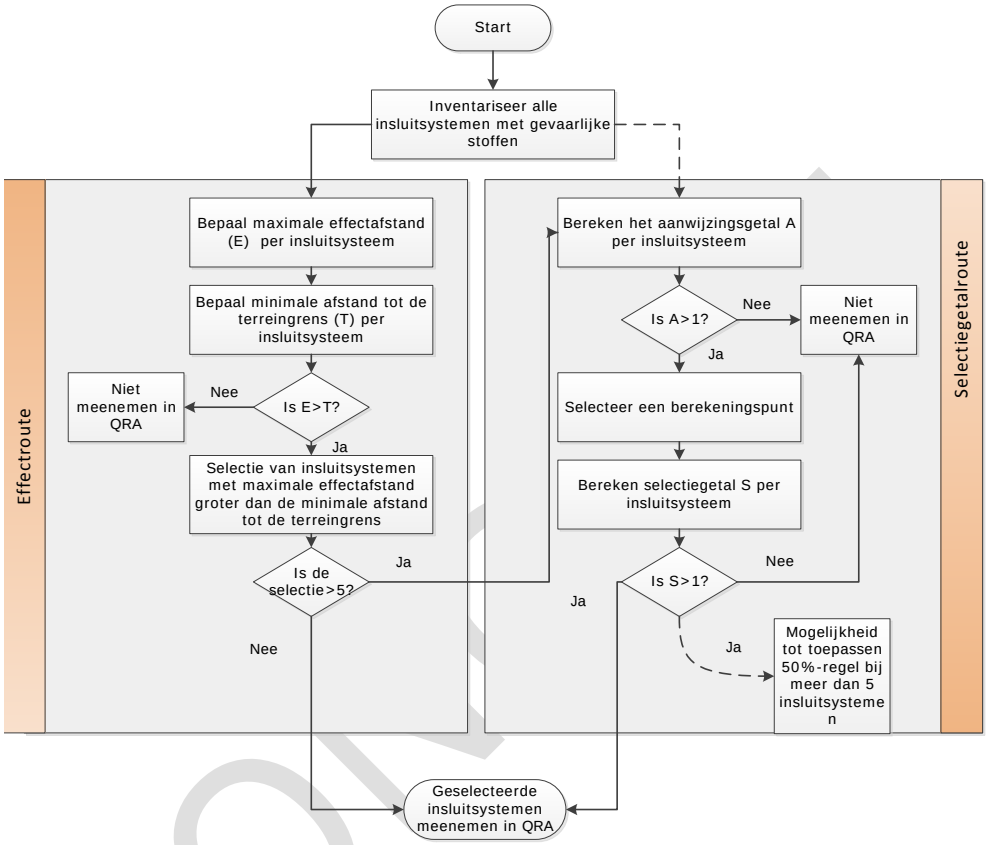
Bedrijven met meer dan 5 insluitsystemen kunnen ervoor kiezen stap 2 (de effectbenadering) over te slaan en direct via de aanwijzings- en selectiegetallen de subselectie uit te voeren. Hierbij moeten wel alle insluitsystemen worden beschouwd. Ook kan er voor gekozen worden om alle insluitsystemen met

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

CONCEPT

effectafstanden buiten de terreingrens mee te nemen in de QRA, zonder de aanwijzings- en selectiegetallen te berekenen.

In Figuur 6 is de subselectie schematisch weergegeven.



Figuur 6 Schematische weergave van de subselectie. Bedrijven met meer dan vijf insluitsystemen kunnen direct de selectiegetalroute volgen, zoals aangegeven.

1.4.2.2 Verdeling van een inrichting in insluitsystemen

1.4.2.2.1 Definitie insluitsysteem

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

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

Een Loss of Containment in één insluitsysteem leidt niet tot het vrijkomen van significante hoeveelheden gevaarlijke stof uit andere insluitsystemen.[7]

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

1.4.2.2.2 Begrenzing van insluitsystemen

Voor de praktische invulling van het definiëren van insluitsystemen in een inrichting kan gebruik worden gemaakt van de volgende leidraad[8].

Een insluitsysteem wordt omschreven als een of meerdere toestellen, waarvan de eventuele onderdelen blijvend met elkaar in open verbinding staan en bestemd om één of meerdere stoffen te omsluiten. De grenzen van een insluitsysteem worden vastgelegd door de hoeveelheid stof te bepalen die bij Loss of Containment van enig onderdeel van dat insluitsysteem naar de omgeving wegstroomt: als bij de Loss of Containment toestroming plaatsvindt via kleppen, pompen en andere werktuigen vanuit andere ruimten dan behoren die ruimten tot het beschouwde insluitsysteem.
Systeembegrenzers zijn alle organen die gezien hun aard en functie de verbinding met andere insluitsystemen binnen een installatie sluiten bij het vrijkomen van de inhoud van het beoogde insluitsysteem. Zonder uitputtend te zijn worden daaronder begrepen reciprocerende pompen en compressoren (geen roterende), regelkleppen die automatisch sluiten, intermitterende spuikleppen en afsluiters die bij de kenmerkende bedrijfssituatie gesloten zijn of in korte tijd op afstand gesloten worden. Afsluiters die normaal geheel geopend zijn en in de faalsituatie niet dichtsturen kunnen derhalve *niet* als systeembegrenzers worden beschouwd. Beveiligingsafsluiters die de toestroming vanuit andere insluitsystemen (automatisch) in korte tijd blokkeren, worden wel als systeembegrenzers beschouwd, ook wanneer deze beveiligingsafsluiters bij de kenmerkende bedrijfssituatie geheel zijn geopend.
De lijn kan ook worden doorgetrokken naar combinaties van organen die met elkaar hetzelfde doel bereiken. In deze situaties dient door de bevoegde instantie te worden vastgesteld of een dergelijke afsluiter als systeembegrenzer kan worden aangemerkt.

Tabel 12 biedt een overzicht van wat bepalend is voor de begrenzing van een insluitsysteem.

Opmerkingen:

1. Een doorstroombegrenzer blijft open bij een uitstroomdebiet onder de instelwaarde. Wanneer een debiet onder de instelwaarde een significante

[7] Domino-effecten, bijvoorbeeld ten gevolge van brand en explosie, worden hierbij niet meegenomen.
[8] De hier genoemde richtlijnen zijn gebaseerd op een werkinstructie van Shell Nederland

CONCEPT

uitstroming betekent, is de doorstroombegrenzer niet te beschouwen als een systeembegrenzer.

2. Het is mogelijk meerdere insluitsystemen te combineren tot één groter insluitsysteem. Het combineren van insluitsystemen mag er echter niet toe leiden dat andere insluitsystemen ten onrechte niet worden geselecteerd voor de QRA.

CONCEPT

Tabel 12 Kenmerken van insluitsystemen en hun onderdelen

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

1.4.2.3 Selectie op basis van effectafstanden

Insluitsystemen die, wanneer een Loss of Containment (LOC) plaatsvindt, kunnen leiden tot een effect[9] buiten de terreingrens van de inrichting dragen bij aan de externe risico's. Daarnaast geldt natuurlijk dat alle insluitsystemen die niet tot een effect buiten de inrichting kunnen leiden, geen bijdrage leveren aan de externe risico's.
De selectie op basis van effectafstanden bestaat uit de volgende stappen:

1. Bepaal per insluitsysteem de maximale effectafstand (E), dat wil zeggen de grootste afstand tot 1% letaliteit. Deze afstand wordt bepaald voor de meteorologische situaties D5 of F1,5[10] in combinatie met het ongunstigste

[9] acute sterfte ten gevolge van blootstelling aan giftige stoffen, warmtestraling of overdruk
[10] De meteorologische situatie D5 betekent stabiliteitsklasse D en windsnelheid 5 m/s. In het algemeen wordt voor giftige stoffen de grootste effectafstand gevonden voor stabiel weer, dat wil zeggen weerklasse F1,5 (stabiliteitsklasse F en windsnelheid 1,5 m/s).

CONCEPT

scenario, namelijk het instantaan vrijkomen van de gehele inhoud van het insluitsysteem of het vrijkomen van de gehele inhoud in 10 minuten. Hiertoe moet bij voorkeur gebruik worden gemaakt van het rekenpakket SAFETI-NL.

2. Bepaal per insluitsysteem de minimale afstand tot de terreingrens (T).

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

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

1.4.2.4 Selectie op basis van selectiegetallen

1.4.2.4.1 Methode op hoofdlijnen

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

1. Van elk insluitsysteem wordt het intrinsieke gevaar bepaald, dat voortkomt uit de hoeveelheid aanwezige stof, de procescondities en de gevaarlijke eigenschappen van de stof. Het aanwijzingsgetal A is een maat voor het intrinsieke gevaar en wordt berekend volgens de in paragraaf 1.4.2.4.2 beschreven procedure.

2. Het gevaar van een insluitsysteem wordt berekend voor een aantal punten in de nabijheid van de inrichting. Het gevaar op een willekeurig punt wordt afgeleid uit het aanwijzingsgetal en de afstand tussen dat punt en het insluitsysteem, en uitgedrukt in een selectiegetal S; dit getal wordt volgens de in paragraaf 1.4.2.4.3 beschreven procedure berekend.

3. Insluitsystemen worden aangewezen voor een QRA wanneer het selectiegetal een bepaalde waarde overschrijdt. Wanneer het aantal aangewezen insluitsystemen omvangrijk is (groter dan vijf) bestaat de mogelijkheid om via de '50%-regel' het aantal aangewezen systemen te reduceren (zie paragraaf 1.4.2.4.4).

CONCEPT

1.4.2.4.2 Aanwijzingsgetal A

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

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

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

waarbij:

Q	de in het insluitsysteem aanwezige hoeveelheid stof (kg)
O_1, O_2, O_3	de factoren voor de procescondities (-)
G	de grenswaarde (kg).

Hoeveelheid stof, Q

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

- Mengsels en preparaten kunnen in twee groepen worden ingedeeld: (1) een gevaarlijke stof in een niet-gevaarlijke oplossing en (2) een mengsel van gevaarlijke stoffen.
  1. Indien een gevaarlijke stof is opgelost in een niet-gevaarlijke stof, hoeft alleen te worden gekeken naar de hoeveelheid gevaarlijke stof. Voorbeelden zijn ammoniak in water en chloorwaterstof in water. Mengsels en preparaten van giftige stoffen moeten bij het subselectieproces alleen worden beschouwd als ze te boek staan als (zeer) giftig.
  2. Indien een mengsel van meerdere gevaarlijke stoffen zijn eigen fysische, chemische en giftige eigenschappen heeft, moet het op dezelfde wijze worden behandeld als zuivere stoffen.

- Wanneer gevaarlijke stoffen als kleine verpakkingseenheden op één plaats worden opgeslagen en wanneer het waarschijnlijk is dat er uit een groot aantal verpakkingseenheden tegelijkertijd stoffen zullen vrijkomen, moet de totale hoeveelheid van de opgeslagen stof worden beschouwd.

- Opslagreservoirs kunnen worden gebruikt om verschillende stoffen op verschillende tijdstippen op te slaan. In de subselectie dient gerekend te worden met dezelfde stoffen en stofhoeveelheden als in de QRA. Bepalend

CONCEPT

voor de QRA berekening is de vergunde situatie. Wanneer grote hoeveelheden van verschillende stoffen worden opgeslagen, wordt gebruik gemaakt van voorbeeldstoffen in de QRA. Gerekend wordt dan met de vergunde stof dan wel de voorbeeldstof van de gevaarlijkste vergunde categorie.

Procescondities, O1 – O3

Drie verschillende factoren worden gehanteerd om de procescondities te verdisconteren:

O_1 factor voor het type insluitsysteem: proces of opslag
O_2 factor voor de ligging van het insluitsysteem
O_3 factor voor de hoeveelheid stof in dampfase na vrijkomen, afhankelijk van de procestemperatuur, het atmosferisch kookpunt, de fasetoestand van de stof en de omgevingstemperatuur.

De factoren voor procescondities gelden alleen voor giftige en ontvlambare stoffen; voor ontplofbare stoffen geldt: $O_1 = O_2 = O_3 = 1$.

De factor O_1 (zie Tabel 13) staat voor het type insluitsysteem: proces of opslag.

Tabel 13 Factor O1 voor het type insluitsysteem

Type	**O_1**
Proces	1
Opslag	0,1

De factor O_2 (zie Tabel 14) staat voor de ligging van het insluitsysteem en de aanwezigheid van voorzieningen die de verspreiding van stoffen in de omgeving tegengaan.

Tabel 14 Factor O_2 voor de ligging van het insluitsysteem

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

Opmerkingen:

CONCEPT

1. Voor opslag is de procestemperatuur gelijk aan de opslagtemperatuur.

2. Het verschil tussen buiten- en binnenligging wordt bepaald door de aanwezigheid en effectiviteit van de omhulling. Voor binnen geldt dat de omhulling van het insluitsysteem dient te voorkomen dat stoffen in de omgeving worden verspreid. Dit betekent (a) dat de omhulling bestand moet zijn tegen de fysieke belasting die ontstaat wanneer de inhoud van het insluitsysteem instantaan vrijkomt en (b) dat de omhulling de directe afgifte in de atmosfeer aanzienlijk beperkt. Indien de omhulling de afgifte in de atmosfeer met meer dan een factor 5 reduceert of wanneer de omhulling de vrijgekomen stoffen veilig afvoert, dan spreken we van een binnenligging. Zo niet, dan hebben we te maken met een buiten gelegen insluitsysteem. Dit betekent bijvoorbeeld dat een insluitsysteem met een gevaarlijk gas dat is geplaatst in een gebouw met openingen naar buiten als buiten gelegen moet worden beschouwd.

3. Een tankput moet voorkomen dat vloeistoffen zich vrijelijk in de omgeving verspreiden.

4. Een tweede omhulling die de vloeistof kan bevatten en die alle mogelijke belastingen weerstaat, wordt beschouwd als een tankput: O_2 = 0,1. Dit geldt voor dubbel omsloten atmosferische tanks (double containment), volledig omsloten atmosferische tanks (full containment), membraamtanks, ingegraven atmosferische tanks en ingeterpte atmosferische tanks.

De factor O_3 (zie Tabel 15) is een maat voor de hoeveelheid vrijgekomen stof in gasfase.

Tabel 15 Factor O_3 voor de procescondities

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

Opmerkingen:

1. Voor opslag is de procestemperatuur gelijk aan de opslagtemperatuur.

2. Drukwaarden zijn absoluut.

CONCEPT

3. Factor X neemt lineair toe van 1 tot 10 naarmate de verzadigingsdruk bij procestemperatuur P_{sat} stijgt van 1 naar 3 bar. In formulevorm, waar P_{sat} wordt uitgedrukt in bar:

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

4. P_i is gelijk aan de partiële dampspanning (in bar) van de stof bij procestemperatuur.

5. Als de stof zich in vloeibare fase bevindt, wordt een hoeveelheid Δ toegevoegd om de extra verdamping als gevolg van de warmtestroom vanuit de omgeving naar de vloeistofplas te verdisconteren. De waarde van Δ (zie Tabel 16) wordt uitsluitend bepaald door het atmosferisch kookpunt T_{kook}.

Tabel 16 Toegevoegde Δ voor de extra verdamping van de vloeistof

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

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

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

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

Grenswaarde G

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

Ontplofbare stoffen[11]

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

CONCEPT

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

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

Ontvlambare stoffen
De grenswaarde voor ontvlambare stoffen bedraagt 10.000 kg.

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

Giftige stoffen
De grenswaarde voor giftige stoffen (Tabel 17) wordt bepaald door de letale concentratie LC_{50}(rat, inh., 1u) en de fasetoestand bij 25 °C.

CONCEPT

b. stoffen en preparaten die ernstig ontploffingsgevaar opleveren door schok, wrijving, vuur of andere ontstekingsoorzaken (waarschuwingszin R3).

Tabel 17 Grenswaarde G voor giftige stoffen

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

CONCEPT

Opmerkingen:

1. De fasetoestand van de stof (gas, vloeibaar en vast) veronderstelt een temperatuur van 25°C. Verder geldt voor vloeistoffen de volgende onderverdeling:
   - Vloeistof (ZL): atmosferisch kookpunt T_{kook} < 40°C
   - Vloeistof (L): 40° $_{kook}$ < 80°C
   - Vloeistof (M): 80° $_{kook}$ < 120°C
   - Vloeistof (H): 120° $_{kook}$ < 160°C

– Vloeistof (ZH): 160°C kook

2. LC_{50}(rat, inh., 1u) is de LC_{50}-waarde voor ratten die gedurende 1 uur via inhalatie worden blootgesteld aan stoffen. Voor een aantal giftige stoffen is deze waarde te vinden in de stofdocumenten [23]. Wanneer daar geen LC_{50} waarde beschikbaar is, geeft de lijst toxiciteitsgegevens uit Serida LC_{50} waarden [24]..

Berekening van het aanwijzingsgetal

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

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

waarbij:

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

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

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

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

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

Een insluitsysteem kan dus maximaal drie verschillende aanwijzingsgetallen krijgen.

Opmerking:

1. Indien een stof tot meerdere stofcategorieën behoort, wordt voor iedere categorie apart een aanwijzingsgetal berekend. Dus als een stof zowel giftig als ontvlambaar is, worden er twee aanwijzingsgetallen $A_{i,p}$ berekend:

CONCEPT

- $A^{T}_{i,p}$ voor de stof als giftige stof, waarbij gebruik wordt gemaakt van de totale hoeveelheid Q_i, en de grenswaarde G^{T}_{i}, corresponderend met de giftige eigenschappen.
- $A^{F}_{i,p}$ voor de stof als ontvlambaar stof, waarbij gebruik wordt gemaakt van de totale hoeveelheid Q_i, en de corresponderende grenswaarde voor ontvlambare stoffen, G^{F}_{i}.

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

1.4.2.4.3 Berekening van het selectiegetal S

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

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

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

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

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

Het selectiegetal moet voor iedere insluitsysteem worden berekend op ten minste acht punten op de terreingrens. De afstand tussen twee naast elkaar gelegen punten mag niet groter zijn dan 50 meter. Het selectiegetal moet worden berekend voor de terreingrens van de inrichting zelf (zie voetnoot 6). Indien de inrichting grenst aan oppervlaktewater, dan wordt het selectiegetal berekend aan de overzijde van het water.

Opmerking

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

CONCEPT

1.4.2.4.4 Selectie van insluitsystemen

Een insluitsysteem wordt opgenomen in een QRA indien:

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

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

- Een insluitsysteem wordt opgenomen in een QRA indien het selectiegetal van een insluitsysteem groter is dan één op een punt op de terreingrens van de inrichting (of op de tegenover de inrichting gelegen oever) en groter is dan 50% van het grootste berekende selectiegetal van alle insluitsystemen op dit punt.

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

1. Voor elk punt op de terreingrens worden ten minste drie[12] insluitsystemen met een selectiegetal groter dan één geselecteerd.

2. De toepassing van de 50%-regel moet inzichtelijk worden gemaakt door per punt op de terreingrens aan te geven welke insluitsystemen worden geselecteerd en welke insluitsystemen met een selectiegetal groter dan één niet worden geselecteerd.

3. Insluitsystemen met een verwaarloosbaar kleine faalfrequentie (kleiner dan 1×10^{-8} per jaar) moeten buiten beschouwing worden gelaten bij de toepassing van de 50%-regel. Hetzelfde geldt voor insluitsystemen met voor de externe veiligheid verwaarloosbare effecten als gevolg van aanwezige voorzieningen.

4. Er worden voor een inrichting minimaal vijf insluitsystemen geselecteerd voor de QRA.

Opmerkingen:

1. Effectafstanden van giftige stoffen kunnen aanzienlijk groter zijn dan de effectafstanden van ontvlambare stoffen. Het kan daarom voorkomen dat op de terreingrens het risico bepaald wordt door de ontvlambare stoffen, terwijl op grotere afstand van de inrichting ook de giftige stoffen een aanzienlijke bijdrage aan het risico geven. Indien met de beschreven methode alleen insluitsystemen met ontvlambare stoffen worden

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

CONCEPT

geselecteerd, terwijl ook giftige stoffen aanwezig zijn met een selectiegetal in dezelfde orde van grootte als het maximum berekende (ontvlambare) selectiegetal, dan moet ook het insluitsysteem met giftige stoffen in de QRA worden opgenomen.

2. Wanneer binnen een inrichting alle selectiegetallen kleiner zijn dan 1, mag niet worden geconcludeerd dat er helemaal geen QRA hoeft worden uitgevoerd (zie paragraaf 1.4.2.5.3).

3. Het is mogelijk minder dan vijf insluitsystemen mee te nemen in een QRA, wanneer voor de andere insluitsystemen op basis van effectberekeningen is aangetoond dat de effecten niet buiten de inrichting reiken.

1.4.2.5 Specifieke aandachtspunten voor de toepassing van de subselectie

1.4.2.5.1 Ontvlambare vloeistoffen

De grenswaarde voor ontvlambare vloeistoffen is gelijk voor K1- en K2-vloeistoffen, hoewel de ontstekingskans en het risico aanzienlijk kunnen verschillen. De subselectie mag er niet toe leiden dat opslagtanks met K1 vloeistof worden weggelaten uit de QRA door de aanwezigheid van opslagtanks met K2-vloeistof of door de aanwezigheid van opslagtanks met stoffen die een procestemperatuur hebben die gelijk is aan of hoger is dan het vlampunt.

1.4.2.5.2 Transportleidingen

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

CONCEPT

Transportleidingen met vloeistoffen

Transportleidingen met vloeistoffen kunnen in de subselectie meegenomen worden. De aanwezige hoeveelheid is gelijk aan de hoeveelheid in de ingeblokte leiding met een minimum van 250[13] meter. De factoren O_1 – O_3 zijn van toepassing. Een transportleiding binnen de inrichting moet worden beschouwd als een proceseenheid, O_1 = 1. De factoren O_2 en O_3 zijn vermeld in Tabel 14 en Tabel 15. Een ondergrondse transportleiding binnen de inrichting geldt als binnen (O_2 = 0,1).

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

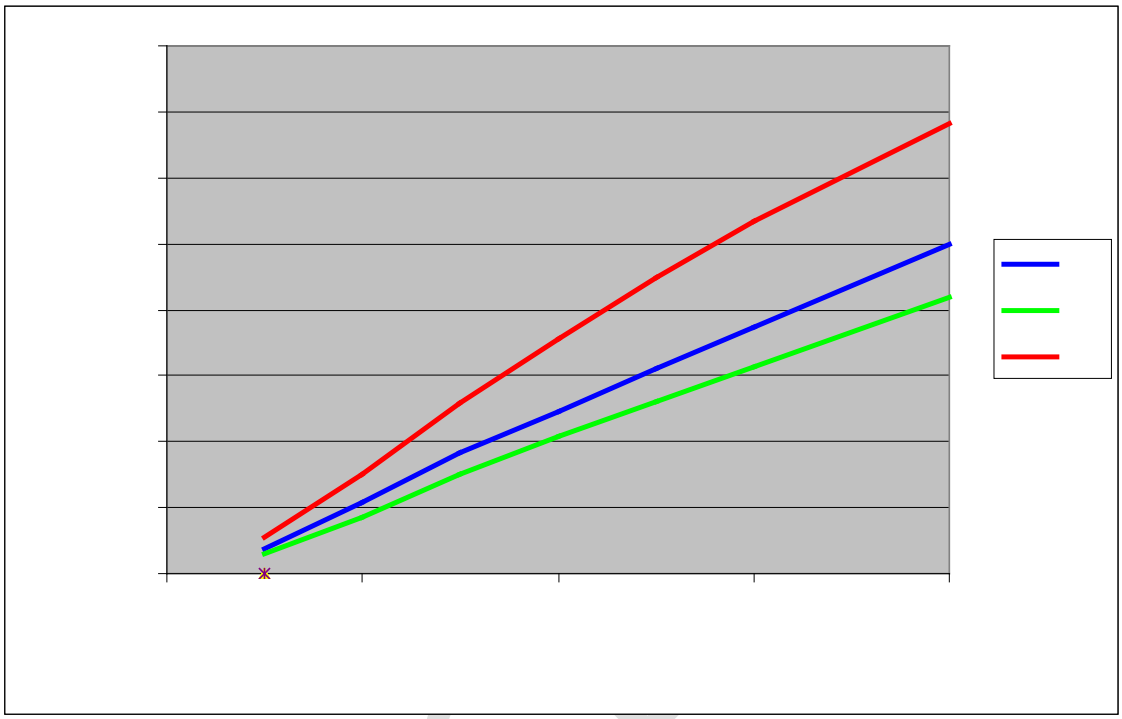
Een transportleiding binnen de inrichting die wordt geselecteerd op basis van het selectiegetal van een of meer ontsnappingspunten, dient in haar geheel te worden opgenomen in de QRA.

Transportleidingen met (tot vloeistof verdichte) gassen

Transportleidingen met giftige (tot vloeistof verdichte) gassen moeten standaard in de QRA worden opgenomen, tenzij wordt aangetoond dat de leiding niet significant bijdraagt aan het risico, bijvoorbeeld op basis van effectafstanden. Voor transportleidingen met ontvlambare (tot vloeistof verdichte) gassen zijn effectafstanden opgenomen in Figuur 7.

CONCEPT

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



Figuur 7 Effectafstand van leidingen met ontvlambare koolwaterstoffen van het type C2, C3 en C4

CONCEPT

1.4.2.5.3 Gebruik van resultaten uit de subselectie

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

- Alle effectafstanden liggen binnen de terreingrens van de inrichting.
  Wanneer uit de vaststelling van de maximale effectafstanden per insluitsysteem naar voren komt, dat bij geen enkel insluitsysteem de effecten over de terreingrens liggen, dan is de conclusie dat geen van de insluitsystemen een bijdrage levert aan het externe risico. Als dat zo is hoeft er voor de betreffende inrichting geen QRA te worden uitgevoerd.

- Alle aanwijzingsgetallen en selectiegetallen zijn kleiner dan of gelijk aan 1.
  Wanneer uit de berekening van de aanwijzingsgetallen en de selectiegetallen blijkt dat voor alle insluitsystemen de berekende getallen kleiner zijn dan of gelijk aan 1, dan mag niet de conclusie worden getrokken dat een QRA niet hoeft te worden uitgevoerd. Dit mag alleen als de effectafstanden binnen de terreingrens liggen. De resultaten van de subselectie kunnen in dit geval wel worden gebruikt om de vijf belangrijkste insluitsystemen aan te wijzen voor het doen van de effectberekeningen dan wel voor de QRA.

1.4.3 Voorbeeld

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

1.4.3.1 Beschrijving van de inrichting en de insluitsystemen

Een inrichting omvat vijf afzonderlijke insluitsystemen; het terrein is rechthoekig tussen het punt linksonder (–400 m, –200 m) en het punt rechtsboven (+300 m, +300 m). De insluitsystemen I_1 – I_5 zijn weergegeven in Tabel 18.

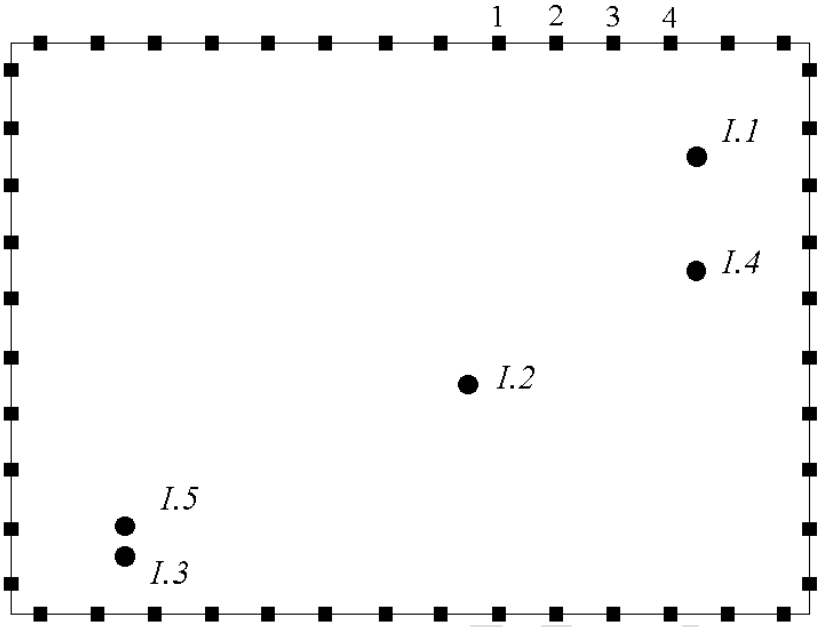
CONCEPT

Tabel 18 Insluitsystemen I1 – I5 op het terrein

Nr	Punt	Proces
I_1	(200, 200)	Proceseenheid binnen, met 2100 kg zuiver chloor bij een procestemperatuur van 35°C (dampspanning 10 bar)
I_2	(0, 0)	Proceseenheid buiten. Het insluitsysteem bevat verscheidene ontvlambare stoffen bij verschillende procescondities:
		Ethyleen 200.000 kg, vloeibaar bij –30°C (dampspanning 20 bar) Ethaan 100.000 kg, gas bij 80°C Butaan 10.000 kg, gas bij 30°C Propyleen 10.000 kg, vloeibaar bij –35°C (dampspanning 1,75 bar) Propaan 50.000 kg, vloeibaar bij 80°C (dampspanning 31 bar)
I_3	(–300, –150)	Opslag voor zuiver chloorwaterstof. De opslag ligt buiten en bevat 4500 kg bij een temperatuur van 25°C (dampspanning 47 bar).
I_4	(200, 100)	Proceseenheid binnen, waar 10.000 kg van een 30% zoutzuuroplossing in water bij een temperatuur van 100°C wordt verwerkt (vloeibaar, partiële dampspanning chloorwaterstof P_i = 1,1 bar).
I_5	(–300, –125)	Een buiten gelegen proceseenheid met zuiver ammoniak (gas, 12.000 kg), een 60% ammoniakoplossing in water (9000 kg oplossing bij 43°C, met een partiële dampspanning P_i = 9,4 bar). In het insluitsysteem wordt benzine gebruikt (1000 kg) bij een temperatuur van 150°C.

De ligging van de insluitsystemen en de terreingrens zijn gegeven in Figuur 8.

CONCEPT



Figuur 8 Ligging van de insluitsystemen (I1 – I5) op het terrein van de inrichting en de punten op de grens van de inrichting (weergegeven door vierkantjes) waar de selectiegetallen zijn berekend. De locaties 1, 2, 3, … corresponderen met de punten in Tabel 22*.*

1.4.3.2 Berekening van het aanwijzingsgetal

1.4.3.2.1 Insluitsysteem I_1

Insluitsysteem I_1 is een proceseenheid (O_1 = 1) in een gebouw (O_2 = 0,1). Eén stof, chloor, is aanwezig in een hoeveelheid Q = 2100 kg. De dampspanning van chloor is groter dan 3 bar (O_3 = 10). Chloor is een giftige stof; in gasfase bij 25°C; LC_{50}(rat, inh., 1u) = 866 mg/m^3 [24]. De grenswaarde is G = 300 kg, zodat A^T_1 = 7.

1.4.3.2.2 Insluitsysteem I_2

Insluitsysteem I_2 is een procesinsluitsysteem (O_1 = 1) buiten het gebouw (O_2 = 1). Er zijn vijf verschillende combinaties van stoffen en procescondities, zoals te zien is in Tabel 19.

Tabel 19 Combinaties van stoffen en procescondities bij Insluitsysteem I_2

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

Propaan	50.000 kg	10	10.000 kg	50	5

Opmerkingen:

1. Ethyleen is een ontvlambare stof met een dampspanning groter dan 3 bar onder de procescondities.

2. Ethaan is een ontvlambare stof in gasfase onder de procescondities.

3. Butaan is een ontvlambare stof in gasfase onder de procescondities.

4. Propyleen is een ontvlambare stof met een dampspanning P_i van 1,75 bar bij de procestemperatuur T_p = –35°C. Dus X = 4,5 × 1,75 – 3,5 = 4,4. Het kookpunt T_{kook} is gelijk aan –48°C. Dus Δ = 1 en O_3 = 5,4.

5. Propaan is een ontvlambare stof met een dampspanning groter dan 3 bar onder de procescondities.

1.4.3.2.3 Insluitsysteem I_3

Insluitsysteem I_3 is bestemd voor opslag (O_1 = 0,1) en ligt buiten (O_2 = 1). De aanwezige hoeveelheid chloorwaterstof (Q) bedraagt 4500 kg. De dampspanning van chloorwaterstof is 47 bar (O_3 = 10). Chloorwaterstof is een giftige stof, in gasfase bij 25°C; LC_{50}(rat, inh., 1u) = 4746 mg/m^3 [24] zodat de grenswaarde G = 3000 kg en A^T_3 = 1,5.

1.4.3.2.4 Insluitsysteem I_4

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

CONCEPT

1.4.3.2.5 Insluitsysteem I_5

Insluitsysteem I_5 is een procesinsluitsysteem (O_1 = 1) en ligt buiten (O_2 = 1). Drie combinaties van stoffen en procescondities zijn aanwezig. Omdat ammoniak in een QRA alleen als giftig wordt meegenomen, is alleen het giftige aanwijzingsgetal van belang. De combinaties van stoffen en procescondities zijn weergegeven in Tabel 20.

Tabel 20 Combinaties van stoffen en procescondities bij Insluitsysteem I_5

Stof	**Q**	**O_3**	**G**	**A^F**	**A^T**	**Opm.**
Ammoniak, zuiver	12.000 kg	10	3.000 kg		40	1
Ammoniak, oplossing	5400 kg	10	3.000 kg		18	2
Benzine	1000 kg	10	10.000 kg	1		3

Opmerkingen:

1. Ammoniak is onder de procescondities een gas. De grenswaarde voor deze giftige stof bedraagt 3000 kg omdat ammoniak een gas is bij 25°C; LC_{50}(rat, inh., 1u) = 6000 mg m^{-3} [24].

2. De hoeveelheid ammoniak, Q, in de oplossing bedraagt 60% van 9000 kg = 5400 kg. Aangezien de partiële dampspanning groter is dan 3 bar, is O_3 = 10.

3. Benzine is een ontvlambare stof. De procestemperatuur is hoger dan het 10%-punt. De dampspanning bij 150°C moet worden bepaald. In het voorbeeld nemen we aan dat het groter dan 3 bar is, zodat O_3 = 10.

1.4.3.2.6 Overzicht aanwijzingsgetallen

Een overzicht van de aanwijzingsgetallen is opgenomen in Tabel 21.

Tabel 21 Aanwijzingsgetallen van de insluitsystemen

Inst	**Stof**	**Type**	**O_1**	**O_2**	**O_3**	**Q**	**G**	**A_i**
I_1	Chloor	T	1	0.1	10	2100 kg	300 kg	7
I_2	Ethyleen	F	1	1	10	200.000 kg	10.000 kg	200
	Ethaan	F	1	1	10	100.000 kg	10.000 kg	100
	Butaan	F	1	1	10	10.000 kg	10.000 kg	10
	Propyleen	F	1	1	5,4	10.000 kg	10.000 kg	5,4
	Propaan	F	1	1	10	50.000 kg	10.000 kg	50
I_3	HCl	T	0,1	1	1	45.000 kg	3000 kg	1,5
I_4	30%-HCl	-	-	-	-	-	-	-
I_5	Ammoniak (g)	T	1	1	10	12.000 kg	3000 kg	40
	Ammoniak (v)	T	1	1	10	5400 kg	3000 kg	18
	Benzine	F	1	1	10	1000 kg	10.000 kg	1

De aanwijzingsgetallen voor de verschillende insluitsystemen zijn:

CONCEPT

insluitsysteem I_1	$A^T = 7$
insluitsysteem I_2	$A^F = 365$
insluitsysteem I_3	$A^T = 1,5$
insluitsysteem I_5	$A^T = 58$, $A^F = 1$

CONCEPT

1.4.3.3 Berekening van het selectiegetal

Het selectiegetal moet worden berekend voor punten op de terreingrens. In dit geval zijn 48 punten op de terreingrens geselecteerd, met een onderlinge afstand van 50 meter (zie Figuur 8). Het selectiegetal is berekend voor de afstand van ieder punt tot het insluitsysteem (minimaal 100 meter). De resultaten zijn weergegeven in Tabel 22

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

CONCEPT

Tabel 22 Selectiegetallen bij de geselecteerde punten

CONCEPT

nr	X (m)	Y (m)	S_1 A_1^T = 7	S_2 A_2^F= 365	S_3 A_3^T = 1,5	S_5 A_5^T = 58
1	25	300	**1,7**	**13,4**	0,0	**2,0**
2	75	300	**2,7**	**12,3**	0,0	**1,8**
3	125	300	**4,5**	**10,6**	0,0	**1,6**
4	175	300	**6,6**	**8,7**	0,0	**1,4**
5	225	300	**6,6**	**6,9**	0,0	**1,3**
6	275	300	**4,5**	**5,4**	0,0	**1,1**
7	300	275	**4,5**	**5,4**	0,0	**1,1**
8	300	225	**6,6**	**6,9**	0,0	**1,2**
9	300	175	**6,6**	**8,7**	0,0	**1,3**
10	300	125	**4,5**	**10,6**	0,0	**1,4**
11	300	75	**2,7**	**12,3**	0,0	**1,5**
12	300	25	**1,7**	**13,4**	0,0	**1,5**
13	300	-25	**1,2**	**13,4**	0,0	**1,6**
14	300	-75	0,8	**12,3**	0,0	**1,6**
15	300	-125	0,6	**10,6**	0,0	**1,6**
16	300	-175	0,5	**8,7**	0,0	**1,6**
17	275	-200	0,4	**9,3**	0,0	**1,7**
18	225	-200	0,4	**13,4**	0,1	**2,1**
19	175	-200	0,4	**19,4**	0,1	**2,5**
20	125	-200	0,4	**27,8**	0,1	**3,1**
21	75	-200	0,4	**37,5**	0,1	**4,0**
22	25	-200	0,4	**44,6**	0,1	**5,2**
23	-25	-200	0,3	**44,6**	0,2	**7,1**
24	-75	-200	0,3	**37,5**	0,3	**10,3**
25	-125	-200	0,3	**27,8**	0,5	**16,0**
26	-175	-200	0,2	**19,4**	0,8	**27,3**
27	-225	-200	0,2	**13,4**	**1,5**	**51,6**
28	-275	-200	0,2	**9,3**	**1,5**	**58,0**
29	-325	-200	0,2	**6,6**	**1,5**	**58,0**
30	-375	-200	0,1	**4,8**	**1,5**	**51,6**
31	-400	-175	0,1	**4,4**	**1,4**	**46,4**
32	-400	-125	0,2	**5,0**	**1,4**	**58,0**
33	-400	-75	0,2	**5,4**	**1,0**	**46,4**
34	-400	-25	0,2	**5,7**	0,6	**29,0**
35	-400	25	0,2	**5,7**	0,4	**17,8**
36	-400	75	0,2	**5,4**	0,2	**11,6**
37	-400	125	0,2	**5,0**	0,2	**8,0**
38	-400	175	0,2	**4,4**	0,1	**5,8**
39	-400	225	0,2	**3,8**	0,1	**4,4**
40	-400	275	0,2	**3,2**	0,1	**3,4**
41	-375	300	0,2	**3,3**	0,1	**3,1**
42	-325	300	0,2	**4,2**	0,1	**3,2**
43	-275	300	0,3	**5,4**	0,1	**3,2**
44	-225	300	0,4	**6,9**	0,1	**3,1**

CONCEPT

45	-175	300	0,5	**8,7**	0,1	**3,0**
46	-125	300	0,6	**10,6**	0,1	**2,7**
47	-75	300	0,8	**12,3**	0,1	**2,5**
48	-25	300	**1,2**	**13,4**	0,1	**2,3**

CONCEPT

2 Toelichting B.4 Rekenvoorschrift opslaan van vaste minerale anorganische meststoffen

2.1 Kans op brand in opslagen van meststoffen

Een belangrijke initiërende gebeurtenis voor de vorming van giftige ontledingsproducten is een brand in een opslagloods. De volgende algemene gegevens zijn beschikbaar om te komen tot een inschatting van de kans op brand in een opslagloods.

- Voor een brand hanteert de HSE een frequentie van 6×10^{-4} per jaar als de (conservatieve) beste schatting voor de start van branden die leiden tot 'meldenswaardige' incidenten in opslagen van ammoniumnitraat [25]. Het getal heeft betrekking op de periode 1961 – 1995 en is lager dan de gemiddelde waarde voor opslagen. Het getal is niet verder op te splitsen naar gemengde of specifieke opslag, kleine of grote opslag, landelijk of stedelijke omgeving, opslag bij producent of groothandel. Het aantal branden in gemengde opslagen was even groot als het aantal branden in specifieke opslagen van ammoniumnitraat; een verdeling van het aantal opslagen is niet bekend. Aangenomen wordt dat gemiddeld 10% van de opslagen met ammoniumnitraat gemengde opslagen zijn met brandbaar materiaal (combustibles) en dat de gemiddelde kans op een brand in deze gemengde opslagen een factor 10 hoger is dan de kans op brand in specifieke opslagen van ammoniumnitraat.
- De kans op brand in een chemicaliënopslag is volgens de Handleiding Risicoberekeningen Bevi gelijk aan $8{,}8 \times 10^{-4}$ per jaar. Deze kans is gebaseerd op de (zeer beperkte) casuïstiek van brand in bestrijdingsmiddelenopslagen en betreft de kans op een grote brand: branden die tijdig geblust worden en niet leiden tot emissie van giftige stoffen zijn niet verdisconteerd in dit cijfer. Aangenomen is dat in een opslag waarin geen stoffen met een hoge initiële brandkans (K1, K2 en K3 stoffen) aanwezig zijn, de kans op brand een factor 5 lager is, namelijk $1{,}8 \times 10^{-4}$ per jaar. In deze opslagen kunnen wel stoffen met een vlampunt boven 100 °C en brandbare vaste stoffen aanwezig zijn.
- In het geval van de opslag van nitraathoudende meststoffen zijn in dezelfde ruimte geen brandbare stoffen opgeslagen (PGS 7). Nitraathoudende meststoffen branden niet zelfonderhoudend. Slechts verpakkingen, pallets en de constructie zelf dragen bij aan de vuurbelasting. Blijven over brandoorzaken als kortsluiting, blikseminslag. Een extra reductiefactor op de frequentie van een brand met NO_x-vorming is derhalve plausibel.
- De kans op brand in een opslagloods (algemeen) wordt ingeschat op $9{,}7 \times 10^{-3}$ per jaar[26]. Dit getal is gebaseerd op een studie van Hymes in het Verenigd Koninkrijk over de periode 1976-1987. Dit betreft gerapporteerde branden. Een gerapporteerde brand kan escaleren tot een zeer ernstige brand (instorten van het dak), afhankelijk van het beschermingsniveau. Voor loodsen die niet voorzien zijn van een automatisch geactiveerd sprinklersysteem is de kans op een zeer ernstige brand gelijk aan $2{,}5 \times 10^{-3}$ per jaar, voor loodsen die wel voorzien zijn van een automatisch geactiveerd

CONCEPT

sprinklersysteem is de kans op een zeer ernstige brand gelijk aan $6,9 \times 10^{-4}$ per jaar.
- Het statistisch jaarboek 2001 [27] rapporteert 1400 (binnen-)branden in de categorie 'industrie, landbouw en veeteelt' (peiljaar 1999). Het aantal bedrijven in de categorie 'industrie' is 46.000, het aantal bedrijven in de categorie 'land- en tuinbouwbedrijven'[14] is 100.000. De gemiddelde kans op brand is dan in de orde van 1×10^{-2} per jaar.

Uit dit overzicht blijkt dat de kans op een (gerapporteerde) brand in een loods gelijk is aan $10^{-3} – 10^{-2}$ per jaar. De kans op een zeer ernstige brand of een brand waarbij giftige stoffen vrijkomen ligt een orde van grootte lager, $10^{-4} – 10^{-3}$ per jaar. In het geval van de opslag van ammoniumnitraathoudende meststoffen lijkt een reductiefactor voor de frequentie van een brand met giftige verbrandingsproducten gerechtvaardigd gezien de volledige afwezigheid van brandbare stoffen (ook de meststof onderhoudt een brand niet).
De kans op brand van $1,8 \times 10^{-4}$ per jaar betreft opslagen waarin geen licht ontvlambare stoffen aanwezig zijn maar wel brandbare stoffen met een vlampunt groter dan 100 ºC en/of brandbare vaste stoffen. PGS 7 verbiedt de opslag van brandbare en niet-compatibele materialen in dezelfde ruimte. Daarom wordt de kans op het ontstaan van brand met giftige ontledingsproducten in een opslag van meststoffen een factor 10 lager ingeschat, namelijk $1,8 \times 10^{-5}$ per jaar. Deze waarde is opgenomen in de rekenmethode.

2.2 Scenario's meststoffen groep 2

2.2.1 Stofeigenschappen

Meststoffen van groep 2 zijn meststoffen met een laag gehalte aan ammoniumnitraat die kunnen deflagreren doch niet kunnen detoneren onder de voorgeschreven proefcondities. De standaard proef voor het bepalen of een stof kan deflagreren is de zogenaamde 'gazen goot' proef. De samenstelling en hoeveelheid gevormde decompositiegassen, de ontstekingstemperatuur en de snelheid van decompositie zijn sterk afhankelijk van de samenstelling van de meststof. Uit het onderzoek van Kiiski komt de volgende informatie naar voren [28]:
- De gemeten decompositiesnelheid van meststoffen groep 2 met de 'gazen goot' proef varieert tussen 4,3 en 22,5 cm per uur.
- Het gewichtsverlies (%) is niet evenredig met de decompositiesnelheid. Na afloop van de ontleding is het totale gewichtsverlies typisch in de orde van 60 – 70%.
- De gemiddelde samenstelling (mol basis) van de decompositiegassen is 56% H_2O, 20% N_2, 11% N_2O, 6% Cl_2 en HCl en 7% NO_x, NH_3 en HF. Echter, de samenstelling van de decompositiegassen hangt sterk af van de samenstelling van de meststof. Een gedetailleerde analyse van de decompositiegassen is gerapporteerd voor vier verschillende meststoffen; het gehalte aan NO_x, NH_3 en HF bij elkaar varieert van 0,6 mol% tot 8,4 mol%.

[14] Inclusief veeteeltbedrijven

SCHERM

Een NPK-meststof kan direct geproduceerd worden, zodat elke korrel dezelfde chemische samenstelling heeft. Dezelfde chemische samenstelling kan ook in bulk bereikt worden door het mengen van verschillende componenten. De deflagratie-eigenschappen van een homogene NPK-meststof verschillen van die van een gemengde NPK-meststof, maar deflagratie van een gemengde meststof is niet uitgesloten [29][15].

2.2.2 Risicoanalyses

Het aantal risico-analyses van groep 2 meststoffen is beperkt. Het Veiligheidsrapport van (indertijd) Zuid-Chemie bevat een uitgebreide risico-analyse [30]. Het rapport beschrijft twee scenario's voor de ontleding van groep 2 meststoffen. De scenario's verschillen in de tijdsduur tussen het begin van de ontleding en de waarneming ervan. De scenario's zijn gebaseerd op een studie van het Centre Technique van ATOCHEM 1998.

Scenario 1 – Ontleding gedurende 3 uur
Scenario 1 gaat uit van een tijdsduur van twee uur tussen het begin van een ontleding en de waarneming. Vervolgens is een half uur nodig voor de aanvang van de bestrijding en een half uur voor de beheersing van de ontleding. De bronterm varieert van 0,13 kg s^{-1} in de eerste 10 minuten tot 2,78 kg s^{-1} in het laatste uur van de ontleding. De ontleding van 1000 kg meststof leidt tot 640 kg ontledingsgassen; de samenstelling van de vrijkomende gassen is 91,4% niet giftige gassen (waterdamp, stikstof), 4,5 vol% NO_2, 0,5 vol% Cl_2 en 3,6 vol% HCl). De emissie van de giftige gassen naar de omgeving wordt berekend met een natuurlijk ventilatievoud in de opslagplaats van 1 maal per uur en is maximaal 0,16 kg s^{-1}.

Scenario 2 – Ontleding gedurende 1,5 uur
Scenario 2 gaat uit van een tijdsduur van een half uur tussen het begin van een ontleding en de waarneming. Vervolgens is een half uur nodig voor de aanvang van de bestrijding en een half uur voor de beheersing van de ontleding. De bronterm varieert van 0,13 kg s^{-1} in de eerste 10 minuten tot 1,28 kg s^{-1} in het laatste halfuur van de ontleding De samenstelling van de vrijkomende rookgassen is gelijk aan de samenstelling bij scenario 1. De emissie van de giftige gassen naar de omgeving is maximaal 0,053 kg s^{-1}.

Als mogelijke oorzaken voor het optreden van een ontledingsreactie worden gezien:
- Aanwezigheid van het product in een (bewerkings-)apparaat met hoge temperatuur; voor een opslag wordt dit minder van toepassing geacht
- Contact van het product met een heet punt; voorbeelden zijn laswerk, vlam van een afbrander (gelimiteerd in tijd maar intens) en looplamp,

[15] "..experiments conducted by authors' companies show that some blends can be 'better' than granulated compounds. Some formulations that would be capable of self-sustaining decomposition if granulated (inside the relevant zone in the literature diagrams by 5 – 10% of one component) did not support self-sustaining decomposition when produced as blends. However, this was not always so – it must not be taken as a general rule that 'blends are better'. No generalised rules can be proposed to allow any decisions to be taken. In the absence of good predictive tools it is important that the trough test is used systematically for all new formulations as recommended in the European Blenders Association guide".

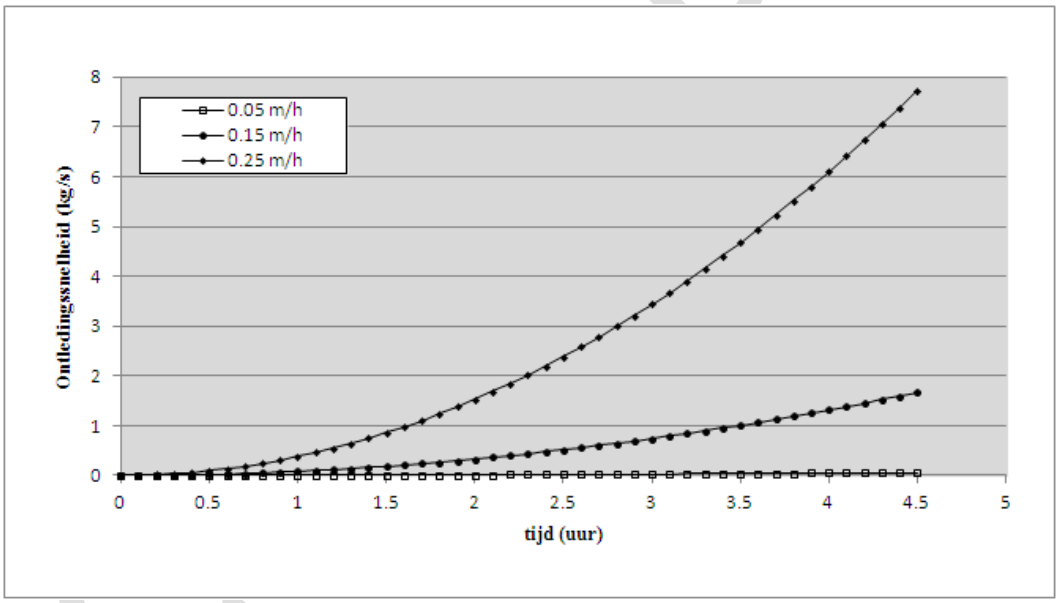
CONCEPT

kortsluiting, verhitting van een transportband door wrijving (gematigde intensiteit over een langere periode).

Een gedetailleerde studie naar kansen van optreden is niet uitgevoerd. De som van de kansen op een scenario waarin ontleding kan plaatsvinden wordt verondersteld in de range van 10^{-5} tot 10^{-6} per jaar te liggen.

2.2.3 *Berekening ontledingssnelheid*

Uitgaande van de resultaten van Kiiski [28] is een schatting gemaakt van de bronterm van een deflagratie in een opslag met groep 2 meststof. De bronterm is ingeschat op basis van de ontwikkeling van een puntontleding in het midden van een hoop, waarbij de ontleding zich verplaatst met een verticale snelheid die hoger is dan de horizontale snelheid door het vrijkomen van hete gassen. In Figuur 9 is de ontwikkeling van een ontleding weergegeven voor verschillende horizontale ontledingssnelheden. De verticale snelheid is hoger dan de horizontale snelheid en in de berekening gelijkgesteld aan 7× de horizontale ontledingssnelheid.



Figuur 9 Ontledingssnelheid (in kg s^{-1}) van groep 2 meststof voor een horizontale ontledingssnelheid van 5, 15 en 25 cm per uur; de verticale snelheid is gelijk aan 7× de horizontale snelheid

2.2.4 *Veiligheidsvoorschriften*

In de PGS-7 zijn uitgebreide veiligheidsvoorschriften opgenomen voor de opslag en behandeling van meststoffen van groep 2 [31]. Deze veiligheidsvoorschriften hebben betrekking op de constructie en uitvoering van het opslaggebouw, het interne transport, maatregelen ter voorkoming van zelfopwarming en deflagratie, onderhoudswerkzaamheden, instructie van het personeel en brandbestrijding. Voor een gedetailleerd overzicht van de voorschriften wordt

verwezen naar de PGS-7 richtlijn zelf. De volgende voorschriften zijn met name van belang voor de kans op ontstaan van brand en uitbreiding van brand:

- Scheiding van opslagruimten voor groep 2 meststoffen van aangrenzende andere (opslag)ruimten door middel van een 60 minuten brandwerende constructie (brandcompartimentering)
- De WBDBO tussen de meststof en de inrichtingsgrens of brandbaar object moet 60 minuten of het equivalent daarvan zijn (PGS 7 tabel 4.1).
- Aangenomen wordt dat de brandweer actief optreedt na ten hoogste 30 minuten na ontstaan van de brand en dat 30 minuten na aankomst van de brandweer de brand dusdanig verminderd is dat met verdere aantasting van de constructie geen rekening hoeft te worden gehouden.
- Een volledig bewakingssysteem dat een beginnende ontledingsreactie kan melden en signaleren. Dit kan door bijvoorbeeld een continue bewaking door middel van personen of een automatische bewaking bijvoorbeeld door middel van detectoren (PGS 7 4.4.6).
- Aanwezigheid van een rook-warmte-afvoerinstallatie; voldoende blusmaterieel (PGS 7 4.4.7 - 4.4.10).
- Materialen met gevaar van brand (bijvoorbeeld organische stoffen, fijnverdeelde metalen, zwavel, kurkstof, zaagsel) of gevaarlijke materialen (bijvoorbeeld zuren, sterk reducerende of oxiderende stoffen en metallisch zink) mogen niet in het opslaggebouw worden opgeslagen en vervoerd (PGS 7 4.3.1).

2.2.5 Scenario's en faalkansen

Voor de bepaling van de risico's zijn vier generieke scenario's van belang, namelijk detonatie, deflagratie, brand in opslag en palletbrand. Meststoffen van groep 2 vertonen geen detonatie, zodat drie scenario's nader beschouwd moeten worden, namelijk brand in opslag, palletbrand en deflagratie.

Brand in opslag en palletbrand

Voor meststoffen van groep 2 worden dezelfde scenario's en frequenties toegepast als voor meststoffen van groep 3 (zie aldaar), waarbij gecorrigeerd wordt voor het lagere gehalte aan ammoniumnitraat. Aangenomen wordt dat het stikstofgehalte van de gemiddelde meststof van groep 2 de helft is van zuiver ammoniumnitraat, zodat de bronterm aan stikstofoxiden halveert.

Deflagratie

Voor het scenario deflagratie moet een inschatting gemaakt worden van de bronterm en de kans op een deflagratie. Bij het bepalen van de bronterm van een deflagratie in een opslag van groep 2 meststoffen dient een aantal belangrijke aannames te worden gedaan.

- De tijdsduur tussen het begin van de ontleding en detectie gevolgd door ingrijpen bepaalt in sterke mate de grootte van de bronterm. In Figuur 9 is te zien dat de ontledingssnelheid exponentieel toeneemt: in het eerste half uur is de gemiddelde ontledingssnelheid een orde van grootte lager dan de ontledingssnelheid na drie uur. Analoog aan het veiligheidsrapport van Zuid Chemie wordt verondersteld dat detectie en ingrijpen plaatsvindt binnen één uur (scenario A) dan wel binnen drie uur (scenario B). Afhankelijk van de snelheid van detectie wordt de bronterm gelijkgesteld aan de ontledingssnelheid na 1 uur en na 3 uur. Uitgaande van een horizontale

CONCEPT

ontledingssnelheid van 20 cm per uur is de omzettingssnelheid na 1 uur gelijk aan 0,2 kg s^{-1} en na 3 uur gelijk aan 2,1 kg s^{-1}.
- De ontleding van de kunstmest leidt tot de omzetting van 60 – 70% van de massa in ontledingsgassen. Aangenomen wordt een waarde van 65% [28].
- Het percentage giftige stoffen in de ontledingsgassen varieert. Aangenomen wordt dat 10 gewichtsprocent van de ontledingsgassen giftig is (HCl, Cl_2, NO_x, NH_3 en HF). Dit is bij benadering de bovengrens in het onderzoek van Kiiski waar 8,4 mol% de hoogst gemeten waarde is [28]. Gerekend wordt met NO_2.
- De bronterm is voor scenario A (snelle detectie) dan gelijk aan 0,2 kg s^{-1} × 0,65 × 0,1 = 0,013 kg s^{-1} NO_2 voor scenario B (late detectie) gelijk aan 2,1 kg s^{-1} × 0,65 × 0,1 = 0,14 kg s^{-1} NO_2.

Voor de kans op een deflagratie is weinig informatie beschikbaar. De database FACTS geeft voor ammoniumnitraat 90 incidenten [32]. Negen ongevallen vonden in Nederland plaats. Deze ongevallen hebben betrekking op productie, opslag en transport. De ongevallen na 1960 die relevant zijn voor de opslag van nitraathoudende meststoffen zijn de volgende:
- Een deflagratie van NPK-meststoffen (1963); de reactie is in gang gezet doordat vastgekoekt materiaal met explosieven is losgemaakt;
- Ontleding van ammoniumnitraat ten gevolge van laswerkzaamheden op een schip (1966);
- Deflagratie van een NPK meststof in opslag (1970);
- Vuur nabij een opslag van ammoniumnitraat, niet leidend tot ontleding (1978).

Drie van de vier incidenten zijn opgetreden in een opslag, bij twee van deze drie incidenten zijn er giftige ontledingsproducten vrijgekomen. In een periode van veertig jaar zijn er in Nederland dus twee relevante incidenten opgetreden (het gebruik van explosieven voor het losmaken van vastgekoekt materiaal is niet meer toegestaan).

Uitgaande van twee gerapporteerde deflagraties in de periode 1960 - 2000 in een opslag in Nederland, en onder de aanname dat er in de beschouwde periode ongeveer 50 opslagen met meststoffen van groep 2 zijn[16], is de frequentie van een deflagratie in een opslag gelijk aan 1 × 10^{-3} per jaar.

De twee beschreven ongevallen in Nederland vonden plaats in 1963 en 1970. Inmiddels zijn de gevaren van deflagratie bij meststoffen beter bekend en beter beheerst. Zo is het gebruik van springstof niet meer toegestaan, en wordt door het meten van de temperatuur in de opslag na productie de kans op een ongecontroleerde zelfopwarming aanzienlijk verkleind. Daarom wordt verondersteld dat de frequentie van een deflagratie in een opslag een orde van grootte kleiner is geworden. De frequentie is daarom een factor 10 lager verondersteld, namelijk 1 × 10^{-4} per jaar.

[16] In een overleg van 16 april 2003 met vertegenwoordigers van de branche is een getal genoemd van 600 opslagen, waarvan 96% alleen type C meststoffen. Dit betekent dat er rond de 25 opslagen met type B meststoffen zijn. Onder de aanname dat er vroeger meer type B meststoffen werden opgeslagen is een factor 2 toegepast. Aanvulling: in een consequentieonderzoek in 2014 is gebleken dat opslag van groep 2 meststoffen vrijwel alleen nog bij de producenten plaatsvindt. Meststoffen van groep 2 en 3 worden in Nederland weinig gebruikt (2014).

CONCEPT

2.2.6 *Maatregelen*

Wanneer in een PGS 7 opslag veiligheidsmaatregelen zijn getroffen die de kans op brand verlagen dan wel de consequenties van de brand verkleinen, dan kan dit in een kwantitatieve risicoanalyse in rekening worden gebracht door het verlagen van de kansen dan wel de bronterm. In het geval van opslag van meststoffen van groep 2 is in de rekenmethode voorzien dat een opslagloods is uitgerust met een continue, automatische NO_x-detectie en een adequaat blussysteem. Aangenomen is dat deze in 5% van de gevallen faalt, zodat gerekend wordt met twee scenario's: detectie (95%) en falen detectie (5%).

2.2.7 *Scenario's groep 2*

In Tabel 23 zijn de scenario's samengevat.

Tabel 23 Scenario's voor de opslag van meststoffen groep 2

Scenario	**Frequentie**	**Bronterm**
Brand (10 m^2)	$1{,}8 \times 10^{-5}$ per jaar	0,05 kg s^{-1} NO_2 voor 1800 s
Deflagratie – snelle detectie	$9{,}5 \times 10^{-5}$ per jaar	0,013 kg s^{-1} NO_2 voor 1800 s
Deflagratie – late detectie	$0{,}5 \times 10^{-5}$ per jaar	0,14 kg s^{-1} NO_2 voor 1800 s

2.3 Scenario's meststoffen groep 3

2.3.1 *Stofeigenschappen*

Meststoffen van groep 3 zijn nitraathoudende meststoffen met een hoog gehalte aan ammoniumnitraat, die niet kunnen detoneren onder de voorgeschreven proefcondities (EEG-buisproef [33]). Dit wil niet zeggen dat deze meststoffen onder geen enkele omstandigheid kunnen detoneren. Wel is de drempel tot detonatie voor deze stoffen dusdanig hoog dat in praktische situaties detonatie uitgesloten is, zodat dit scenario voor de risicoanalyse buiten beschouwing kan blijven.

2.3.2 *Risicoanalyses*

Nederland

In Nederland verplicht het Brzo een aantal bedrijven tot het opstellen van een veiligheidsrapport voor het bevoegd gezag. In dit veiligheidsrapport dient aan de hand van een kwantitatieve risico-analyse vastgesteld te worden wat de risico's voor de omgeving van het bedrijf zijn. Er is een standaard methode ontwikkeld voor het uitvoeren van een kwantitatieve risico-analyse voor VR-plichtige bedrijven, zoals beschreven in de Handleiding risicoberekeningen Bevi (hierna de Handleiding genoemd).

De Handleiding bevat geen beschrijving van scenario's voor de opslag van nitraathoudende meststoffen. Wel is aangegeven dat specifieke scenario's meegenomen moeten worden die te maken hebben met de procesomstandigheden, het proces zelf, de materialen en de indeling van de

CONCEPT

fabriek. Op basis hiervan kan voor een opslagloods met ammoniumnitraat gevraagd worden specifieke scenario's mee te nemen die gebaseerd zijn op ontleding en/of explosie. In eerder uitgevoerde kwantitatieve risicoanalyses in veiligheidsrapporten is de opslag van ammoniumnitraat niet meegenomen. In enkele veiligheidsrapporten wordt onderkend dat de opslag van ammoniumnitraat tot risico's kan leiden:

- Het veiligheidsrapport van (voormalig) DSM Agro IJmuiden beschrijft de ontleding van ammoniumnitraat-kunstmest. Het ongevalsscenario betreft een lader waar alle hydraulische olie uitstroomt zodat een plasbrand ontstaat. De bronterm van NO_x is vervolgens berekend aan de hand van een standaard CPR15 benadering[17]. Er zijn geen risico's berekend; een effectberekening van de verspreiding van giftige gassen buiten de inrichting is wel uitgevoerd [34].
- Het extern veiligheidsrapport van (voormalig) Hydro Agri Sluiskil onderkent de ontleding van ammoniumnitraat ten gevolge van brand met de afgifte van nitreuze dampen. Een effectberekening is niet uitgevoerd [35].

Op 9 december 2006 hebben de Minerale Meststoffen Federatie (MMF) en de Vereniging van Kunstmest Producenten (VKP) bij het Chemelot Alert & Care Center te Geleen een workshop georganiseerd in het kader van de herziening van de CPR-1 richtlijn. Hierbij zijn brandexperimenten uitgevoerd. Deze zijn samen met andere experimenten met vaste minerale anorganische meststoffen op DVD vastgelegd.Bij de experimenten is gebleken dat het bij de opslag van ammoniumnitraathoudende meststoffen in zakken niet waarschijnlijk is dat een (grote) palletbrand ontstaat: zeer snel na aanvang van de brand smelt de verpakking en voorkomen de uitstromende kunstmestkorrels dat de brand uitbreidt tot een groot oppervlak. Hierdoor is uitbreiding van een beginnende brand tot grote omvang niet aannemelijk. Escalatie tot oppervlakken in de orde van 100 m^2 wordt daarom niet realistisch geacht.

Verenigd Koninkrijk

De Health and Safety Executive (HSE) heeft een risicoanalyse methode ontwikkeld voor de externe risico's van bedrijven met ammoniumnitraat [36, 37, 38]. Het dominante scenario is de ontleding van ammoniumnitraat ten gevolge van een brand. Wanneer er geen brandbare materialen aanwezig zijn in een opslag van ammoniumnitraat, kan een brand niet ontstaan. Echter, in de praktijk kunnen brandbare materialen aanwezig zijn in de vorm van houten pallets, verpakkingsmateriaal en dergelijke. Voor de giftige effecten worden twee scenario's onderscheiden. De bijbehorende brontermen zijn bepaald aan de hand van experimentele studies aan 34,5% N ammoniumnitraat prills [39].

Scenario A

Dit scenario beschrijft een brand van materialen opgeslagen bij ammoniumnitraat. De ontleding van het ammoniumnitraat vindt plaats ten gevolge van warmtestraling van de brand. In een testruimte van 2 m × 2 m × 10 m is centraal een bak van 1 m^2 met 150 kg ammoniumnitraat prills

[17] De standaard CPR-15 (in 2005 opgevolgd door PGS 15) benadering is gericht op het ontstaan van giftige verbrandingsproducten bij brand; deze methode is niet geëigend voor het berekenen van de bronterm bij de ontleding van ammoniumnitraathoudende kunstmest.

CONCEPT

geplaatst. Aan één zijde van de testruimte werd een heptaan brand onderhouden. De testruimte was geïsoleerd om de hoge stralingsniveaus te bereiken die ook in een grootschalige brand bereikt worden. De experimenten leiden tot de volgende resultaten:

- De ontledingssnelheid van AN is afhankelijk van de warmteflux; de maximum ontledingssnelheid is gelijk aan 1 g s^{-1} bij 15 kW m^{-2}, 1,8 g s^{-1} bij 25 kW m^{-2}, 25 g s^{-1} bij 40 kW m^{-2} en 150 g s^{-1} bij 60 kW m^{-2}.
- De ontledingssnelheid bij een warmteflux van 60 kW m^{-2} is 80 – 150 g s^{-1}; maximaal wordt 18 g m^{-2} s^{-1} NO_x gevormd. De efficiëntie van omzetting van stikstof in ammoniumnitraat naar NO_x is 15%.
- De verhouding NO:NO_2 is ongeveer 20:1 en sterk temperatuursafhankelijk; de laagst gemeten verhouding is 5:1.
- In risicoanalyses van opslagplaatsen waar sterke verhitting van de opslag van ammoniumnitraat mogelijk is, hanteert de HSE een productie van 15 g m^{-2} s^{-1} NO en 3 g m^{-2} s^{-1} NO_2.

In de discussie wordt aangegeven dat in de eerste fase de temperatuur van het ammoniumnitraat aan het oppervlak verhoogd wordt tot het smeltpunt. Gesmolten materiaal stroomt naar beneden en stolt, waarbij warmte naar beneden wordt overgedragen. Uiteindelijk ontstaat een korst, waarbij een laag van gestold materiaal een vloeibare laag ondersteunt. De temperatuur van de vloeistof wordt uiteindelijk hoog genoeg voor een snelle ontleding.

Scenario B

Dit scenario beschrijft een zichzelf in stand houdende verbrandingsreactie van AN en de houten pallets waarop het opgeslagen ligt. In een testruimte van 2 m × 2 m × 10 m is centraal een houten pallet met 5 x 50 kg ammoniumnitraat geplaatst in een stalen bak. De experimenten leiden tot de volgende resultaten:

- De verbrandingsreactie van AN en de houten pallet geeft een maximum emissie van 10 g s^{-1} NO_2 en 7 g s^{-1} NO, dat wil zeggen een omzetting van 6 gram stikstof per seconde. Dergelijke emissies werden voor ongeveer 3000 seconden in stand gehouden.
- De warmte-inhoud is gelijk aan 150 kW, dat wil zeggen ongeveer 25 kW per gram stikstof dat wordt omgezet naar NO_x.
- Het gemeten maximum in NO_x productie is aanzienlijk meer dan gevonden in eerdere experimenten. Het verschil wordt toegeschreven aan het verschil in experimentele opzet: in de eerdere experimenten kon het gesmolten ammoniumnitraat vrijelijk wegstromen (warmteverlies), terwijl in de nu beschreven experimenten een stalen bak de uitstroming van gesmolten ammoniumnitraat beperkt. Het is onduidelijk hoe in een praktijk situatie het warmteverlies aan de omgeving is. De auteurs achten het mogelijk dat in een grote opslag hogere brontermen voorkomen doordat minder warmte wegstroomt met het gesmolten ammoniumnitraat; ook is in een grote opslag een lagere warmte-inhoud in de pluim aanwezig door afkoelende effecten van gebouwen.
- In risicoanalyses van opslagplaatsen hanteert de HSE een productie van 20 g m^{-2} s^{-1} NO_2 voor een pallet in een grote stapel; conservatief wordt aangenomen dat alle pallets in een stapel meedoen. Voor de effectieve warmte-inhoud wordt uitgegaan van 75 kW per pallet.

De bronterm wordt nu gedefinieerd op basis van de volgende regels:

CONCEPT

- De temperatuur wordt gelijkgesteld aan 100 °C op het bronoppervlak ('control surface').
- De volumestroom wordt dusdanig berekend dat de warmte-inhoud correct is.
- De concentratie van NO_x wordt bepaald door de NO_x productie te delen door de totale volumestroom.

Voor de kans op een brand leidt de HSE verschillende waarden af voor specifieke opslagen voor ammoniumnitraat en gemengde opslagen.

De HSE hanteert de volgende scenario's:
- Wanneer pallets aanwezig zijn worden branden meegenomen die betrekking hebben op 10% en 100% van de pallets in een standaard 300 ton eenheid (stack). Daarnaast wordt aanstraling door een grote brand in een gemengde opslag beschouwd indien van toepassing.
- Bij buitenopslag worden dezelfde scenario's toegepast. Omdat er geen warmteverlies is aan de gebouwen, zal een grote brand in een gemengde opslag leiden tot een grote warmte-inhoud, waardoor een bijna volledige pluimstijging optreedt.

Op basis van deze experimenten heeft de HSE risicocontouren berekend voor blootstelling aan een 'gevaarlijke dosis' NO_2. Een 'gevaarlijke dosis' wordt geassocieerd met de combinatie van concentratie en tijd waarbij ongeveer 1% van de gevoelige blootgestelde personen sterft en is gelijk aan $C^2 \times t > 9{,}6\ 10^4$ ppm^2 minuten[18]. Typische resultaten zijn een afstand van ongeveer 500 meter waar de kans op een gevaarlijke dosis groter is dan 1 op de miljoen.

2.3.3 Veiligheidsvoorschriften

In de PGS 7 zijn uitgebreide veiligheidsvoorschriften opgenomen voor de opslag en behandeling van groep 3 meststoffen. Deze veiligheidsvoorschriften hebben betrekking op de constructie en uitvoering van het opslaggebouw, het interne transport, de wijze van opslag, onderhoudswerkzaamheden, instructie van het personeel en brandbestrijding. Voor een gedetailleerd overzicht van de voorschriften wordt verwezen naar de PGS 7 richtlijn zelf. De volgende voorschriften zijn met name van belang voor de kans op ontstaan van brand en uitbreiding van brand:
- Scheiding van opslagruimten voor groep 2 meststoffen van aangrenzende andere (opslag)ruimten door middel van een 60 minuten brandwerende constructie (brandcompartimentering)
- De WBDBO tussen de meststof en de inrichtingsgrens of brandbaar object moet 60 minuten of het equivalent daarvan zijn (PGS 7 tabel 4.1).
- Aangenomen wordt dat de brandweer actief optreedt na ten hoogste 30 minuten na ontstaan van de brand en dat 30 minuten na aankomst van de brandweer de brand dusdanig verminderd is dat met verdere aantasting van de constructie geen rekening hoeft te worden gehouden.
- Een volledig bewakingssysteem dat een beginnende ontledingsreactie kan melden en signaleren. Dit kan door bijvoorbeeld een continue bewaking door

[18] Met de probit functie in Nederland voor NO_2 (a = -16.06, b = 1 en n = 3,7) en een blootstellingsduur van 30 minuten is de probitwaarde gelijk aan 2,3 (letaliteit 0,3%).

CONCEPT

middel van personen of een automatische bewaking bijvoorbeeld door middel van detectoren (PGS 7 4.4.6).
- Aanwezigheid van een rook-warmte-afvoerinstallatie; voldoende blusmaterieel (PGS 7 4.4.7 - 4.4.10).
- Materialen met gevaar van brand (bijvoorbeeld organische stoffen, fijnverdeelde metalen, zwavel, kurkstof, zaagsel) of gevaarlijke materialen (bijvoorbeeld zuren, sterk reducerende of oxiderende stoffen en metallisch zink) mogen niet in het opslaggebouw worden opgeslagen en vervoerd (PGS 7 4.3.1).

2.3.4 Scenario's en faalkansen

Voor de bepaling van de risico's zijn drie mogelijke, generieke scenario's van belang, namelijk detonatie, deflagratie en brand in opslag. De drempel tot detonatie is voor groep 3 meststoffen dusdanig hoog dat in praktische situaties detonatie uitgesloten is, zodat dit scenario voor de risicoanalyse buiten beschouwing kan blijven. Groep 3 meststoffen vertonen geen deflagratie. Dit betekent dat uiteindelijk alleen brand in de opslag nader beschouwd moet worden. Wanneer in een opslag brandbaar materiaal, bijvoorbeeld in de vorm van houten pallets of brandbare vloeistof, dichtbij de meststoffen aanwezig is, kan een brand ontstaan met mogelijk ontleding van de meststof. Voor het bepalen van het risico kan een eerste inschatting van de mogelijke effecten van een brand worden gemaakt. Hierbij wordt gekeken naar een plasbrand en een palletbrand.

Plasbrand

Atkinson heeft experimenteel onderzocht hoe groep 3 meststoffen zich gedragen onder invloed van de warmtestraling van een externe vloeistofbrand [36]. De basisbevindingen zijn als volgt.

Bij aanstraling van AN door brand met 60 kW/m^2 op het AN-oppervlak:

- Gebeurt er de eerste 1200 seconden qua emissie niets;
- Is er een hoge massaverliessnelheid in de volgende minuut (bv. 150 g AN/s);
- Stabiliseert de massaverliessnelheid gedurende de aanstraling daarna op een lager niveau (80 g AN/s);
- Is het omzettingsrendement in termen van stikstof 0,15 (de verhouding van de hoeveelheid N in NO_x en de hoeveelheid N uit AN);
- Is de verhouding NO/NO_2 ca. 20.

Dit betekent in de eerste plaats dat een vloeistofbrand tenminste 20 minuten moet duren voordat een emissie ontstaat. Hiervoor moet de vloeistoflaagdikte in de orde van ca. 10 cm zijn (bij een brandduur van 1200 s en een typische brandsnelheid van 0,07 kg/m^2s en dichtheid 800 kg/m^3 voor octaan). Op een vlakke loodsvloer is dit niet mogelijk. Brandbare vloeistof is in de opslag niet aanwezig. Wel kan bijvoorbeeld de brandstoftank van een lader lekken, maar deze hoeveelheid is te klein om door dit mechanisme (ontleding AN door aanstraling) een bronterm NO_x te laten ontstaan. Ontleding door een vloeistofbrand wordt dan ook in deze rekenmethodiek niet verder beschouwd.

CONCEPT

Wanneer lekkende vloeistof uit een brandstoftank van een lader zich tot onder de opslag verspreidt kan een vloeistofbrand de initiatie zijn van een palletbrand. Direct vlamcontact leidt tot ander ontledingsgedrag.

Palletbrand
Ammoniumnitraathoudende meststoffen worden, naast losgestort of verpakt in big bags, verpakt in (plastic) zakken van 25 kg en 50 kg. Gezakt materiaal wordt opgeslagen op pallets. Ten gevolge van een brand kan ontleding van de meststof optreden. Atkinson heeft experimenteel onderzocht hoe groep 3 meststoffen zich gedragen onder invloed van een brandende pallet [36]. De basisbevindingen zijn:

- De eerste 2000 seconden is er nauwelijks emissie van NO_x;
- Dan volgt een periode van ca. 4000 seconden met een maximum NO_x-productie van ca. 10 g/s.;
- Het omzettingsrendement in termen van stikstof is 0,15 (de verhouding van de hoeveelheid N in NO_x en de hoeveelheid N uit AN);
- De verhouding NO/NO_2 is ongeveer 1.
- De emissie is hoger als de warmte van de gesmolten AN opgesloten blijft onder de brand. Wanneer de gesmolten AN wegstroomt daalt de emissie.

Op 9 december 2006 is in het kader van de herziening van de CPR-1 richtlijn door de Minerale Meststoffen Federatie (MMF) en de Vereniging van Kunstmest Producenten (VKP) bij het Chemelot Alert & Care Center te Geleen een workshop georganiseerd, waarbij brandexperimenten zijn uitgevoerd. Deze zijn samen met andere experimenten met vaste minerale anorganische meststoffen op DVD vastgelegd. Bij de experimenten is gebleken dat het bij de opslag van ammoniumnitraathoudende meststoffen in zakken niet waarschijnlijk is dat een (grote) palletbrand ontstaat: zeer snel na aanvang van de brand smelt de verpakking en voorkomen de uitstromende kunstmestkorrels dat de brand uitbreidt tot een groot oppervlak. Hierdoor is uitbreiding van de brand tot grote omvang niet aannemelijk. Escalatie tot oppervlakken in de orde van 100 m^2 wordt daarom niet realistisch geacht. Een kleiner oppervlak, in de orde van 10 m^2, is wellicht wel mogelijk. Dit oppervlak wordt als conservatieve inschatting gehanteerd.

De berekening van de bronterm is gebaseerd op de volgende aannames:

- Het oppervlak aan pallets wat betrokken is in de brand bedraagt 10 m^2;
- Verdere escalatie treedt niet op.
- De bronterm wordt gelijkgesteld aan 10 g s^{-1} NO_x per m^2.
- De hoogte van de stapel pallets wordt niet meegenomen; bij hogere stapels zal het gesmolten ammoniumnitraat smelten en naar beneden stromen.
- Het gebouw zorgt voor afkoeling van de rookpluim.

Dit scenario, in voorgaande publicaties aangeduid als “palletbrand klein” wordt als representatief scenario beschouwd voor een brand in een opslag van AN-houdende meststoffen.

CONCEPT

Voor meststoffen van groep 1.2 en 2 wordt hetzelfde scenario meegenomen, maar met een correctie van een factor 0,5 op de bronterm i.v.m. het lagere ammoniumnitraat gehalte.

Voor bulkopslagen kan alleen ontleding van de meststoffen ontstaan door aanstraling/vlamcontact door een externe brand van de bouwconstructie en/of transportmiddelen (bv. brandstof transportmiddelen, korstsluiting, kabelisolatie, blikseminslag). Wanneer de opslag is uitgevoerd conform PGS 7 (geen brandbaar materiaal aanwezig, bouwconstructie met brandwerendheid) is dit scenario niet waarschijnlijk. Het wordt dan ook niet nader beschouwd.

Voor de kans op een palletbrand wordt uitgegaan van de kans op brand, zoals beschreven in paragraaf 2.1.

2.3.5 Scenario's groep 3

In Tabel 24 zijn de resultaten voor meststoffen groep 3 samengevat.

Tabel 24 Scenario's voor de gezakte opslag van meststoffen groep 3

Scenario	**Frequentie**	**Bronterm**
Brand (10 m^2)	1,8 × 10^{-5} per jaar	0,1 kg s^{-1} NO_2 voor 1800 s

2.4 Scenario's meststoffen groep 1.2

2.4.1 Stofeigenschappen

Meststoffen uit groep 1.2 bevatten ammoniumnitraat, tot 70% (24.5% N). In PGS 7 wordt geëist dat opslag van brandbare en niet compatibele materialen in bulk niet in hetzelfde gebouw plaatsvindt en dat de WBDBO van het opslagcompartiment tenminste 60 min is[19]. Ze branden niet zelfonderhoudend.

Hadden [40] beschrijft een deflagratie van twee C-mesten in een scheepsruim. De suggestie in het artikel is dat de meststoffen zich in de goot test anders gedragen dan in bulk. In dit rekenvoorschrift wordt uitgegaan van de juistheid van de classificatie en de toepasselijkheid ervan op zowel opslagen in bulk als gezakt.

2.4.2 Risicoanalyses

Er zijn geen risicoanalyses bekend

2.4.3 Veiligheidsvoorschriften

In de PGS 7 zijn uitgebreide veiligheidsvoorschriften opgenomen voor de opslag en behandeling van groep 1.2 meststoffen. Deze veiligheidsvoorschriften hebben betrekking op de constructie en uitvoering van het opslaggebouw, het interne transport, de wijze van opslag, onderhoudswerkzaamheden, instructie van het

[19] Brandwerende scheiding van 60 minuten is vereist als in aangrenzende ruimten brandgevaarlijk werk plaatsvindt of opslag van stoffen die met kunstmest een gevaarlijke combinatie vormen.

CONCEPT

personeel en brandbestrijding. Voor een gedetailleerd overzicht van de voorschriften wordt verwezen naar de PGS 7 richtlijn zelf. De volgende voorschriften zijn met name van belang voor de kans op ontstaan van brand en uitbreiding van brand:

- Scheiding van opslagruimten voor groep 1.2 meststoffen van aangrenzende andere (opslag)ruimten[19] door middel van een 60 minuten brandwerende constructie (brandcompartimentering)
- De WBDBO tussen de meststof en de inrichtingsgrens of brandbaar object moet 60 minuten of het equivalent daarvan zijn (PGS 7 tabel 4.1).
- Aangenomen wordt dat de brandweer actief optreedt na ten hoogste 30 minuten na ontstaan van de brand en dat 30 minuten na aankomst van de brandweer de brand dusdanig verminderd is dat met verdere aantasting van de constructie geen rekening hoeft te worden gehouden.
- Materialen met gevaar van brand (bijvoorbeeld organische stoffen, fijnverdeelde metalen, zwavel, kurkstof, zaagsel) of gevaarlijke materialen (bijvoorbeeld zuren, sterk reducerende of oxiderende stoffen en metallisch zink) mogen niet in bulk in het opslaggebouw worden opgeslagen en vervoerd (PGS 7 4.3.1)

2.4.4 Scenario's en faalkansen

Voor de bepaling van de risico's zijn drie mogelijke, generieke scenario's van belang, namelijk detonatie, deflagratie en brand in opslag. De drempel tot detonatie is voor groep 1.2 meststoffen dusdanig hoog dat in praktische situaties detonatie uitgesloten is, zodat dit scenario voor de risicoanalyse buiten beschouwing kan blijven. Groep 1.2 meststoffen vertonen geen deflagratie. Dit betekent dat uiteindelijk alleen brand in de opslag nader beschouwd moet worden. De afleiding van de bronterm voor het scenario brand in opslag is bij meststoffen groep 2 beschreven, de kans in paragraaf 2.1.

2.4.5 Scenario's

In Tabel 25 zijn de resultaten voor meststoffen groep 1.2 samengevat.

Tabel 25 Scenario's voor de gezakte opslag van meststoffen groep 1.2

Scenario	**Frequentie**	**Bronterm**
Brand (10 m^2)	$1{,}8 \times 10^{-5}$ per jaar	0,05 kg s^{-1} NO_2 voor 1800 s

2.5 Resultaat van de voorbeeldberekeningen

Tabel 26 en Tabel 27 laten de resultaten zien van de voorbeeldberekeningen en de berekeningen volgens de aanpak na de RIVM brief 2007 [] Risico's en invloedsgebieden komen redelijk overeen. Er zijn twee belangrijke verschillen:

- Het invloedsgebied bij gezakte opslagen is kleiner. Dit is het gevolg van het halveren van de bronterm voor de kleine palletbrand. In [36] is de bronterm die in de experimenten gemeten werd voor grote opslagen verdubbeld om te verdisconteren dat alle pallets in een stack mee doen aan de brand. In de experimenten van 2006 [41] is vastgesteld dat escalatie van een palletbrand naar oppervlakken groter dan 10 m^2 niet waarschijnlijk is. Daarmee is de grond aan de verdubbeling ontvallen.

CONCEPT

- Voor gezakte opslag van groep 2 meststoffen wordt alleen het scenario brand in opslag beschouwd. Een brand in een bulkopslag kan mogelijk leiden tot een voortschrijdende deflagratie. Er wordt hier van uit gegaan dat de snelheid waarmee een brand in een gezakte opslag zich ontwikkelt tot een autodecompositie langzamer is dan in een bulkopslag. De verpakking (big bag) moet immers eerst falen, korrels moeten uitstromen tot een hoop en dan moet een reactiefront ontstaan. Detectie (volledige bewaking cf. PGS 7) en bestrijding worden geacht escalatie te voorkomen. Daarmee vervalt het scenario deflagratie voor een gezakte opslag.

Tabel 26 Resultaten voorbeeldberekening, afstanden t.o.v. rand loods

Groep	**B(ulk) / G(ezakt)**	**PR 10^{-6} (m)**	**Groepsrisico bij dichtheid 300 /ha Factor t.o.v. oriëntatiewaarde**	**Invloedsgebied (m) D5/F1.5**
2	B	0	Geen GR	25/260
2	G	0	Geen GR	0/45
3	G	15	Geen GR	0/120
3	B	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
1.2	B	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
1.2	G	0	Geen GR	0/45

Tabel 27 Resultaten berekening volgens RIVM 2007 [42]

Groep	**B(ulk) / G(ezakt)**	**PR 10^{-6} (m)**	**Groepsrisico bij dichtheid 300 /ha Factor t.o.v. oriëntatiewaarde**	**Invloedsgebied (m) D5/F1.5**
2	B	0	< 1	45/260
2	G	0	< 1	45/260
3	G	0	< 1	70/440
3	B	0	< 1	0/30
1.2	G	0	< 1	0/120
1.2	B	0	< 1	0/0

CONCEPT

3 Toelichting E.2 Rekenvoorschrift koelinstallatie met ammoniak

3.1 Vatinhouden

Gekozen is voor opgave van de inhouden van de vaten bij nominaal gebruik door de installateur. Wanneer die onbekend zijn kan de volgende tabel worden gebruikt

Tabel 28 Inhouden installatieonderdelen [1]

Onderdeel	Aandeel van systeeminhoud
Afscheidervaten	50%
Verdampers	20%
Vloeistofvaten	15%
Condensors	7.5%
Vloeistofleidingen	7.5%

3.2 Falen veiligheidsvoorzieningen

Falen van veiligheidsvoorzieningen voor installatiedelen binnen wordt alleen beschouwd als de frequentie van het scenario groter blijft dan 10^{-9} per jaar. Conform PGS 13 [43] wordt de installatie op het hoog ammoniak alarm van de ammoniakdetectie in de machinekamer ingeblokt en uit bedrijf genomen. Het gaat hier in termen van module 1 om een automatisch inbloksysteem met een kans op falen per aanspraak van 0,001[20].

PGS 13 eist tenminste een op afstand bestuurbare afsluiter in de vloeistofleiding van componentgroepen met meer dan 3 ton inhoud (sluittijd 15 s), automatische ammoniakdetectie, aanwezigheid van een operator en automatische doormelding. Bij een hoog niveau ammoniak alarmering door de ammoniakdetectie in de machinekamer wordt het noodstopsysteem geactiveerd. Verdampers (koelers, vriezers) bevinden zich in de machinekamer of in de te koelen ruimtes. Ammoniakdetectie is aanwezig in de machinekamer en in de overige ruimtes. Bij lekkage worden de ruimtes zo snel mogelijk NH_3-vrij gemaakt. De toevoer wordt gesloten, ammoniak wordt zoveel mogelijk naar het afscheidervat gevoerd.

Voor installatiedelen buiten wordt aangesloten bij module 1. In de QRA dient de effectiviteit van een inbloksysteem voor buiten gelegen installatiedelen aannemelijk te worden gemaakt.

[20] Een faalkans in de orde van 0,001 dient onderbouwd te worden

CONCEPT

3.3 Drukbestendigheid machinekamer

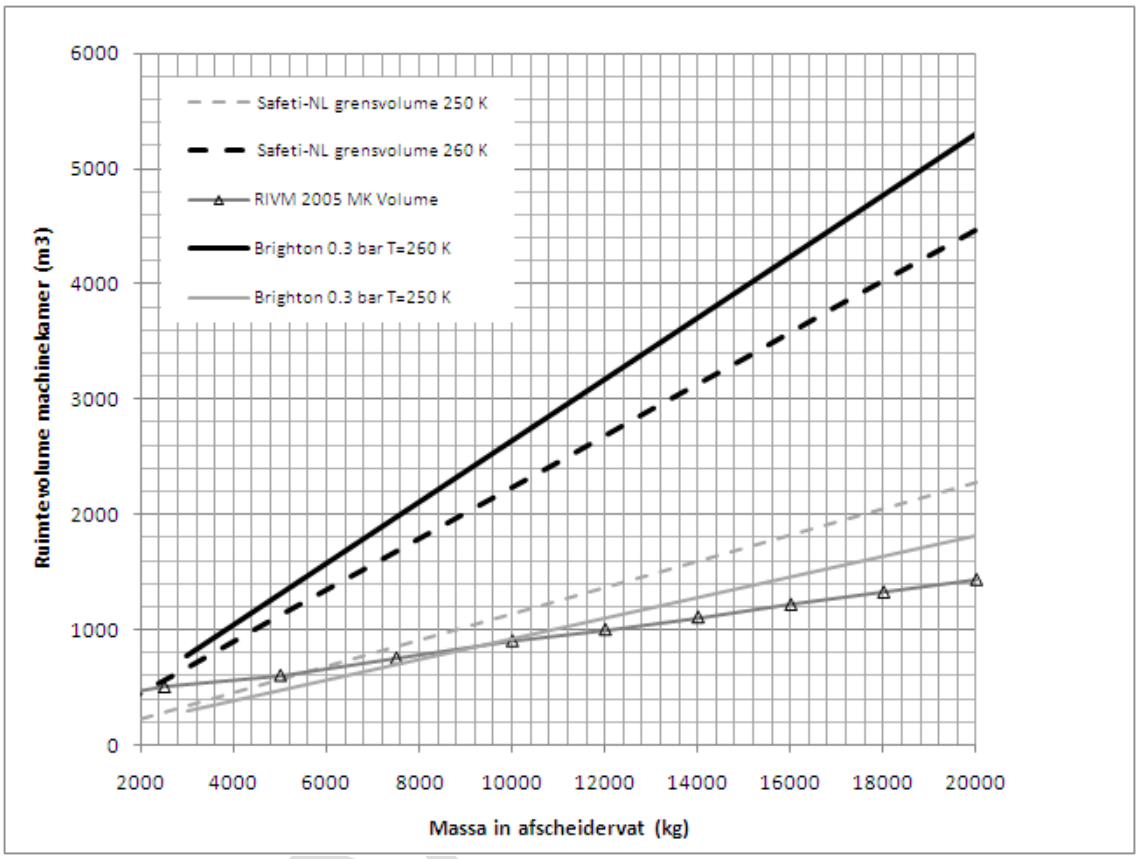
Wanneer een onderdeel in de machinekamer faalt, komt de ammoniak vrij binnen de ruimte. Een aantal processen speelt dan een rol.

- Bij instantane scenario's is de flashfractie kleiner dan bij scenario's buiten, omdat de aanwezige lucht moet worden samengeperst c.q. verdrongen.
- Drukopbouw kan zodanig zijn dat de machinekamer bezwijkt. Hoe kleiner het machinekamervolume t.o.v. het vatvolume en hoe hoger de vattemperatuur hoe groter de drukopbouw.
- Bij continue scenario's reduceert de impuls van de jet door botsen met de wanden. Daardoor regent een grotere fractie uit dan bij een vrije veld uitstroming.
- Een secundaire bronterm ontstaat door plasverdamping. De verdampings-snelheid wordt bepaald door de warmtegeleiding van de vloer van de ruimte.
- Ammoniak treedt naar buiten door de ventilatieopening. Het ventilatievoud van de noodventilatie bepaalt mede de bronterm, zowel de grootte als de duur.

Instantaan vrijkomen van ammoniak uit het afscheidervat in de machinekamer zal leiden tot enige drukopbouw. De grootte van de overdruk, mogelijk gevolgd door een onderdruk, hangt af van de verhouding van het machinekamervolume tot de grootte en temperatuur van het drukvat. De vraag is nu hoe de grens van de geldigheid van het in-Building release model (dampvolume=machinekamer-volume) zich verhoudt tot de drukopbouw in de machinekamer.

Brighton [44] beschrijft een eenvoudig model om de overdruk te berekenen van het bezwijken van een drukvat in een afgesloten ruimte. Figuur 10 laat enige resultaten zien. Bij de in [45] veronderstelde relatie tussen machinekamervolume en massa in het afscheidervat (driehoek marker lijn) blijken overdrukken mogelijk in de orde van 0,3 bar bij circa -20 °C. Gaat de temperatuur in het drukvat naar -10 °C dan zijn veel grotere machinekamervolumes nodig om de overdruk beperkt te houden tot 0,3 bar. Met andere woorden: bij temperaturen in het afscheidervat boven -20 °C is het twijfelachtig of de machinekamer wel kan functioneren als containment bij instantane scenario's. Dit temeer daar integriteit van de constructie tegen inwendige drukbelasting geen ontwerpcriterium is bij de bouw. Eveneens zijn in Figuur 10 ingetekend de grensvolumes voor het in-building release model. Wanneer het machinekamervolume kleiner is dan het grensvolume dient de release als outdoor release te worden gemodelleerd. Figuur 10 laat zien dat beide criteria in dezelfde range liggen.
Bijvoorbeeld: bij een massa van 10.000 kg in het afscheidervat bij een temperatuur van 260 K in een machinekamer met een volume van 2600 m^3 zal volgens de eenvoudige benadering van Brighton bij instantaan bezwijken een overdruk kunnen ontstaan in de orde van 0,3 bar. Wanneer de machinekamer kleiner is, zijn de overdrukken groter. Wanneer de machinekamer kleiner is dan 2300 m^3 dwingt Safeti-NL de gebruiker de release als outdoor te modelleren (dwz. de machinekamer bezwijkt). Een apart criterium voor het bezwijken van de machinekamer is dan ook niet nodig. Het Safeti-NL grensvolume vervult een vergelijkbare functie.

CONCEPT

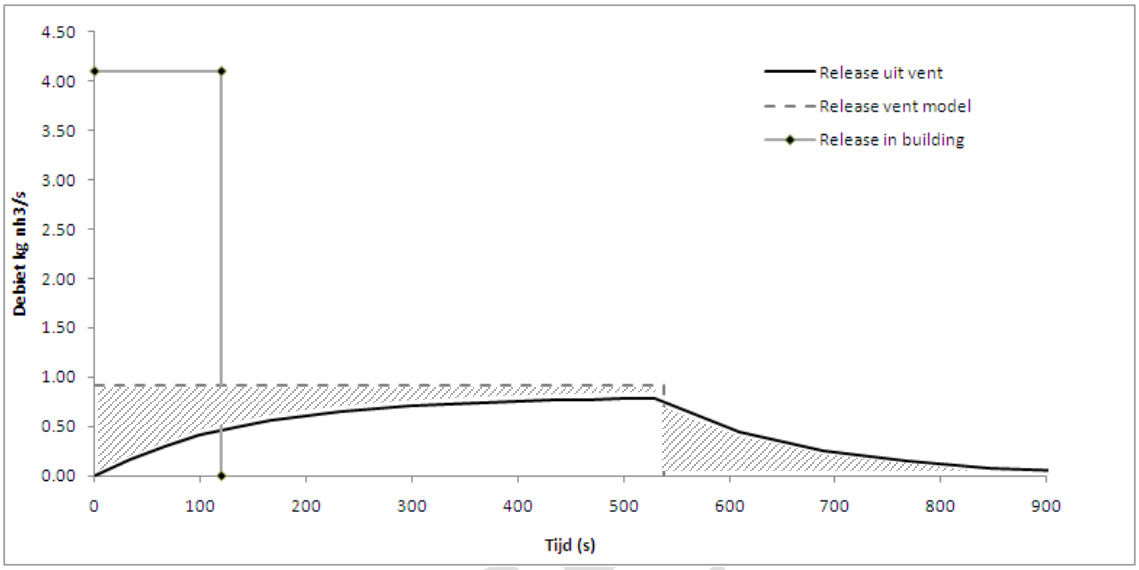


Figuur 10. Grensvolume Safeti-NL voor in-building release model en 0,3 bar overdruk criterium bij twee temperaturen, scenario instantaan vrijkomen

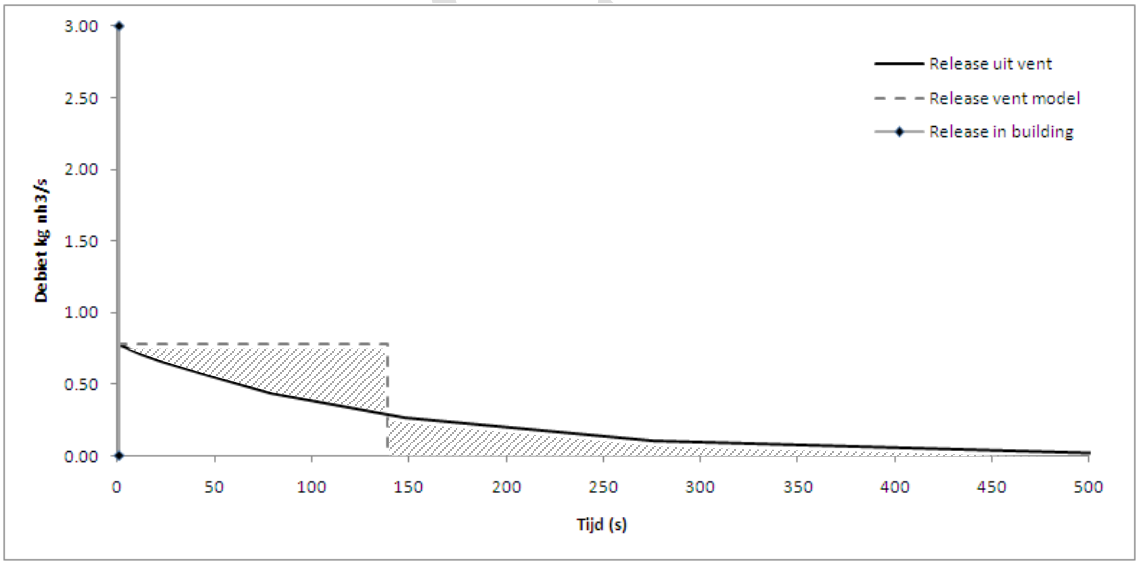
3.4 In-Building release model

De werking van het model wordt toegelicht aan de hand van twee reken-voorbeelden in Figuur 11 en Figuur 12. De drie lijnen geven het uitstroomdebiet in de machinekamer, zoals gemodelleerd door het discharge model ("*release in building*"), de emissie uit de ventilatie-opening ("*release uit vent"*) en de bronsterkte zoals gemodelleerd door het *in-Building release* model ten behoeve van de berekening van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico ("*release vent model*"). Te zien zijn de volgende karakteristieken:

- De bronsterkte van de emissie is lager dan het uitstroomdebiet. (Dit geldt voor vloeistofuitstroming. Voor continue dampuitstroming is de emissie gelijk aan het uitstroomdebiet.)
- De bronsterkteduur van de emissie is langer dan die van het uitstroomdebiet, maar korter dan de emissieduur uit de ventilatieopening (met behoud van massa: de gearceerde oppervlakken zijn gelijk).



Figuur 11 In-Building release model continue uitstroming



Figuur 12 In-Building release model instantane uitstroming

Tabel 29 geeft de berekening van de bronsterkte en de bronduur in het *in-Building release* model afhankelijk van de wijze van vrijkomen en de fase.

Tabel 29. Bronsterkte en bronduur in-Building release model

		Fase	
		Vloeistofuitstroom	Dampuitstroom
Vrijkomen	Instantaan	$RR = \frac{MIN(3 * flash(T),1) * M * Ventfrac}{3600}$ $t_{bron} = \frac{3600}{Ventfrac}$	$RR = \frac{M * Ventfrac}{3600}$ $t_{bron} = \frac{3600}{Ventfrac}$
	Continu	$RR = MIN(3 * flash(T),1) * MFR$ $t_{bron} = \frac{M}{RR}$	$RR = MFR$ $t_{bron} = \frac{M}{RR}$

Waarin:

flash(T)	flashfractie bij temperatuur ammoniak	-	Volgt uit de temperatuur T
M	Massa die vrijkomt	kg	Invoer cf. rekenvoorschrift
MFR	Uitstroomdebiet	kg/s	Berekend cf. scenario
RR	Bronsterkte	kg/s	Berekend door INBU-model
t_{bron}	Duur emissie	s	Berekend door INBU-model
Ventfrac	Ventilatievoud	/uur	Invoer op tabblad Indoor/outdoor

Het model neemt in aanmerking dat de netto invloed van het gebouw is dat meer ammoniak direct in dampvorm over gaat dan in de buitenlucht. Bij een instantane uitstroming blijft het uitgeregende deel achter in het gebouw. Bij een continue uitstroming komt alle massa in dampvorm vrij, maar verdeeld over een langere tijdsduur dan de uitstroomduur.

Grenzen geldigheid in-Building release model (INBU)
Wanneer het vrijkomende dampvolume in de machinekamer zo groot is dat er overdruk wordt opgebouwd, is het INBU niet langer geldig. Er zijn twee situaties wanneer het INBU de melding <*Run Failed*> genereert.

a. Wanneer bij een instantaan scenario het dampvolume groter is dan het ruimtevolume
b. Wanneer bij een continu scenario de dampstroom groter is dan het ventilatiedebiet.

CONCEPT

Ad a.
In dit geval vindt door de snelle expansie drukopbouw plaats in de machinekamer. Het criterium van het in-Building release model correspondeert met overdrukken van mogelijk enkele tienden van een bar (zie 3.3). De bouwconstructie is daartegen niet bestand. Wanneer de melding *Run Failed* wordt gegenereerd dient de gebruiker de release als *outdoor* te definiëren.

Ad b.
In dit geval vindt ook enige drukopbouw plaats, echter over een langere tijdschaal. Bezwijken van de bouwconstructie is in dat geval niet waarschijnlijk. Drukontlasting vindt plaats door de ventilatieopening en andere openingen. Wanneer de melding *Run Failed* wordt gegenereerd dient de gebruiker de release als *outdoor* te definiëren. De richting van de uitstroming is verticaal. De constructie blijft immers in tact, zodat de uitstroming uit de ventilatieopening plaats vindt. De modellering als een verticale vrije jet op hoogte van de ventilatieopening is een benadering (o.a. de luchtinmenging is verschillend), maar voor de risicoberekening van de gehele koelinstallatie voldoende nauwkeurig.

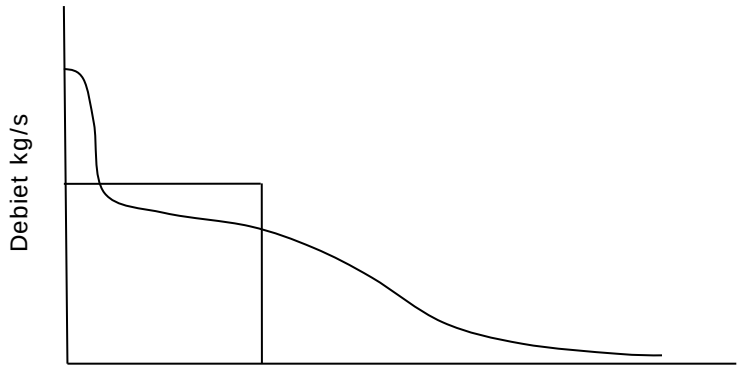
Resumerend:
- Het in-Building release model wordt voor de scenario's van binnen gelegen installatieonderdelen standaard gebruikt, tenzij de uitstroming groter is dan de gebouwdimensies/het ventilatievoud en het model een foutmelding geeft.
- Wanneer de grens van de geldigheid van het model wordt overschreden, wordt de release als *outdoor* gedefinieerd. De hoogte van de release is de hoogte van de ventilatieopening.
- De richting van continue releases is in dat geval de richting van de ventilatieuitlaat (verticaal).

3.5 Uitstroomberekening

In het rekenvoorschrift is kwalitatief het verloop van de uitstroming in de tijd geschetst na een leidingbreuk. Het dynamisch gedrag van de installatie is benaderd zoals weergegeven in figuur 13. De uitgestroomde massa is gegeven in het rekenvoorschrift. Deze bestaat uit de massa in het onderdeel zelf, een bijdrage van de upstream zijde en een bijdrage van de downstream zijde. Het werkelijke debiet is sterk tijdsafhankelijk. Dit wordt in Safeti-nl benaderd door een constant debiet met behoud van de uitgestroomde massa[21]. Het (constante) debiet wordt gekozen op anderhalf maal het pompdebiet. Dit is een gangbare aanpak voor de uitstroming uit verbonden systemen met een procesregeling [4].Daarmee ligt de tijdsduur van uitstroming vast.
De gekozen fase van de uitstroming voor de nalevering is die van het installatieonderdeel zelf. Voor vloeistofleidingen derhalve *liquid*, voor dampleidingen *vapor*. Niet gekwantificeerd is derhalve de toename van de dampfractie in de tijd en de nalevering is ook niet gesplitst in een damp- en een vloeistofdeel. Dit is een detaillering die het doel voorbij schiet. Het *in-Building*

[21] In een vorige versie van deze rekenmethodiek werd het debiet door Safeti-nl berekend op grond van de werkelijke leidingdiameter, temperatuur en druk. Dit leidde tot onrealistisch hoge debieten en zeer korte uitstromingsduren.

CONCEPT



release model zelf is overigens ook op te vatten als een instrument dat een vloeistofuitstroming “vertaalt” in een dampuitstroming.

Gemodelleerd

Werkelijk

CONCEPT

Figuur 13 Schets uitstroomdebiet in de tijd en modelaanpak

3.6 Bijdrage van het falen verdamper en condensor

De bijdragen van het falen van de verdamper en de condensor hoeven niet in de risicoberekening te worden meegenomen. De effecten van pijpbreuk in de verdamper worden gemodelleerd als de breuk van 10 pijpen tegelijkertijd. De diameter van de pijpen in de verdamper is zeer klein. Dit in combinatie met de containment van de ammoniak vloeistof en damp in de koelruimte zorgt er voor dat een loss of containment in de verdamper geen relevante bijdrage levert aan het externe risico. Ook voor de condensor geldt dat van pijpbreuk in de condensor zelf geen externe effecten te verwachten zijn [45].

3.7 Vergelijking met RIVM 2005

Voor installaties met een inhoud tussen 400 kg en 10 ton is een afstandentabel opgesteld [45]. Voor inhouden tussen 10 en 50 ton geldt het onderhavige rekenvoorschrift. Er is naar gestreefd de resultaten voor installaties met een inhoud van 10 ton op elkaar aan te laten sluiten.

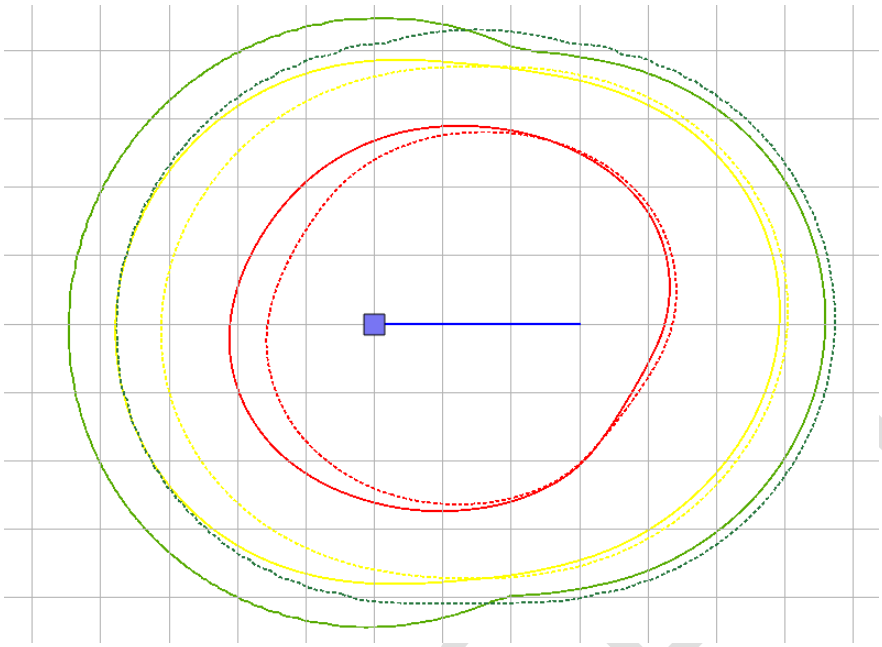
In de onderbouwing van de afstandentabel voor installaties met een ammoniakinhoud kleiner dan 10 ton [45] is voor elk scenario een gemotiveerde aanname gedaan voor de bronterm. Dit leidde per scenario tot een handmatige berekening van de uitgestroomde hoeveelheid, de uitstroomduur, druppelvorming (uitregenfractie bij een belemmerde jet) en verdamping ter bepaling van de invoer in Safeti-NL. Opname hiervan in een rekenvoorschrift zou de productie vereisen van een extra rekentool voor ammoniakkoelinstallaties, waarmee de invoer in Safeti-NL zou moeten worden berekend.

In dit rekenvoorschrift is het uitgangspunt zoveel mogelijk gebruik te maken van de functionaliteit van Safeti-NL.

Een vergelijking is gemaakt voor het meest voorkomende installatietype: type B met pompbeveiliging. De totale systeeminhoud is 10 ton en de temperatuur in het afscheidervat -10 C.

In 2005 was de aanpak handmatig de dampstroom te bepalen en alles “not trapped” in te voeren. Daarbij behoorde itereren met de leidingdiameter om de handmatig berekende dampstroom te verkrijgen. De ingevoerde leidingdiameter in de berekening had daarom geen relatie meer met de werkelijke leidingdiameter. Nu is ervoor gekozen om de werkelijke leidingdiameter te kiezen, bij de leidingbreukscenario’s met een pompbijdrage uit te gaan van 150% van het pompdebiet en zoveel mogelijk gebruik te maken van het in-building release model van Safeti-NL. Wanneer daarop de melding *RUN FAILED* volgt, wordt het scenario als buiten gemodelleerd.
Figuur 14 laat de vergelijking zien. Plaatsgebonden risicocontouren komen redelijk overeen. De contouren worden vrijwel volledig bepaald door de buiten lopende pomppersleiding.

CONCEPT



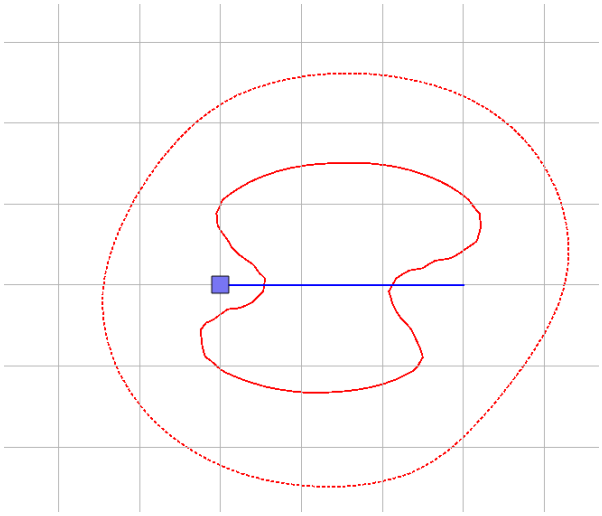
Figuur 14. Vergelijking PR contouren vlgs RIVM 2005 (doorgetrokken) en huidige rekenmethodiek (gestreept), gridgrootte 25 m

10^{-6} /jaar 10^{-8} /jaar

10^{-7} /jaar

Voor de contouren bepalende parameters zijn:

- Afmetingen van de machinekamer en ventilatiedebiet (deze bepaalt of scenario's als buiten of binnen worden gemodelleerd)
- Bijdrage release afscheidervat door de afgeschakelde pomp heen. De in het rekenvoorschrift gedefinieerde lekfractie bepaalt sterk de contouren (zie Figuur 15). Dit is de ontwikkeling bij een leidingbreuk buiten, waarbij de blokafsluiter open blijft, omdat de ammoniak detectie niet aanspreekt. Bij toepassing van de lekfractie is de 10^{-6}-contour groter door de toegenomen bron- en blootstellingsduur.



Figuur 15. Vergelijking PR-contouren 10^{-6} per jaar zonder (doorgetrokken) en met (gestippeld) lekfractie uit het afscheidervat bij een stilstaande pomp

CONCEPT

4 Toelichting E.3.3.Rekenvoorschrift andere insluitsystemen - Het opslaan in een opslagtank van meer dan 13 m3 propaan of propeen, bedoeld in artikel 3.22, eerste lid, aanhef en onder c, van het Besluit activiteiten leefomgeving, voor zover het gaat om het opslaan van: a. ten hoogste 50 m3 met een jaarlijkse doorzet van meer dan 600 m3; of b. meer dan 50 m3.

De modellering van propaanreservoirs is gebaseerd op module 1. Dit houdt in dat de gebruikte faalfrequenties, scenario's en de veiligheidsmaatregelen daaruit zijn overgenomen. Uitzondering hierop zijn de scenario's B.2 t/m B.7 het rekenvoorschrift: *Scenario's domino-effecten tankauto tijdens verlading* en de scenario's L.1 en L.2: *Scenario's voor verlading van de tankauto onder druk* (enkel voor scenario's met een losslang). Deze zijn gebaseerd op het document *QRA-berekening LPG-tankstations* [46] omdat deze activiteiten vergelijkbaar zijn en daarmee ook de risico's voor de externe veiligheid.

1. Een belangrijk onderscheid tussen de scenario's voor propaanreservoirs en LPG-tankstations wordt bepaald door het Convenant LPG-autogas van 22 juni 2005 [47]. Hierin is afgesproken dat LPG-leveranciers voor de levering aan LPG-tankstations gebruik maken van LPG-tankwagens die uitgevoerd zijn met extra technische maatregelen (hittewerende coating en verbeterende los-of vulslangen). Deze afspraken gelden niet voor andere leveranciers die zich ook niet hoeven te houden aan deze afspraken. Hierdoor kunnen de risicoreducties die deze maatregelen met zich meebrengen (factor 10 voor het toepassen van de verbeterde vulslang en een factor 20 bij bevoorrading door LPG-tankwagens die zijn voorzien van hittewerende coating [48,49]) niet worden verdisconteerd in de faalfrequenties voor propaanreservoirs. Echter, bij de verlading van propaan wordt dezelfde soort losslang gebruikt als bij de verlading van LPG uit een tankwagen. Nader onderzoek van TNO stelt dat het aannemelijk is dat de faalfrequenties van de (verbeterde) propaanlosslang vergelijkbaar is met de faalfrequentie van de verbeterde LPG-losslang [50,51]. Zodoende kan de faalfrequentie van de verbeterde propaanlosslangen met een factor 10 worden verlaagd ten opzichte van de huidige generieke waarden uit de Handleiding Risicoberekeningen Bevi. Voor het effect van de hittewerende coating blijft gelden dat alleen wanneer kan worden aangetoond dat voor de propaanreservoirs wordt voldaan aan de technische maatregelen uit het Convenant LPG-autogas, een verzoek tot toepassen van lagere faalfrequenties kan worden ingediend bij het bevoegd gezag in overeenstemming met artikel 8b van de Revi.

2. De faalkansen in het rekenvoorschrift zijn afkomstig uit het TNO-rapport *Reductie BLEVE-frequentie van een LPG-tankauto op een*

CONCEPT

autotankstation [52]. Voor LPG-tankstations zijn de faalfrequenties voor de scenario's B.2 t/m B.4 afhankelijk van de afstand van het vulpunt tot enkele interne objecten. De faalfrequenties voor de scenario B.5 t/m B.7 zijn afhankelijk van de uitvoering van de opstelplaats van de LPG-tankauto. Voor de modellering van propaanreservoirs is er voor gekozen om per locatie te bepalen of deze scenario's uitgesloten kunnen worden. Als dat niet het geval is, wordt voor deze scenario's een conservatieve faalfrequentie gehanteerd. Voor de frequentie van een koude BLEVE van een tankauto ten gevolge van externe beschadiging, wordt dan de waarde gehanteerd die hoort bij 'Overige situaties'. Voor de frequentie van een brand nabij een tankauto, wordt dan de waarde gehanteerd die hoort bij de situatie dat het vulpunt binnen alle toetsingsafstanden ligt.

3. Het toepassen van verschillende vulgraden bij scenario's B.2 t/m B.7 komt overeen met de rekenmethodiek voor LPG-tankstation [11]. Het toepassen van drie verschillende vulgraden is gebaseerd op het TNO-rapport *Kwantitatieve Risico-analyse generiek voor LPG-tankstations* [53], waarin een beschrijving van een referentie LPG-tankstation wordt gegeven voor het opstellen van een QRA.

4. Het voorliggende document vervangt de verouderde methodiek beschreven in *Afstandentabel propaanreservoir* [54] die is gebruikt voor het bepalen van afstanden voor propaanreservoirs de vallen binnen het Activiteitenbesluit (Besluit algemene regels voor inrichtingen milieubeheer, 2007).

CONCEPT

5 Toelichting E.5 Rekenvoorschrift opslaan van gevaarlijke stoffen in verpakking

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

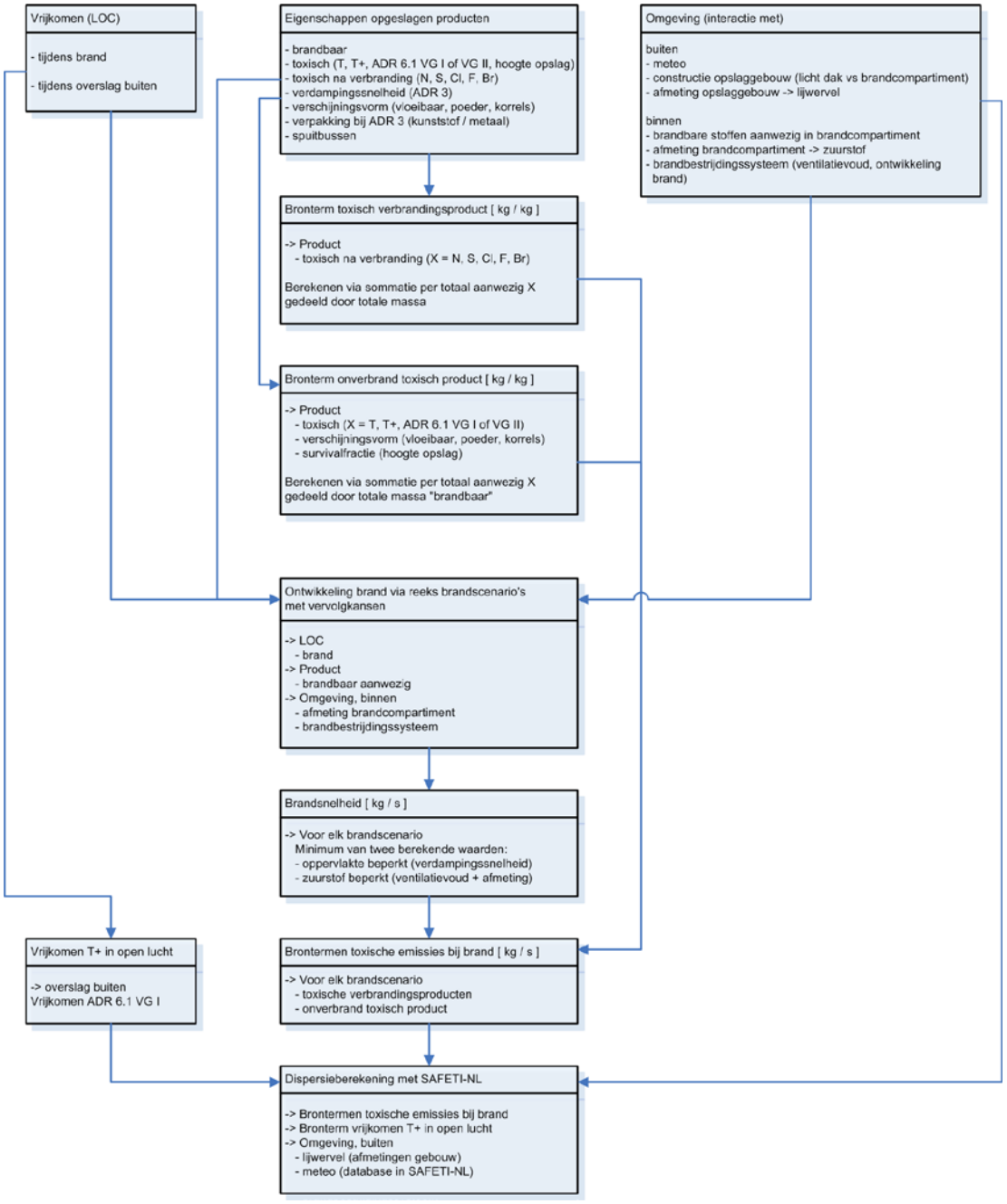
Het risico van een brand in een PGS 15-inrichting wordt dus bepaald door de volgende parameters:

1. Er moet een brand mogelijk zijn. In het brandcompartiment moet dus brandbaar materiaal aanwezig zijn. Zie de definitie van brandcompartiment in PGS 15 [55].
2. Er moet een giftige stof vrij kunnen komen bij brand. Dat kan op de volgende twee manieren.
   - Een opgeslagen giftig product (ADR klasse 6.1 VG I of VG II) wordt deels onverbrand met de rookgassen meegevoerd.
   - Een opgeslagen product vormt bij brand giftige verbrandingsproducten.
3. De rookgassen moeten zich in de omgeving verspreiden. Vooral in het beginstadium van een brand vormen de giftige verbrandingsproducten een gevaar voor de omgeving, omdat er dan (door afkoeling aan de wanden en het dak van de opslagvoorziening) relatief koude verbrandingsgassen vrijkomen die laag bij de grond blijven hangen. Bij een meer ontwikkelde brand worden de verbrandingsgassen niet of nauwelijks meer afgekoeld en verspreiden deze hete gassen zich in verticale richting. Deze zgn. pluimstijging zorgt voor een aanzienlijke verdunning van de giftige concentraties op leefniveau. Bij buitenopslagen met een overkapping die verder grotendeels ‘open’ zijn, waarin de opgeslagen stoffen voornamelijk tegen de regen zijn beschermd, vindt nauwelijks afkoeling van verbrandingsgassen plaats en worden om deze reden in de rekenmethode niet meegenomen. Hetzelfde geldt voor buitenopslagen zonder overkapping.

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

In het nu volgend stroomdiagram zijn de relaties tussen de stappen van de rekenmethodiek schematisch weergegeven.

CONCEPT



Figuur 16 Stroomdiagram berekening risico's PGS 15 opslagvoorziening

De PGS 15 risicomethodiek is een actualisatie van de door TNO opgestelde rekenmethodiek uit 1991 en 1997 [56, 57]. Aanpassing was nodig vanwege de totstandkoming van de PGS 15 richtlijn [55].

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

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

De rekenmethodiek voor deze stofcategorieën wordt hieronder nader toegelicht, met uitzondering van de opslag van gasflessen en containers geladen met gevaarlijke stoffen. Deze worden elders beschreven.

Spuitbussen

Spuitbussen en gaspatronen (in het vervolg: spuitbussen) die betrokken raken bij een brand kunnen gaan rocketeren, ongeacht of de inhoud bestaat uit een inerte of (licht) ontvlambare stof. De spuitbus gedraagt zich hierbij als een voortgestuwd projectiel. Inslag van zo'n spuitbus kan leiden tot domino-effecten hetgeen resulteert in een snelle uitbreiding van het oorspronkelijke incident.

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

De scenario's bij een brand in een opslagvoorziening waarin spuitbussen en eventueel andere gevaarlijke stoffen zijn opgeslagen, zijn afwijkend ten opzichte van de scenario´s weergegeven het rekenvoorschrift: mocht het brandblussysteem een beginnende brand waarbij (enkele) spuitbussen met een (licht) ontvlambare stof betrokken zijn, niet kunnen doven dan zal de brand zich in korte tijd kunnen uitbreiden tot de gehele brandcompartiment. Een eventueel conform PGS 15 aangebrachte gaasafscheiding vormt in het algemeen geen garantie dat geen van de rocketerende spuitbussen buiten de gaasafscheiding bij de overige (gevaarlijke) stoffen terechtkomt. Vandaar dat slechts twee brandscenario´s worden beschouwd, namelijk één met het kleinste brandoppervlak en één ter grootte van het gehele brandcompartiment. In tegenstelling tot andere stofcategorieën is het maximum brandoppervlak voor de opslag van spuitbussen geen 900 m^2, maar 2500 m^2**.** Voor de bepaling van de

CONCEPT

bronsterkte kan de aanpak beschreven in het rekenvoorschrift worden gehanteerd, waarbij de brandsnelheid 0,100 kg/m^2.s bedraagt.

Indien de gaasafscheidingen echter zodanig worden aangebracht dat kan worden aangetoond dat het niet waarschijnlijk is dat rocketerende spuitbussen in het opslagdeel bij de andere gevaarlijke stoffen terecht kunnen komen, beperkt de snelle branduitbreiding zich tot uitsluitend het gedeelte waar de spuitbussen zijn opgeslagen. Daarna kan vervolgens een ´gewone´ branduitbreiding plaatsvinden tot een brandoppervlak van maximaal 900 m^2 (zonder dat pluimstijging plaats vindt).

Bij opslag van alleen spuitbussen met een inert drijfgas is een brandscenario dat externe veiligheidsrisico´s veroorzaakt niet waarschijnlijk. Wanneer deze spuitbussen samen met andere gevaarlijke stoffen zijn opgeslagen, vormen deze spuitbussen eveneens geen extra risico met betrekking tot branduitbreiding en kan de aanpak voor overige gevaarlijke stoffen worden gehanteerd.

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

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

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

Voorbeelden:

CONCEPT

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

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

Organische peroxiden
Gezien de beperkte toegelaten hoeveelheid (1.000 kg), de verpakkingsgrootte (uitsluitend zgn. ´limited quantities´) en het type peroxide (type C t/m F zonder temperatuurbeheersing) in een PGS 15 opslagruimte hoeft deze stofcategorie niet apart te worden beschouwd.

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

Brandbare stoffen
1. ontvlambare stoffen (ADR klasse 3)
2. brandbare stoffen

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

CONCEPT

Tabel 30 voorbeeldstoffen per 'brandgevaar'-categorie

Categorie	**Voorbeelden**
1 ontvlambare stoffen	aceton, ethanol, isopropylalcohol, styreen, tolueen en hydrazine
2 brandbare stoffen	TDI, MDI, fenol, aniline, naftaleen o-cresol en glycol; ADR klasse 4 stoffen zoals zwavel, aluminiumpoeder en calciumfosfide; organische peroxiden zoals dibenzoylperoxide,
3 stoffen die bij brand kunnen ontleden of verdampen	oxiderende stoffen zoals natriumnitraat, natriumchloraat; oleum, perchloorethyleen, trichloorethyleen, en kaliumcyanide; oplossingen zoals ammonia (25%), 50% salpeterzuur ,zoutzuur (36%) en 50% zwavelzuur; chloorbleekloog, broom
4 onbrandbare stoffen	kryoliet ($Na_3AlF_{6)}$, natriumcarbonaat (soda) verdunde (waterige) oplossingen (<25%) met een dampspanning < 23 mbar salpeterzuur, zoutzuur en zwavelzuur

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

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

De bovenstaande indeling in vier ´brandgevaar´-categorieën is bedoeld om de bevoegd gezagen kritisch naar het gevaar van de opgeslagen verpakte gevaarlijke stoffen te laten kijken en niet overal standaard uit te gaan van een brand die externe veiligheidsrisico's veroorzaakt. Aangezien de indeling enige ruimte laat voor interpretatie zoals ontbrekende informatie omtrent ontledingstemperatuur (hoger of lager dan 600ºC), hoe om te gaan met moeilijk brandbare stoffen etc.), wordt aangeraden bij twijfel ten aanzien van het brandgevaar advies in te winnen bij de regionale brandweer.
Bij opslag van uitsluitend niet-brandbare (gevaarlijke) stoffen – zijnde categorie 3 en 4 – zal weliswaar bijna altijd (een kortdurende) brand kunnen uitbreken, maar wordt een brandscenario dat externe veiligheidsrisico's veroorzaakt niet aannemelijk geacht. Daarbij wordt er van uit gegaan dat er geen andere

CONCEPT

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

Wanneer zowel niet-brandbare (gevaarlijke) stoffen, alsmede brandbare (gevaarlijke) stoffen – vallend in categorie 1 en 2 – worden opgeslagen, is een brandscenario dat externe veiligheidsrisico's veroorzaakt waarschijnlijk. In dat geval moeten alle stoffen die bij brand betrokken kunnen raken (dus stoffen vallend in categorie 1, 2 en 3) worden beschouwd ongeacht de verhouding brandbaar / niet-brandbaar. Onbrandbare stoffen (categorie 4) hoeven niet te worden beschouwd. Weliswaar zal bij een toenemend aandeel brandbare stoffen (ten opzichte van niet-brandbare stoffen) een groter deel van de aanwezige niet-brandbare stoffen bij de brand betrokken kunnen raken, maar om de methodiek zo eenvoudig mogelijk te houden, is ervoor gekozen hier verder geen rekening mee te houden.

Onoverdekte brandcompartimenten
Bij onoverdekte opslagcompartimenten zal in geval van brand snel sprake zijn van pluimstijging, waardoor de in de hete rook aanwezige giftige verbrandingsproducten tot grote hoogte stijgen. Door verdunning zullen geen letale concentraties in de omgeving van de opslagvoorziening worden bereikt (tenzij een blusactie direct wordt ingezet en de pluim wordt gekoeld): de mate van pluimstijging is afhankelijk van de grootte van het brandoppervlak, de verbrandingswarmte en de windsnelheid. Bij grotere brandoppervlakken is bijna altijd sprake van pluimstijging. Kleinere brandoppervlakken (ca. 20 m^2) zijn vanuit oogpunt van externe veiligheid niet relevant. Vandaar dat onoverdekte opslagcompartimenten niet in een QRA hoeven te worden beschouwd.

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

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

Bepaling kans op brand in een opslagvoorziening

CONCEPT

De basisfaalfrequentie van 8,8 ×10^{-4} per jaar is gebaseerd op vier grote representatieve branden in de periode 1975-1987 onder 350 bedrijven in Nederland waar bestrijdingsmiddelen werden opgeslagen: 4/(13 x 350) = 8,8 ×10^{-4} [56]. In 2006 heeft het RIVM nader onderzoek gedaan of er recentere casuïstiek voor branden bij PGS 15-inrichtingen beschikbaar is. Daartoe zijn o.a. het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), het Nederlands Instituut voor Fysieke Veiligheid Nibra (NIFV), verschillende verzekeringsmaatschappijen en overkoepelende organisaties, ondernemersorganisaties (VNO-NCW, Deltalinqs) en leden van de Vereniging van Inspectieinstellingen voor Veiligheid en Brandveiligheid (VIVB) benaderd.

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

Er is altijd veel discussie over de kans op een brand in een opslag met verpakte gevaarlijke stoffen. De kans op een beginnende brand van ongeveer één keer per 1000 jaar per opslagruimte wordt betwist. Deze faalkans zou te pessimistisch zijn, omdat de opslagvoorzieningen tegenwoordig veiliger zijn. Wat echter wordt vergeten, is dat binnen de faalkans ook zeer kleine branden (20 m^2) worden meegeteld, die in de meeste gevallen zeer snel worden geblust en niet in het nieuws zullen komen. De categorie kleine branden is volgens de risicomethodiek verreweg het grootst. De kans op een grote uitslaande brand van 300 m^2 of meer is bij de meest voorkomende brandbestrijdingsystemen al een factor 100 kleiner, namelijk één keer in de 100.000 jaar.

Omdat dus nergens in Nederland systematische registratie van branden plaatsvindt voor dit type opslagbedrijven en vanwege het feit dat in andere Europese landen zoals België hogere brandkansen worden gehanteerd [58], is de huidige basisfaalfrequentie van 8,8 × 10^{-4} per jaar bij gebrek aan recentere faalcijfers gehandhaafd (net als de 5× lagere faalfrequentie voor de opslag van minder brandgevaarlijke stoffen).

Brandfrequentie per brandcompartiment

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

De keuze voor een brandkans per brandcompartiment die overigens ook in Vlaanderen wordt toegepast [59], is een logische voor opslagvoorzieningen die voldoen aan PGS 15: in PGS 15 wordt in de toelichting bij voorschrift 3.2.3.1 vermeld dat een opslagruimte als een brandcompartiment wordt gezien. Dit houdt in dat de opslagruimte een weerstand tegen branddoorslag en –overslag

CONCEPT

(WBDBO) van ten minste 60 minuten moet bezitten en dat de wanden, het dak en de draagconstructie van deze ruimte minimaal 60 minuten brandwerend moeten zijn uitgevoerd. Tussen geschakelde brandcompartimenten moeten voorzieningen aanwezig zijn die ervoor zorgen dat het falen van het ene brandcompartiment niet mag leiden tot het bezwijken van de draagconstructie van het andere brandcompartiment. Dit betekent dat het niet uitmaakt of meerdere brandcompartimenten samen één opslaggebouw vormen of los van elkaar staan.
Verder zijn belangrijke brandoorzaken zoals brandstichting, kortsluiting en blikseminslag niet gerelateerd aan de grootte van de opslagvoorziening. Vanwege de beperkte casuïstiek met betrekking tot branden heeft de CPR-RE commissie in 2001 geconcludeerd dat de brandfrequentie niet nader kan worden gedifferentieerd naar oppervlakte [60]. Daarmee is bijvoorbeeld de kans op brand in een opslagvoorziening van 300 m^2 gelijk aan die in een opslagruimte van 2500 m^2.

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

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

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

Berekeningen tonen echter aan dat dit alleen geldt bij opsplitsing van grote opslagvoorzieningen in twee brandcompartimenten (zie Tabel 31). Bij opsplitsing in meer dan twee compartimenten of bij opsplitsing van kleinere opslagvoorzieningen is dit niet het geval: bij opsplitsing van grote opslagvoorzieningen neemt namelijk wel de kans op brand toe, maar neemt het

CONCEPT

effect er van ^{2} wordt gerekend.

Tabel 31 Invloed van opdeling van een opslaggebouw in meerdere brandcompartimenten op het plaatsgebonden risico (uitgaande van een gemiddeld stikstofgehalte van 5%).

Opslagconfiguratie	**PR 10^{-6}**	**PR 10^{-7}**	**PR 10^{-8}**
Automatisch sprinklerinstallatie - 2500 m^2	-	35 m	50 m
- 1x 2500 m^2	30 m	35 m	45 m
- 2x 1250 m^2	-	-	60 m
- 3x 833 m^2	-	-	55 m
- 5x 500 m^2			
Automatische sprinklerinstallatie - 600 m^2	-	20 m	30 m
- 1x 600 m^2	-	15 m	35 m
- 2x 300 m^2	-	20 m	35 m
- 4x 150 m^2			
Automatische hi-ex inside-air installatie - 2500 m^2	-	35 m	50 m
- 1x 2500 m^2	-	30 m	45 m
- 2x 1250 m^2	-	-	55 m
- 5x 500 m^2			
Beschermingsniveau 3 - 2500 m^2			
- 1x 2500 m^2	85 m	265 m	495 m
- 2x 1250 m^2	105 m	335 m	555 m
- 5x 500 m^2	75 m	165 m	270 m
Beschermingsniveau 3 - 600 m^2			
- 1x 600 m^2	80 m	250 m	470 m
- 2x 300 m^2	90 m	180 m	275 m
- 4x 150 m^2	45 m	60 m	80 m

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

CONCEPT

Bepaling kans op brand van een bepaalde omvang

Naamgeving brandbestrijdingssystemen
De naamgeving van de brandbestrijdingssystemen in het rekenvoorschrift zijn verduidelijkt ten opzichte van de CPR-15 rekenmethode uit 1997. In Tabel 32 zijn de nieuwe en oude naamgeving weergegeven:

Tabel 32 Nieuwe en oude naamgeving brandbestrijdingssystemen

Naamgeving PGS 15 rekenmethode	Naamgeving CPR-15 rekenmethode (1997)
Beschermingsniveau 1 1.1a Automatische sprinklerinstallatie 1.1b idem sprinklers in rekken 1.2 Automatische deluge installatie 1.3 Automatische blusgasinstallatie 1.4 (Semi-) automatische monitorinstallatie 1.5 Automatische hi-ex outside-air installatie 1.6 Automatische hi-ex inside-air installatie 1.7 Bedrijfsbrandweer - handbediend deluge 1.8 Bedrijfsbrandweer – binnenaanval 1.9 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door bedrijfsbrandweer 1.10 Handbediend deluge-installatie met watervoorziening door lokale brandweer	Beschermingsniveau 1 Automatische sprinklerinstallatie Automatische sprinklerinstallatie Automatische sproei-(deluge-)installatie Automatische gasblusinstallatie n.v.t. (nieuw brandbestrijdingssysteem PGS-15) Hi-ex installatie met rookluiken Hi-ex installatie inside air Bedrijfsbrandweer cat. 1 of 2; handbediende deluge Bedrijfsbrandweer cat.1; ter plaatse blussen Bedrijfsbrandweer cat. 1 of 2; droog systeem . Lokale brandweer; droog systeem
Beschermingsniveau 2 – inzettijd < 6 min 2.1a ADR klasse 3 in kunststof 2.1b Idem NIET in kunststof 2.1c Geen ADR klasse 3 Beschermingsniveau 2 – inzettijd < 15 min 2.2a ADR klasse 3 in kunststof 2.2b Idem NIET in kunststof 2.2c Geen ADR klasse 3	**Beschermingsniveau 2:** **B**edrijfsbrandweer cat. 1 of 2 of overheidsbrandweer inzetbaar < 6 min. . **Beschermingsniveau 2:** Bedrijfsbrandweer cat. 1 of 2 of overheidsbrandweer inzetbaar < 15 min.
Beschermingsniveau 3	**Beschermingsniveau 3**: preventieve maatregelen overeenkomstig CPR 15-2 of 15-3

Maximaal brandoppervlak 900 m^2
Indien in een opslagruimte aantoonbaar voorzieningen zijn getroffen om te voorkomen dat product of bluswater naar naastgelegen vakken kan uitstromen, is het niet aannemelijk dat binnen 30 minuten na aanvang van de brand deze

CONCEPT

zodanig is geëscaleerd dat de brand een oppervlak van 1.500 en 2.500 m^2 (i.e. brandscenario´s uit de CPR-15 rekenmethodiek [57]) omvat zonder dat pluimstijging optreedt. Ook kunnen branden zich binnen een omvangrijke opslagruimte verplaatsen (dus niet alleen uitbreiden), waardoor het totale brandoppervlak niet dat van de gehele opslagruimte zal omvatten. Om deze redenen hoeft een brand met een oppervlak groter dan 900 m^2 in dat geval niet in een QRA te worden beschouwd. Bij de opslag van spuitbussen wordt een dergelijk snelle branduitbreiding wel realistisch geacht.

Bepaling maximum (oppervlaktebeperkte) brandsnelheid

Brandsnelheid en stikstofgehalte (stikstofhoudende) ADR klasse 3 stoffen

Voor stikstofhoudende ADR klasse 3 stoffen is nagegaan of een lagere brandsnelheid dan 0,100 kg/m^2.s zou kunnen worden gehanteerd. Daartoe is gebruik gemaakt van de stoffendatabase SERIDA met veel voorkomende gevaarlijke stoffen in Nederland. Van de
in deze database zijn er 16 stikstofhoudend. De brandsnelheid voor deze stoffen is weergegeven in Tabel 33. De brandsnelheid van 12 van deze stikstofhoudende ADR klasse 3 stoffen ligt tussen de 0,010 en 0,080 kg/m^2.s en bedraagt gemiddeld 0,038 kg/m^2.s (van vier stoffen waren geen gegevens beschikbaar of konden de brandsnelheden niet worden bepaald). Vanwege de grote spreiding in brandsnelheden wordt de bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval een voldoende conservatieve waarde geacht voor de brandsnelheid van stikstofhoudende ADR klasse 3 stoffen: 0,080 kg/m^2.s (0,038 + 2x 0,021; zie Tabel 33). Om te voorkomen dat in een QRA met drie verschillende brandsnelheden moet worden gerekend (0,025, 0,080 en 0,100 kg/m^2.s), is de waarde van 0,100 kg/m^2.s voor alle ADR klasse 3 stoffen gehandhaafd.

Tabel 33 Brandsnelheid stikstofhoudende ADR klasse 3 stoffen

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

CONCEPT

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

$$B = H_c / \{1000 \times (H_{vap} + (T_b - T) \times C_p)\} \quad (8.17)$$

waarin

H_c	=	Verbrandingswarmte [J/kg]
H_{vap}	=	Verdampingswarmte [J/kg]
T_b	=	Kookpunt [ºC]
T	=	Omgevingstemperatuur [ºC]
C_p	=	Soortelijke warmte [J/kg.ºC]

Verpakte (gevaarlijke) stoffen die niet bij brand betrokken kunnen raken, hoeven niet te worden beschouwd bij het bepalen van de gemiddelde samenstelling van de opgeslagen stoffen. Stoffen die niet brandbaar zijn, maar bijvoorbeeld bij verhoogde temperatuur door ontleding of verdamping bij een brand betrokken kunnen raken, moeten wel worden beschouwd (althans indien brandbare stoffen in het opslagcompartiment aanwezig zijn). Voor ontleding wordt een ontledingstemperatuur van 600ºC als criterium gehanteerd, overeenkomstig de maximale temperatuur bij een beginnende brand [61]: bij een beginnende brand loopt de temperatuur op tot 400 - 600ºC; bij een meer ontwikkelde brand 600 tot 900 à 1.200ºC.

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

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

Voor situaties waarbij van een vast stikstofgehalte van 10% wordt uitgegaan (zoals bij opslag- en transportbedrijven met honderden tot duizenden verschillende stoffen, waarvan de gemiddelde samenstelling per dag sterk kan fluctueren), kan formule 8.5 niet worden gehanteerd, omdat de gemiddelde samenstelling van de opgeslagen stoffen niet bekend is. In die gevallen mag worden gerekend met de volgende denkbeeldige voorbeeldstof

CONCEPT

$C_{3,90}H_{8,50}O_{1,06}Cl_{0,46}N_{1,17}S_{0,51}P_{1,35}$ met een molmassa heeft van 163 g/mol en een zuurstofbehoefte van 6 mol/mol uitgangsproduct.

Het stikstofgehalte van 10% is een beleidsmatige keuze bepaald op basis van een onderzoek van Tebodin waarbij stikstofgehalten in opslagvoorzieningen zijn geïnventariseerd [62]. Uit dit onderzoek bleek dat bij slechts een beperkt aantal opslagvoorzieningen het stikstofgehalte hoger lag 10%.

Bepaling bronterm giftige verbrandingsproducten [kg/s]

Omzettingspercentage stikstofhoudende verbindingen in NO_2 (en HCN)
Het gehanteerde omzettingspercentage in de risicomethodiek CPR-15 bedrijven [57]voor stikstofhoudende verbindingen naar NO_x (de som van alle gevormde stikstofhoudende componenten in de verbrandingsgassen, zoals NO, NO_2, N_2O, NH_3 en HCN), is gebaseerd op een literatuuronderzoek van het RIVM uit 1995 [63]. Daarbij werd een gemiddeld omzettingspercentage van ongeveer 10% gevonden met een maximum van 35% voor ammoniumnitraat. Vanwege onzekerheden met betrekking tot niet-verbrande uitgangsproducten en andere (stikstofhoudende) verbrandingsproducten, is destijds een toeslag gekozen van 25% bovenop de gemiddelde waarde van 10%. Dit resulteerde in het huidige omzettingspercentage van 35%.

In het kader van de herziening van de rekenmethodiek is het omzettingspercentage voor stikstofhoudende verbindingen van 35% geëvalueerd, waarbij ook nadrukkelijk naar HCN is gekeken (welke net als NH_3 geen stikstofoxide is, maar bij het onderzoek uit 1995 wel min of meer als zodanig is beschouwd). Daartoe is een uitgebreid literatuuronderzoek uitgevoerd en zijn verschillende experts in binnen- en buitenland geraadpleegd [64].

In Tabel 34 zijn de resultaten van het onderzoek samengevat, waarbij per (deel)onderzoek steeds de *hoogste* gerapporteerde omzettingspercentages zijn beschouwd. Verder zijn alleen die onderzoeken meegnomen die zijn uitgevoerd in het kader van de grote internationale onderzoeksprojecten zoals COMBUSTION en TOXFIRE, halverwege de jaren '90, of die zijn uitgevoerd door onderzoekers bij gerenommeerde onderzoeksinstituten zoals het RISØ (Denemarken), HSL (HSE, Engeland), TNO (Nederland) en Ineris (Frankrijk).

Tabel 34 Samenvatting gerapporteerde omzettingspercentages

	NO_2	HCN
Aantal onderzoeken	32	21
Gemiddeld omzettingspercentage (van de hoogste gerapporteerde waarden)	6,2 %	6,2 %

De omzettingspercentages van 6% voor zowel NO_2 als HCN liggen in de buurt van de waarden die door andere Europese landen worden gehanteerd voor stikstofhoudende verbindingen bij brand:

CONCEPT

Tabel 35 Omzettingspercentage stikstofhoudende verbindingen bij brand in omliggende landen

Land	NO_x (%)	HCN (%)	NO_x +HCN (%)
België (AMINAL)	-	-	10[22]
Denemarken (RISØ)	-	-	< 10[23]
Engeland (HSE)	5	5	10
Frankrijk (INERIS)	20	20	40

e: Het gaat om een voorgestelde waarde;
f: RISØ beschouwt een waarde van 10% als “highly conservative”;

Frankrijk (INERIS) wijkt wat gekozen omzettingspercentage betreft af van Engeland, Denemarken en mogelijk ook België, maar heeft zijn NO_x en HCN conversies *afgeleid* en niet zoals de anderen daadwerkelijk gemeten: INERIS heeft op basis van verbrandingsproeven aangetoond dat bij stikstofhoudende verbindingen 60% van de stikstof wordt omgezet in N_2. Conservatief is aangenomen dat de overige 40% in gelijke mate wordt omgezet in NO_x en HCN.

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

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

De vrijkomende stikstofhoudende giftige verbrandingsproducten worden gemodelleerd als NO_2. Hoewel HCN giftiger is dan NO_2, zijn de effecten van het vrijkomen van HCN nauwelijks groter doordat grotere giftigheid wordt gecompenseerd door een lagere molmassa en daarmee een lagere bronsterkte (zie formule 8.8 en 8.11). In Tabel 36 is dit aangetoond aan de hand van een opslagvoorziening met beschermingsniveau 3:

Tabel 36 PR 10-6 afstanden voor een beschermingsniveau 3 opslagvoorziening van 2500 m2 bij modellering als NO2 alsmede HCN (stikstofgehalte 15%)

Omzettingspercentage	Bronsterkte NO_2 300 / 900 m^2	Bronsterkte HCN 300 / 900 m^2	PR 10^{-6} afstand
10% N → NO_2	0,369 / 1,108 kg/s	-	270 m

[22] Het gaat om een voorgestelde waarde
[23] RISØ beschouwt een waarde van 10% als “highly conservative”

CONCEPT

10% N → HCN	-	0,217 / 0,650 kg/s	280 m
6,2% N → NO_2 & 6,2% N → HCN	0,229 / 0,687 kg/s	0,134 / 0,403 kg/s	235 m

Parameter: Bronterm onverbrand giftig product [kg/s]

Survival fractie (fractie onverbrand product)
Aan experts van de HSE (Engeland) en RISØ (Denemarken) is gevraagd hoe zij tegen de huidige – van het vlampunt afhankelijke - survivalfractie aankijken. Vanuit beide instituten is aangegeven dat met name de opslaghoogte van (zeer) giftige stoffen bepalend is voor de hoeveelheid onverbrand product dat vrijkomt (en niet zo zeer het vlampunt). Uit onderzoek [65, 66, 67] blijkt dat hoge survivalfracties worden gemeten wanneer vloeibare en poedervormige organofosforverbindingen (pesticiden) vanuit hoge palletplaatsen in de vlammen op grondniveau terechtkomen. Een belangrijk deel van deze kleine deeltjes of druppels bereikt de grond niet en wordt direct met de warme rookgassen weggevoerd. Dit verschijnsel treedt bij lagere opslaghoogte en grotere deeltjes (granulaat) veel minder op. Om die reden wordt vanuit de genoemde instituten dan ook aanbevolen de opslaghoogte van (zeer) giftige stoffen te beperken.

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

Omdat de onderbouwing van de huidige survivalfractie van 2 en 10% niet meer te achterhalen is en de geraadpleegde experts afraden een rekenwaarde te hanteren die van het vlampunt afhangt, is de huidige rekenmethode aangepast door rekening te houden met de opslaghoogte en ventilatievoud:
- Voor de opslaghoogte wordt onderscheid gemaakt in lage en hoge palletplaatsen, waarbij overeenkomstig PGS 15 1,80 meter als onderscheidend criterium wordt gehanteerd (zijnde de beproefde valhoogte voor UN-goedgekeurde verpakkingen; bijlage 3 pagina 69): giftige stoffen die op grondniveau of één palletplaats hoger worden opgeslagen worden derhalve als ‘laag’ beschouwd, de palletplaatsen daarboven als ‘hoog’.

Ten aanzien van de ventilatievoud wordt onderscheid gemaakt in zuurstof- en oppervlaktebeperkte branden. Bij de ‘beschermingsniveau 1’-brandbestrijdingssystemen waarbij in de methodiek met een ventilatievoud van

zuurstofbeperkt is (zie Tabel 37). De brandscenario´s bij opslagvoorzieningen 300 m^2 zijn grotendeels zuurstofbeperkt, dit in tegenstelling tot grotere opslagvoorzieningen waarbij de brand grotendeels oppervlaktebeperkt is. Dit komt omdat de beschikbare hoeveelheid zuurstof bij een kleinere opslagvoorziening kleiner is en daarmee het (minimum) oppervlak van de zuurstofbeperkte brand. Als gevolg hiervan zullen steeds meer scenario’s zuurstofbeperkt worden. Om die reden is voor de genoemde

brandbestrijdingsystemen nader onderscheid gemaakt in de grootte van de opslagvoorziening.

Voorbeeld:
Bij een 100, 300 en 900 m^2 opslagvoorziening met automatische sprinklerinstallatie is het aandeel van de brandscenario's welke zuurstofbeperkt zijn respectievelijk 98%, 54% en 11% (zie Tabel 37). Wanneer er geen beperkingen zijn gesteld aan de opslaghoogte van de aanwezige (zeer) giftige stoffen, moet bij de 100 en 300 m^2 opslagen volgens de tabel Rekenwaarde voor de survivalfractie uit het rekenvoorschrift met een survivalfractie van 10% worden gerekend en bij de 900 m^2 opslagvoorziening met 1%.

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

Tabel 37 Aandeel zuurstofbeperkte brandscenario´s bij verschillende omvang van het brandcompartiment voor een tweetal brandbestrijdingsystemen (met automatische, bij brand zelfsluitende deuren)

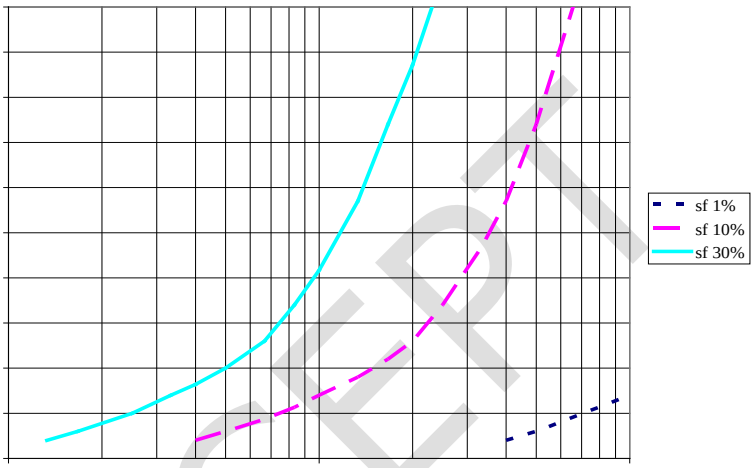
Omvang brandcompartiment	Brandscenario's die zuurstofbeperkt zijn (bij ventilatievoud 4)	Aandeel zuurstofbeperkte scenario's t.o.v. basis faalkans	
		Sprinkler installatie	Hi-ex inside air-installatie
100 m^2	20, 50 en 100 m^2	0,98 × (1) = 98%	0,98 × (1) = 98%
300 m^2	50, 100 en 300 m^2	0,98 × (1- 0,45)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

Ten aanzien van de rekenwaarde voor de survivalfractie is aangesloten bij de waarden die de HSE in haar Safety Report Assessment Guide [68] vermeldt, namelijk 10% en 30%. Voor de situaties waarin de risico's kleiner zijn, wordt een survivalfractie van 1% gehanteerd.

Risicobijdrage onverbrand product

CONCEPT

Het voorbeeld in Figuur 17 van een 2.500 m^2 opslagruimte voorzien van een automatische sprinkler-installatie laat zien dat bij ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I stoffen de risicoafstand als gevolg van het vrijkomen van onverbrande (zeer) giftige stoffen (bij brand) vanaf een bepaalde opgeslagen hoeveelheid (drempelwaarde) snel oploopt. Voor verpakkingsgroep II geldt overigens hetzelfde, alleen ligt de drempelwaarde veel hoger (zie Tabel 38).



Figuur 17 Risicobijdrage van onverbrande ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I stoffen bij een survivalfractie van 1, 10 en 30% (100% werkzame stof) van een 2.500 m2 opslagruimte voorzien van een automatische sprinklerinstallatie (PR 10-6 giftige verbrandingsproducten = 50 m).

Uit het consequentieonderzoek PGS 15-inrichtingen [69] is gebleken dat het aandeel van ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I stoffen in een opslagvoorziening bij BRZO-bedrijven in Nederland beperkt is: hoogstens enkele procenten met enkele uitschieters tot (incidenteel) 25 massa%. Vandaar dat in veel situaties de bijdrage van onverbrande (zeer) giftige stoffen te verwaarlozen is ten opzichte van de bijdrage van de giftige verbrandingsproducten.

In Tabel 38 is voor een viertal veel voorkomende brandbestrijdingsystemen berekend vanaf welke drempelwaarde de bijdrage van onverbrande giftige stoffen te verwaarlozen is en dus niet in een QRA hoeft te worden beschouwd. De drempelwaarden voor verpakkingsgroep I en II in Tabel 38 gelden voor een survivalfractie van 10% en zuivere stoffen (fractie werkzame stof 100%). In een voorbeeldberekening op de volgende pagina is aangegeven hoe de drempelwaarde bij andere waarden voor de survivalfractie dan 10% en/of afwijkende percentages werkzame stof kan worden berekend.

CONCEPT

Tabel 38 Drempelwaardentabel ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I en II stoffen bij een survivalfractie van 10%. Wanneer de aanwezige hoeveelheid (zeer) giftige stoffen beneden de drempelwaarde ligt, mag de bijdrage van onverbrand product worden verwaarloosd.

Type opslagvoorziening	Verpakkingsgroep I			Verpakkingsgroep II[24]		
Stikstofgehalte	5%	10%	15%	5%	10%	15%
Automatische sprinklerinstallatie[25]	<2%	<3%	<4%	<17%	<25%	<34%
- brandsnelheid 0,025 kg/m^{2}s	<2%	<2,5%	<3%	<17%	<21%	<25%
- brandsnelheid 0,050 kg/m^{2}s						
Automatische hi-ex inside-air inst.[25]	<2%	<3%	<4%	<17%	<25%	<34%
- brandsnelheid 0,025 kg/m^{2}s	<2%	<3%	<4%	<17%	<25%	<34%
- brandsnelheid 0,050 kg/m^{2}s						
Beschermingsniveau 2						
- brandsnelheid 0,025 kg/m^{2}s	<1%	<2%	<3%	<8%	<15%	<20%
Beschermingsniveau 3						
- brandsnelheid 0,025 kg/m^{2}s	<1%	<1,5%	<2%	<10%	<13%	<15%

Bij andere waarden voor de survivalfractie dan 10% en/of afwijkende percentages werkzame stof kan de drempelwaarde worden afgeleid op basis van formule 8.14 en 8.15 (waarbij de bronsterkte $_{T+}$ gelijk moet blijven) en de in Tabel 38 vermelde waarden.

Voorbeeld:
Bij een opslagvoorziening voorzien van een automatische sprinklerinstallatie (met stikstofgehalte 15% en brandsnelheid 0,050 kg/m^{2}s) mag de bijdrage van onverbrand product - uitgaande van een survivalfractie van 10% - worden verwaarloosd bij een aandeel ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I stoffen van kleiner dan 3 massa% (en <25 massa% bij verpakkingsgroep II). Wanneer de survivalfractie 1% zou bedragen, worden deze drempelwaarden met een factor 10 verhoogd: voor verpakkingsgroep I en II respectievelijk 30 en “250” massa% (een waarde > 100% betekent dat de bijdrage van onverbrand product altijd is te verwaarlozen). Bij een survivalfractie van 30% worden de drempelwaarden respectievelijk 1 en 8,3 massa% (een factor 3 lager t.o.v. de waarde *in* Tabel 38). Indien de fractie werkzame stof 50% bedraagt in plaats van 100%, komen de drempelwaarden voor verpakkingsgroep I en II bij een survivalfractie van 10% een factor 2 hoger te liggen, namelijk respectievelijk 6 en 50 massa%.

[24] Aan de hand van de dosis-effectrelatie kan worden afgeleid dat de drempelwaarden voor verpakkingsgroep II een factor 8½ hoger liggen dan die voor verpakkingsgroep I.
[25] Bij de in de tabel vermelde waarden is uitgegaan van automatische, bij brand zelfsluitende deuren.

CONCEPT

Toxiciteit

De dosis-effect relaties van de voorbeeldstoffen voor verpakkingsgroep I en II in zijn gebaseerd op LC_{50}-waarden voor het inademen van stof en nevels (zie *Tabel 39* waarbij ten behoeve van verpakkingsgroep I (LC_{50}-waarden (rat, 4h) < 0,2 mg/l) uitsluitend zogenaamde 'brongegevens' uit SERIDA zijn gehanteerd (en geen afgeleide LC_{50}-waarden):

Tabel 39 Toxiciteitgegevens ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I stoffen uit SERIDA

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

De variatie in LC_{50}-waarde (humaan, 30 min) in Tabel *39* is groot. Een aantal stoffen heeft een LC_{50}-waarde die hoger is dat de waarde behorende bij de verpakkingsgroep I drempelwaarde voor stof en nevels van 0,2 mg/l (namelijk 141 mg/m^3). Daarom zijn alleen die stoffen beschouwd met een LC_{50}-waarde (humaan, 30 min) lager dan 141 mg/m^3. Hiervoor is de gemiddelde waarde als rekenwaarde gehanteerd: 42 mg/m^3 (0,06 mg/l).

Dit leidt conform PGS 1 [70] tot de volgende dosis-effect relatie per verpakkingsgroep:

CONCEPT

Tabel 40 LC_{50}-rekenwaarden en dosis-effect relaties per verpakkingsgroep (voorbeeldstof)

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

Indien in een QRA aannemelijk kan worden gemaakt dat de LC_{50}-waarden van de aanwezige (zeer) giftige stoffen afwijken van de rekenwaarde in Tabel 40, mag een afwijkende LC_{50}-waarde worden gehanteerd. Hiervoor kan een aanvraag worden ingediend bij de SAFETI-NL helpdesk die vervolgens door de toetsgroep probitrelaties moet worden goedgekeurd.

Parameter: Bronterm giftige emissies bij overslag in open lucht [kg/s]
Bij laden en lossen in de buitenlucht kan de inhoud van een verpakking met een zeer giftig inhaleerbaar poeder (ADR klasse 6.1 verpakkingsgroep I) bij een grotere valhoogte dan 1,80 meter of door doorboring vrijkomen. In de methodiek wordt geen nader onderscheid gemaakt in faalfrequentie voor situaties waarbij de valhoogte wel of niet groter is dan 1,80 meter. In beide gevallen geldt de frequentie uit de tabel met Scenario's voor de verlading van zeer giftige stoffen in de open lucht

CONCEPT

6 Toelichting E.8 Rekenvoorschrift metaalproductenindustrie: cyanidehoudend bad

In deze rekenmethode is getracht om de scenario's te identificeren die relevant zijn voor externe veiligheid, dat wil zeggen scenario's waarbij gevaarlijke stoffen vrijkomen in zodanige hoeveelheden dat er dodelijke slachtoffers kunnen vallen buiten de inrichting. Bij deze afweging is verondersteld dat de afstand tot de terreingrens minimaal 10 meter bedraagt.

De rekenmethode is opgesteld door het Centrum Veiligheid van het RIVM in samenwerking met AVIV op basis van een eerdere conceptversie[71]. Deze conceptversie is onder betrokkenen op aanvraag verspreid. Een onderzoek van het RIVM in opdracht van de toenmalige VROM-Inspectie, in de periode van 2003 tot 2005, kan gezien worden als startpunt voor de ontwikkeling van de rekenmethode. Dat onderzoek heeft geleid tot de allereerste versie van de rekenmethode die destijds is gepubliceerd in een bijlage bij een rapport van de VROM-inspectie[72].

Ten opzichte van de voorgaande conceptversie[71] zijn de volgende wijzigingen aangebracht:

- Bij de modellering wordt er van uit gegaan dat indien een galvaniseerlijn door brand wordt getroffen de brand zich over de gehele galvaniseerlijn zal uitbreiden. De baden zijn doorgaans gemaakt van kunststof (PP of PE) en zodanig dicht naast elkaar opgesteld dat brandoverslag plaatsvindt. Alleen als de baden zijn voorzien van een onafhankelijke veiligheidsmaatregel tegen droogverdampen van een bad (een significante oorzaak van brand) kan de kans op brand beperkt worden.
- De totale massa cyanide in de galvaniseerlijn draagt bij aan de bronterm indien de galvaniseerlijn begint te branden door de branduitbreiding. Aangenomen wordt dat alle cyanidehoudende baden zijn leeggestroomd voordat pluimstijging optreedt.

Voor de ontwikkeling van rekenmethoden zijn binnen het deskundigenoverleg risicoanalyses (DORA) toetsingscriteria opgesteld. Deze zijn vermeld in Tabel 41. De uitwerking wordt hierna beschreven. Daarna wordt puntsgewijs ingegaan op de belangrijkste onderdelen van de methode en de onderbouwing hiervan.

Tabel 41 Toetsingscriteria voor rekenmethoden

Modelaspect	**Transparantie**	**Verifieerbaar**	**Robuust**	**Validiteit**
Scenario's	(1)	(2)	(3)	(4)
Modellen	(5)	(6)	(7)	(8)
Parameters	(9)	(10)	(11)	(12)
Risico's	(13)	(14)	(15)	(16)

1. Transparantie van scenario's. In dit document worden de gemaakte keuzen verantwoord. Bij het ontwikkelen van de scenario's is uitgegaan van een ander brandontwikkelingsmodel dan voor PGS15 inrichtingen.

CONCEPT

2. Verifieerbaarheid van scenario's. Er zijn drie scenario's die beschouwd moeten worden. Dit zijn een brand in een galvaniseerruimte, de verspreiding van cyanide door het falen van de verpakking tijdens de overslag vanuit de vrachtwagen naar de opslagruimte en het falen van de PGS-15 opslagruimte door brand indien groter dan 10 ton. Deze laatste scenario's zijn conform de rekenmethode van PGS15-opslagvoorzieningen.
3. Robuustheid van scenario's. Er zijn geen incidenten bekend waarbij omwonenden zijn overleden door een ongeval bij een galvaniseerbedrijf. Externe veiligheidsrisico's worden wel berekend omdat de mogelijkheid van een relevante emissie niet wordt uitgesloten. De rekenmethode houdt alleen rekening met emissies van blauwzuurgas bij het ongevalscenario brand. Emissies door foutieve menging van stoffen in een galvaniseerbad (menging cyanidezout in zuurbad) worden verondersteld niet te kunnen bijdragen aan het plaatsgebonden risico. Risico's van de opslag van verpakte gevaarlijke stoffen in PGS-15 opslagen en van het verladen van (zeer) giftige vloeistoffen of poeders, worden berekend volgens de rekenmethode voor PGS-15 bedrijven.
4. Validiteit van scenario's. Er zijn geen incidenten bekend waarbij omwonenden zijn overleden door een ongeval bij een galvaniseerbedrijf. Met de rekenmethode hoeven alleen risicoberekeningen te worden uitgevoerd voor bedrijven met cyanidehoudende baden van kunststof en/of op een stellage die vroegtijdig kan falen in een brand. Voor de berekening van het plaatsgebonden risico wordt aangenomen dat potentiële slachtoffers in de buitenlucht staan en niet vluchten. Dit is een conservatieve aanname die aansluit bij rekenmethoden voor overige Bevi-inrichtingen; de feitelijke blootstelling zal bij ongevallen bij bedrijven met cyanidehoudende baden veelal lager zijn.
5. Transparantie van modellen. De verspreiding wordt berekend met SAFETI-NL. Gebruikers van SAFETI-NL hebben de beschikking over de technische documentatie.
6. Verifieerbaarheid van modellen. SAFETI-NL is beschikbaar voor alle betrokkenen.
7. Robuustheid van modellen. Daar waar informatie ontbreekt, worden in SAFETI-NL veelal voorzichtige keuzen gemaakt.
8. Validiteit van modellen. Daar waar betrouwbare informatie beschikbaar is, worden in SAFETI-NL zoveel mogelijk realistische waarden gebruikt.
9. Transparantie van parameters. In dit document worden de gemaakte keuzen verantwoord.
10. Verifieerbaarheid van parameters. De parameters die van belang zijn voor de bronterm en de invoerparameters voor SAFETI-NL zijn beschreven in de rekenmethode.
11. Robuustheid van parameters. Bij het opstellen van de rekenmethode zijn specifieke keuzes gemaakt om parameters voorzichtig realistisch te kiezen.
12. Validiteit van parameters. Bij het opstellen van de rekenmethode zijn specifieke keuzes gemaakt om parameters voorzichtig realistisch te kiezen.
13. Transparantie van risico's. De risico's worden berekend met SAFETI-NL op basis van invoergegevens die in deze rekenmethode beschreven zijn. Met kennis van SAFETI-NL is het mogelijk om de uitkomsten te begrijpen.
14. Reproduceerbaarheid van risico's. Er is nauwelijks ruimte voor (verschillende) interpretatie van de rekenmethode.
15. Robuustheid van risico's. Het berekende risico hangt af van de aanwezige hoeveelheid cyanide en van de afmetingen van het gebouw. Voor

CONCEPT

inrichtingen met een totaal volume aan cyanidebaden kleiner dan 500 liter wordt geen PR 10^{-6} contour berekend.

16. Validiteit van risico's. In aanvulling op het bovenstaande zijn voor de validiteit alleen nog algemene randvoorwaarden van belang die overeenstemmen met rekenmethoden voor andere Bevi bedrijven. In het bijzonder betreft het de aannames dat mensen gedurende (maximaal) een half uur worden blootgesteld aan giftige stoffen en dat effecten van eventueel vluchtgedrag en/of (mitigerende) maatregelen niet worden meegenomen.

Relevante stoffen

Bij galvaniseerbedrijven is een grote variatie aan stoffen en oplossingen aanwezig. De meest voorkomende oplossingen zijn zoutzuur (HCl), natronloog (NaOH), zwavelzuur (H_2SO_4), salpeterzuur (HNO_3) en natriumhypochloriet (NaOCl). Andere mogelijk relevante producten zijn cyanidehoudende oplossingen en chroom(III)zuuroplossingen. De omvang van de baden varieert sterk per bedrijf (en per galvaniseerlijn) maar ligt ruwweg tussen 100 en 7500 liter.

Als beperkte hoeveelheden oplossingen uit verschillende baden onbedoeld samenkomen, dan zijn de emissies niet relevant voor externe veiligheid. Mogelijke oorzaken voor het onbedoeld samenkomen van beperkte hoeveelheden oplossingen zijn foutieve handelingen tijdens het proces. Het gelijktijdig constructief falen van een cyanide bad en een zuurbad –tijdens normale productiesituaties- wordt niet beschouwd op grond van de (kleine) kans op deze gebeurtenis. De belangrijkste reactieproducten voor acute gezondheidseffecten zijn waterstofcyanide (HCN), nitreuze dampen (NO_x), chloor (Cl_2), zwaveloxiden (SO_x) en zoutzuur (HCl).

Als substantiële hoeveelheden oplossingen uit cyanidehoudende baden en zuurhoudende baden vrijkomen, dan is een emissie van HCN mogelijk die wel relevant is voor de externe veiligheid. Daarom zijn de risico's van een dergelijke emissie in deze rekenmethode beschouwd.

De rekenmethode richt zich uitsluitend op het vrijkomen van waterstofcyanide. Vooralsnog is niet onderzocht of emissies van andere stoffen relevant kunnen zijn voor externe veiligheid. Voor de aanwezigheid van chroom(VI)zuur in procesbaden en van poedervormig chroom(VI)zuur heeft het RIVM aangegeven dat een eventuele brandcalamiteit niet zal leiden tot externe veiligheidsrisico's[73]. Het gebruik van chroom(VI)zuur blijkt vrijwel niet meer voor te komen. Ook chroom(III) is niet acuut giftig.

Voor baden met cyanidehoudende oplossingen is een snelle en substantiële emissie van HCN alleen aannemelijk als de oplossing neutraal is of zuur. In dat geval kan de opgeloste cyanide met zuur reageren en waterstofcyanide vormen (HCN, ook bekend als blauwzuurgas). De reactievergelijking daarvoor is:

H^+ (opgelost) + CN^- (opgelost) → HCN (gas)

CONCEPT

Een deel van het vrijkomende waterstofcyanide kan in een brand ontleden tot stikstof, koolmonoxide en water(damp)[74]. De reactievergelijking daarvoor is:

HCN (gas) → N_2 (gas) + CO (gas) en H_2O (gas)

Het vrijkomen van koolmonoxide wordt echter niet meegenomen in de rekenmethode, en wel om de volgende redenen:

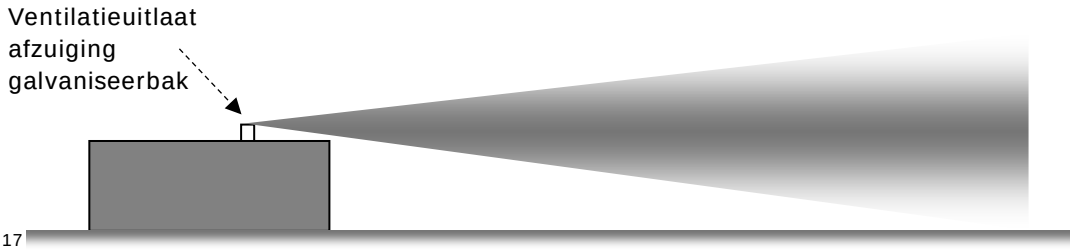
- Waterstofcyanide is aanzienlijk giftiger dan koolmonoxide;
- Koolmonoxide komt vrij bij elke brand en is dus niet specifiek voor de betreffende inrichtingen;
- De hoeveelheid koolmonoxide die via bovenstaand proces gevormd kan worden is verwaarloosbaar ten opzichte van de hoeveelheid koolmonoxide die ontstaat bij de verbranding van aanwezige bouw- en isolatiematerialen in de galvaniseerruimte.

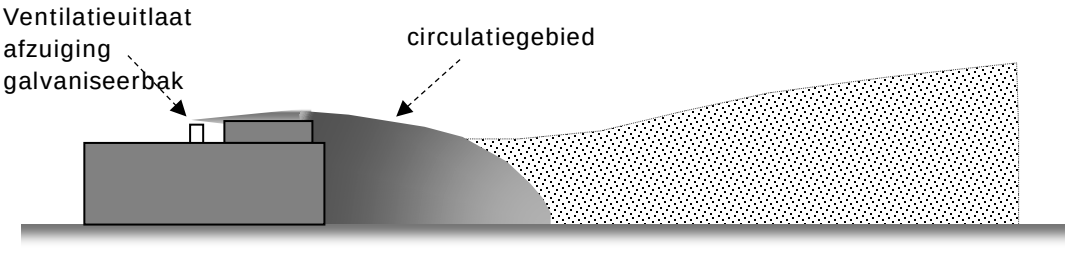
Scenario's
Er wordt aangenomen dat galvaniseerbaden zodanig gemarkeerd zijn dat zuurhoudende baden, cyanidehoudende baden en andere typen baden, visueel duidelijk van elkaar te onderscheiden zijn.

- *Brand in een galvaniseerruimte.* Bij dit scenario wordt rekening gehouden met de toepassing van metalen baden omdat deze baden door de geleiding van het metaal en de vloeistofinhoud door aanstralen van warmte niet snel zullen opwarmen en bezwijken. Voor het falen op een later moment wordt aangenomen dat de warmteontwikkeling zodanig is dat er pluimstijging optreedt, zodat hoge concentraties gevaarlijke stoffen op leefniveau vermeden worden.

- *Foutieve dosering/vulling baden*. In eerdere, niet vastgestelde, versies van de rekenmethode voor inrichtingen met cyanidehoudende baden, werd ook rekening gehouden met de risico's van het toevoegen van cyaniden aan baden en de risico's van het afvoeren van cyanidehoudende baden. De hoeveelheid HCN die daarbij zou vrijkomen was echter klein en leverde geen relevante bijdrage aan het externe veiligheidsrisico.

Een foutieve dosering betreft het toevoegen van cyanide aan een zuurbad of het toevoegen van zuur aan een cyanidebad. Een dergelijke fout zal direct worden geconstateerd door de betreffende medewerker. Er zal namelijk een sterke reactie ontstaan en blauwzuur damp ontwijkt uit de vloeistof. De afzuiging boven de bak zal de dampen afzuigen en afblazen naar de buitenlucht. In de buitenlucht zal het HCN zich verspreiden en afhankelijk van de concentratie al dan niet gevaarlijk kunnen zijn. Voor de concentraties die buiten kunnen





CONCEPT

ontstaan, maakt het uit of de HCN die de uitlaat van de ventilatie op het dak verlaat, gevangen wordt in het recirculatiegebied van het gebouw, of niet.

De bovenste afbeelding van Figuur 48 toont de situatie waarin de vrijgekomen HCN zich direct verspreidt en verdund. De onderste figuur toont de situatie waarin de HCN eerst wordt 'gevangen' en verdund in het recirculatiegebied achter het gebouw en van daaruit verder verspreidt. Dit is bijvoorbeeld mogelijk als de uitlaat van de afzuigkanalen op het dak niet hoog genoeg is of als de uittreedsnelheid van de ventillatie te laag is. De tweede situatie geeft op grondniveau buiten het circulatiegebied hogere concentraties en is wat betreft het gevaar dus ongunstiger.

Picinini[75] heeft het risico voor de omgeving geanalyseerd door een doseerfout. De analyse van Piccinini is representatief voor de situatie en de kritieke gebeurtenis waarvan bij de galvaniseerbedrijven kan worden uitgegaan. Voor de berekening in het kader van dit onderzoek zijn de ongunstigste (meest pessimistische) waarden gebruikt die Picinini berekent. Aangenomen is dat 30% oplossing van HCL wordt toegevoegd aan een kopercyanidebad. De temperatuur van het bad is 55°C aangenomen. Picinini berekent dat in een representatief geval de concentratie HCN aan de uitlaat van de ventilatiepijp max. 300 ppm bedraagt.

Figuur 18 Verspreiding in de omgeving met en zonder recirculatie in de lijwervel

De HCN concentratie $C_{HCN,r}$ in het circulatiegebied volgt uit:

$$C_{HCN,recirc} = \frac{m}{KAU_w}$$

Hierbij is:

$C_{HCN, recirc,}$: concentratie HCN in het recirculatiegebied kg/m^3

K : een correctiefactor die maximaal 0,2 bedraagt. K wordt hier 0,2 verondersteld

A : het geprojecteerde oppervlak van de zijgevel. Uitgegaan is van een gebouw van 25*25*6 m (L*B*H). Het projectieoppervlak bedraagt dan 150 m^2

m : de massastroom HCN. Aangenomen 300 ppm in een ventilatiedebiet voor het cyanidebad van 2200 m^3/uur. Dit komt neer op 0,2 g/s HCN

U_w : de windsnelheid op een referentiehoogte van 10 m. Hier aangenomen 2 m/s

H : de gebouwhoogte. Voor H is 6 meter aangenomen

Het resultaat: $C_{HCN,recirc}$ ~ 3 ppm.

CONCEPT

Als de vrijkomende HCN zich niet over de volle breedte van het recirculatie-gebied zou verspreiden door een of andere bijzondere omstandigheid, maar in een kleiner deel van het recirculatiegebied zou opmengen, bijv. slechts 5 meter breedte door een bijzondere gebouwvorm, dan neemt de concentratie toe tot circa 15 ppm.

Beide concentraties zijn niet letaal. Wel kunnen bij 15 ppm reversibele vergiftigingsverschijnselen opreden bij blootstelling gedurende 30 minuten. Het is overigens de vraag of bij een werkende afzuiging het mogelijk is gedurende 30 minuten deze concentratie te halen omdat de reactie van het zuur cyanide mengsel veel korter dan 30 minuten zal duren, gelet op de goede menging die in de baden plaatsvindt.

De conclusie van deze analyse is dat een foutieve dosering niet of anders verwaarloosbaar bijdraagt aan een mogelijke PR 10^{-6}-contour. Er ontstaan geen dodelijke concentraties op grondniveau bij een half uur blootstelling aan de maximale concentratie die kan ontstaan. Dit is een criterium voor de relevantie van de kritieke gebeurtenis voor de PR 10^{-6}-contour.

In eerdere, niet vastgestelde, versies van de rekenmethode voor inrichtingen met cyanidehoudende baden, werd verwacht dat bij chemische reacties tussen zuurhoudende baden en cyanidehoudende baden ook stikstofdioxide zou vrijkomen. Op basis van informatie afkomstig uit Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry[74], wordt een dergelijke emissie in de huidige versie niet langer waarschijnlijk geacht.

Parameters

Kans op brand in galvaniseerruimte:

1) In een galvaniseerbedrijf zijn altijd brandbare stoffen / materialen aanwezig, waardoor een grootschalige brand mogelijk is die externe veiligheidsrisico's veroorzaakt. Een voorbeeld van aanwezige brandbare stoffen en/of materialen zijn:
   - de afzuiginrichtingen boven de bakken en afvoerpijpen naar de ventilatie-uitlaatpijpen buiten het gebouw (dak). Deze zijn van PVC en/of ander brandbaar plastic. Er zijn veelal PVC kabelgoten in de productieruimte met PVC elektriciteitskabels;
   - het materiaal waarvan de galvaniseerbaden zijn vervaardigd (polypropyleen).
2) Galvaniseerbaden die voorzien zijn van een massief stalen binnenbak kunnen wel falen als gevolg van het bezwijken van de constructie. In dat geval is de brand naar verwachting al zodanig ontwikkeld dat er pluimstijging plaatsvindt en er geen letale effecten op leefniveau te verwachten zijn. Dergelijke baden worden daarom niet meegenomen in de risicoberekening.

De volgende gegevens zijn gebruikt voor de bepaling van de kans (brandfrequentie).

CONCEPT

De kans op grote brand in de productieruimte met galvaniseerbaden van een galvaniseerbedrijf wordt gelijk gesteld met de gemiddelde frequentie van branden die zijn opgetreden in de observatieperiode volgens: N/(G * T), met *N* het aantal grote branden in de observatieperiode, *G* het aantal galvaniseerbedrijven (populatieomvang) en *T* het aantal jaren in de observatieperiode.

Een grote brand wordt opgevat als een brand waarbij de brandweer is uitgerukt in een poging de brand te bedwingen. Kleine beginnende branden die met de ter plaatse in of direct bij de productiehal aanwezige handblusmiddelen worden geblust, worden niet beschouwd bij de bepaling van de frequentie van branden. Reden is dat deze kleine beheerste branden onder-gerapporteerd zijn in de openbaar toegankelijke berichtgeving. Bovendien zijn deze branden niet relevant voor de externe veiligheid omdat die niet tot letale effecten kunnen leiden voor personen buiten het bedrijfsterrein.

Sinds oktober 2004 is het Bevi van kracht en hebben bedrijven die onder het Bevi vallen bijzondere aandacht van de regionale brandweren. De veronderstelling is dat grote branden van galvaniseerbedrijven na inwerking treden van het Bevi allemaal worden gerapporteerd (via de media) vanwege het risico voor de omgeving dat deze branden met zich meebrengen, maar omdat na de ramp van Enschede (mei 2000) de aandacht sterk is toegenomen voor ongelukken met gevaarlijke stoffen is de periode 2001 t/m 2014 beschouwd. Voor de resulterende brandfrequentie maakt het overigens weinig uit of wordt uitgegaan van de periode 2005 -2014 (na invoering Bevi) of 2001 -2014 (na ramp van Enschede).

De populatieomvang van de galvaniseerinrichtingen inrichtingen is geen vast gegeven. Er komen bedrijven bij en er gaan bedrijven weg (bedrijfsbeëindigingen). De trend is een afnemend aantal galvaniseerbedrijven die met cyanidehoudende baden werken. Vastgesteld is dat in 2014 56 galvaniseerbedrijven actief zijn (met of zonder CN^- baden). Er zijn geen gegevens voorhanden over de verandering van het aantal galvaniseerbedrijven in de periode van 2001 t/m 2014. Daar in deze periode het aantal eerder is afgenomen dan toegenomen, is het een behoudende aanname uit te gaan van een populatie van 56 bedrijven gedurende deze periode van 14 jaar.

In de periode 2001-2014 zijn vier grote branden in galvaniseerbedrijven gerapporteerd waarbij de productieruimte geheel of voor een deel was betrokken. Tabel 42 toont het overzicht.

Tabel 42 Overzicht van grote branden in Nederlandse galvaniseerbedrijven

Plaats	**Datum ongeval**	**Tijdsaanduiding ongeval**	**Overige relevante kenmerken**
Schumacher Plating	2004-01-30	Vrijdagnacht	Geen gewonden, onbekend of hier cyanide aanwezig was

CONCEPT

CZL Tilburg	2006-09-03	Zondagmiddag	Geen gewonden
Schumacher Plating	2011-01-09	Zondagavond	Geen gewonden. 75 ltr zuur terecht gekomen in bluswater naar riool.
Hegin Heerde	2014-06-16	Zondagnacht	Geen gevaarlijke stoffen in de lucht, geen gewonden

Op grond van de genoemde aannames is de kans op een grote brand c.q. de brandfrequentie van een galvaniseerbedrijf op jaarbasis:
$4/(56 * 14) = 5{,}1.10^{-3}$ [per jaar]

In het onderzoek zijn ook verschillende branden in galvaniseerbedrijven in het buitenland geïdentificeerd (zie Tabel 43). Omdat de focus van het onderzoek de Nederlandse bedrijven betrof, is dit overzicht niet volledig.

Tabel 43 Branden in galvaniseerbedrijven in het buitenland (niet volledig)

Plaats	**Datum ongeval**	**Tijdsaandui-ding ongeval**	**Overige relevante kenmerken**
Radcliffe UK	3-2-2011	Maandagochtend	Niemand aanwezig op moment dat brand ontstond
Kitchener CAN	1-5-2013	Woensdagmiddag	Brand ontstond door laswerkzaamheden in de buurt van aluminiumschaafsel
Westfield US	19-4-2009	Zondag	Oorzaak was elektrisch probleem
Edmonton CAN	10-5-2014	Zaterdagmiddag	Geen gewonden
Pujiang CN	12-3-2014	Woensdagmiddag	Brand kon snel uitbreiden omdat er veel brandbaar materiaal aanwezig was (verf, oplossing en andere brandbare stoffen)
Lansing US	28-12-2010	Dinsdagochtend	Een persoon binnen het bedrijf aanwezig op het moment dat brand begon
Evansville US	6-6-2011	Zondagnacht	Cyanide was aanwezig, onbekend of cyanide bad is gefaald
Singapore	12-7-2011	Dinsdagochtend	Kleine brand, werknemers waren aanwezig
New York US	14-8-1985	Woensdagmiddag	Cyanide in oplossing aanwezig, maar niet betrokken bij brand. Brand begon in het dak
Escondido US	27-10-2006	Woensdagnacht	Brand geblust met water, cyanide was aanwezig, geen HCN gemeten.

CONCEPT

Panorama City US	20-8-2013	Dinsdagnacht	Twee personen binnen het bedrijf aanwezig, oorzaak en aanwezigheid cyanide onbekend

Omvang van de brand
Binnen galvaniseerbedrijven is de opstelling en omvang van galvaniseerlijnen sterk verschillend. Aangenomen is dat een beginnende brand zich uitbreidt over de gehele productieruimte. De kans die wordt gebruikt heeft dan ook betrekking op een dergelijke brand. Er worden geen vervolgkansen voor brandontwikkeling toegepast. De productieruimten zijn niet voorzien van automatische blus-systemen. Een beginnende brand kan in principe worden bedwongen door de aanwezige blusmiddelen. Omdat er geen gegevens zijn over het aantal bedwongen branden voordat zich blauwzuur heeft kunnen vormen, wordt niet van een kansenmodel voor de ontwikkeling voor branduitbreiding uit gegaan.

Reductiefactor kans op brand door droog verdampen galvaniseerbad (f_b)
Onder de leden van de galvanobranche is het bekend dat het droog verdampen van een bad, een oorzaak van brand kan zijn die in verhouding tot andere oorzaken relevant is. In een aantal gevallen heeft het droog verdampen van een bad geleid tot het afbranden van de productieruimte. Informatie om vast te kunnen stellen welke fractie van de branden het gevolg is geweest van het droog verdampen van een galvaniseerbad is niet beschikbaar. Tegenwoordig is het -volgens de branche- bij de bouw van nieuwe galvaniseerbedrijven standaardontwerp dat de baden worden voorzien van een aparte laagniveau-beveiliging naast de standaard temperatuurbeveiliging van de thermostaat. Bij al langer bestaande bedrijven is een extra veiligheidsmaatregel tegen droog verdampen niet overal aanwezig. De extra veiligheidsmaatregel kan bestaan uit een vloeistofniveau-meter. Zakt de vloeistof beneden een bepaald niveau dan stuurt de niveaumeter een signaal naar de voedingskast die daarop het verwarmingselement uitschakelt.

Om de toepassing van een extra technische veiligheidsmaatregel tegen droog verdampen tot uitdrukking te brengen in het risico is een reductiefactor voor de kans op een grote brand van de productieruimte van 0,33 als realistisch verondersteld. Hiermee is zowel de niet te verwaarlozen bijdrage van deze oorzaak aan brand (hoewel niet kwantitatief vast te stellen) als het falen op aanspraak van de veiligheidsvoorziening in de kansreductie tot uitdrukking gebracht. Het is niet ongebruikelijk in de bedrijfszekerheidsanalyse –mits goed onderhoud van de veiligheidsvoorziening plaatsvindt- om uit te gaan van een falen op aanspreken (failure upon demand) van hooguit 0,1. De kansreductie van 0,33 komt neer op en houdt de aanname in dat circa 3 op 4 grote branden van een productieruimte als primaire oorzaak het droog verdampen van een galvaniseerbad hebben gehad, waarbij de thermostatische beveiliging tegen oververhitting heeft gefaald en die voorkomen had kunnen worden als een extra veiligheidsmaatregel was toegepast om de stroomtoevoer naar het verwarmingselement te stoppen voordat dit komt droog te staan; zoals

CONCEPT

bijvoorbeeld een vloeistofniveau-meter die het uitschakelsignaal geeft van het verwarmingselement.

Dit laat uiteraard onverlet de aanwezige thermostatische beveiliging van het verwarmingselement. De failure upon demand van de onafhankelijke laagniveau meting van 0,1 is geen hoge bedrijfszekerheidseis voor de extra beveiliging. Uiteraard geldt altijd dat de techniek in goede staat gehouden moet worden door regelmatig onderhoud en inspectie.

De kansreductiefactor f_b is als volgt afgeleid.

$f_b = P_{bo} + y * P_{bb}$

Met: P_b de overall kans op een grote brand in de productieruimte,

P_{b0} de kansbijdrage van oorzaken anders dan droogverdampen van het bad

P_{bb} de kansbijdrage door droogverdampen van een bad.

y: failure upon demand van onafhankelijke extra veiligheid tegen het droogverdampen van het bad

Kansreductie brand productieruimte:

met y=1: $f_b = (0,25 + 1 * 0,75)\ 5,1.10^{-3} = 1,0 * 5,1.10^{-3}$

met y $\leq$0,1: $f_b = [0,25 + 0,1 * 0,75] * 5,1.10^{-3}$ $* 5,1.10^{-3}$

De kansreductie van 0,33 (exact: 0,325) voor f_b is uiteraard ter discussie te stellen. Hij is immers gebaseerd op *engineering judgement*; inschattingen vanwege het ontbreken van harde wetenschappelijk onderbouwde gegevens. Wil men stimuleren dat deze niet onbelangrijke veiligheidsmaatregel (overigens niet kostbaar) wordt toegepast dan draagt het positief bij aan de risicobeheersing om de veiligheidswinst, uitgedrukt in plaatsgebonden risico en groepsrisico, kwantitatief zichtbaar te maken. Indien men zou uitgaan dat 2 op de 4 grote branden wordt veroorzaakt door droog verdampen van een bad dan resulteert dat in een reductiefactor van afgerond 0,6.

Invloed van gescheiden opvangvoorzieningen (f_1) en reactie met leegstroomde mengsel baden tot HCN (f_2)
De factoren f_1 en f_2 zijn gebaseerd op schattingen. De verwachting is dat het voorzichtige (robuuste) waarden zijn. Voor een substantiële emissie is een overmaat zuur nodig en deze is doorgaans niet aanwezig. Daarom wordt aangenomen dat maximaal de helft van het vrije cyanide vrijkomt als HCN (f_1). Gescheiden opvang houdt in dat ook bij branduitbreiding het niet mogelijk is dat de opgevangen cyanideoplossingen in contact kunnen komen met de overige oplossingen voordat pluimstijging plaatsvindt. Dit wordt gewaardeerd met een extra reductiefactor voor de emissie van 0,5 (f_2).

Oxidatie van HCN (f_3)

CONCEPT

De factor f_3 die in rekening wordt gebracht door de omzetting van HCN in de verbrandingsproducten stikstof, koolmonoxide en water is een schatting. Omdat het niet mogelijk is te berekenen hoeveel omzetting plaatsvindt door het ontbreken van gegevens over de reactiesnelheidsvergelijking bij de heersende brandtemperatuur wordt aangenomen dat een factor 0,5 de beste schatter is.

Duur van de blauwzuuremissie
De vorming van blauwzuur zal afhankelijk zijn van het tempo waarin de baden bezwijken en wanneer daar de cyanidebaden bij zijn betrokken. Het tempo hangt af van de ontwikkeling van de brand. De gekozen emissieduur (1800 s) betreft een schatting en wordt als redelijke aanname verondersteld voor de ontwikkeling van de brand voordat pluimstijging zal ontstaan. De emissieduur is tevens de maximale blootstellingstijd die wordt gebruikt bij emissies van giftige gassen in de omgeving.

Modelleringsparameters:
De parameters voor de berekening in SAFETI-NL zijn waar relevant overgenomen van de rekenmethode voor PGS 15-inrichtingen. Het betreft de uitstroomtemperatuur (50°C), het (wel) meenemen van de invloed van recirculatie in de lijwervel en het niet meenemen van luchtinmenging binnen het gebouw (pre-diluation air rate 0 kg/s).

CONCEPT

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

7.1 Rekenmethode stuwadoorsbedrijven

De methodiek is in opdracht van het toenmalig Ministerie VROM (P. Pasveer) uitgevoerd door AVIV (G. Golbach) onder begeleiding van DCMR (L. Vijgen) en RIVM (D. Riedstra en L. Gooijer).

7.1.1 Overslag tankcontainers

Voor de ongevalscenario's bij de overslag van tankcontainers is de rekenmethode uit 1994 [76] als uitgangspunt gebruikt. Tabel 44 toont de ongevalscenario's voor de overslag van tankcontainers zoals gehanteerd in de stuwadoorsstudie 1994. De frequentie is per behandelde container. Er wordt een onderscheid gemaakt naar type tankcontainer (gas of vloeistof) en naar grootte van de uistroming (klein of groot).

Tabel 44 Ongevalsscenario's overslag tankcontainers stuwadoorsstudie 1994

Eenheid	Grootte	Frequentie [/overslag]	Omschrijving
Tankcontainer gas	Klein	$1{,}0 \times 10^{-6}$	Vrijkomen van vloeistof uit een gat met een diameter van 10 mm in een continue en constante stroom.
	Groot	$1{,}0 \times 10^{-7}$	Vrijkomen van vloeistof uit een gat met een diameter van 50 mm in een continue en constante stroom.
Tankcontainer vloeistof	Klein	$1{,}0 \times 10^{-6}$	Vrijkomen van 0.001 m^3/s gedurende 1800 s. Maximaal oppervlak 180 m^2.
	Groot	$1{,}0 \times 10^{-7}$	Vrijkomen van 0.005 m^3/s gedurende 1800 s. Maximaal oppervlak 900 m^2.

Scenario's
In de stuwadoorsstudie 1994 ontbreekt een uitgebreide beschouwing van de herkomst van deze ongevalscenario's. De scenario's sluiten aan bij de toen bestaande studies en modelleringsvoorschriften. Bij deze actualisatie is de herkomst van de scenario's niet nader onderzocht.

Voor zowel tankcontainers gas als tankcontainers vloeistof wordt een grote en kleine lekkage beschouwd. Bij de tankcontainers vloeistof is het uitgangspunt hierbij een uitstroming van 1 l/s voor een kleine lekkage en 5 l/s voor een grote lekkage. Hierbij wordt in [76] aangegeven dat dit ongeveer overeenkomt met gatgroottes met een diameter van 20 mm respectievelijk 50 mm. In het onderzoek naar incidenten en de afleiding van de faalfrequenties zijn de

CONCEPT

uitstroomdebieten van 1 l/s en 5 l/s als uitgangspunt overgenomen (zie onder 'Faalfrequentie').

Uitgangspunten
Voor de inhoud van de tankcontainers is aangesloten bij de methodiek uit 1994 [1]. Dit betekent een tankcontainer vloeistof van 28m^3 en een tankcontainer gas van 20 m^3. De keuze van 2 m voor het vloeistofniveau is gemaakt door de projectgroep.
De plasoppervlakten bij een vloeistof tankcontainer zijn beperkt tot 180 m^2 voor een kleine lekkage en tot 900 m^2 voor een grote lekkage. Deze oppervlakken zijn gebaseerd op een uitstroming van 1 l/s respectievelijk 5 l/s gedurende 1800 seconden, waarbij uitgegaan wordt van een laagdikte van 10 mm. Deze laagdikte is overgenomen uit [76].

Faalfrequenties
Voor een onderbouwing van de te hanteren ongevalscenario's is een onderzoek gedaan naar incidenten met (tank)containers die zijn opgetreden in de periode 1997 t/m 2006 in het Rijnmondgebied[77]. Daarbij is het volgende gebleken:

- Uitgaande van een aantal behandelde IMDG tankcontainers van circa 0,9 miljoen in de beschouwde tijdsperiode van tien jaar en één geregistreerd incident met een relevante lekkagegrootte (> 1 l/s) volgt een ongevalsfrequentie van gemiddeld $1,1 \times 10^{-6}$ per behandelde container. Deze bevinding geldt alleen voor tankcontainers voor vloeistoffen voor een kleine uitstroming en niet voor een grote uitstroming of tankcontainers voor gassen. Een onder- en bovengrens van de frequentie voor een 95% betrouwbaarheidsinterval kan worden afgeleid met de F-verdeling. Uitgaande van circa 0,9 miljoen behandelde IMDG tankcontainers en één relevant incident volgt een bovengrens voor de ongevalsfrequentie van $6,3 \times 10^{-6}$ en een ondergrens van $2,9 \times 10^{-8}$ per behandelde container.

- Voor boxcontainers is geen incident geregistreerd met een relevante grootte van de lekkage. Uitgaande van circa 0,9 miljoen behandelde IMDG boxcontainers en geen relevant incident volgt een bovengrens (op basis van een 95% betrouwbaarheidsinterval) voor de ongevalsfrequentie van $4,2 \times 10^{-6}$ per behandelde container.

In de stuwadoorsstudie 1994 is een ongevalfrequentie aangenomen per behandelde tankcontainer van $1,0 \times 10^{-6}$ voor een kleine lekkage (en $1,0 \times 10^{-7}$ voor een grote lekkage). Een kleine lekkage is voor een tankcontainer met vloeistof gedefinieerd als uitstroming van 1 l/s gedurende 1800 s (totaal 1800 l). Voor een boxcontainer met vaten is een ongevalsfrequentie aangenomen per behandelde container van $1,0 \times 10^{-6}$. De faalfrequenties uit de stuwadoorsstudie zijn gebaseerd op twee uitgangspunten. Er is ten eerste zoveel mogelijk aangesloten bij de in de literatuur gehanteerde modelleringen, en ten tweede is overeenstemming gezocht met bedrijfservaringsgegevens. Bij dit laatste worden frequenties genoemd van een drietal bedrijven, namelijk Bell-Lijn (1×10^{-6} per container voor ernstige onregelmatigheden) , ECT (6×10^{-8} per container voor

CONCEPT

ernstige onregelmatigheden) en Unitcentre ($3{,}9 \times 10^{-7}$ per container voor uitstroming)[76].

De ongevalsfrequentie gehanteerd in de stuwadoorsstudie 1994 voor tankcontainers komt ongeveer overeen met de in [77] afgeleide gemiddelde waarde. Deze bevinding geldt voor tankcontainers voor vloeistoffen voor een kleine uitstroming en niet voor een grote uitstroming. Er zijn verder onvoldoende gegevens beschikbaar om wat te kunnen zeggen over de faalfrequentie van een tankcontainer met tot vloeistof verdicht gas. Voor boxcontainers kon (omdat er geen relevante incidenten naar voren zijn gekomen) geen gemiddelde frequentie worden afgeleid, maar wel een bovengrens op basis van een 95% betrouwbaarheidsinterval.

De resultaten van het onderzoek [77] hebben niet geresulteerd in een duidelijke reden om de faalfrequentie en het bijbehorende lekscenario (gatgrootte) uit de stuwadoorsstudie 1994 op dit moment te wijzigen.

Na beoordeling van het incidentenonderzoek [77] is besloten de bestaande methodiek van de stuwadoorsstudie 1994 nagenoeg ongewijzigd over te nemen. De enige wijziging betreft de definitie van de bronsterkte voor de vloeistof tankcontainers. Hier wordt nu een gatgrootte in plaats van een uitstroomdebiet voorgeschreven, omdat deze beschrijving beter aansluit bij de rekenmethodiek voor andere Bevi-inrichtingen en de modellering in Safeti-NL. De keuze van de gatgrootte van 20 en 50 mm komt nagenoeg overeen met een bronsterkte van 1 en 5 l/s zoals vastgelegd in de stuwadoorsstudie 1994 (Bijlage 2, tabel 2.4 van [76]).

Voor het kleine ongevalscenario is dus gekozen voor een gatgrootte van 20 mm, om zo aan te sluiten bij een uitstroming van 1 l/s, die in de stuwadoorstudie is gebruikt. Dit betekent wel een afwijking ten opzichte van andere Bevi-inrichtingen waarbij een gatgrootte van 10 mm wordt gehanteerd.
Het uitgangspunt van 1 l/s is ook relevant voor de resultaten van het incidentenonderzoek. De uitstroming van 1 l/s is zoals gemeld gebruikt als selectiecriterium bij het incidentenonderzoek [77]. Een gatgrootte van 10 mm geeft een bronsterkte van circa 0,3 l/s. Bij deze bronsterkte zouden er overigens twee incidenten extra worden geselecteerd als relevant voor het afleiden van de ongevalsfrequentie, zodat de ongevalsfrequentie hoger zou zijn.

7.1.2 Overslag boxcontainers

In een boxcontainer kunnen behalve gevaarlijke stoffen ook andere goederen zijn geladen. Tevens kunnen er stoffen met uiteenlopende gevaarseigenschappen in dezelfde container zijn geladen. In de stuwadoorsstudie 1994 is verondersteld dat er voldoende gegevens uit de gerealiseerde doorzet beschikbaar zijn om een vertaalslag te maken naar een representatief aantal overgeslagen boxcontainers die tot een bepaald gewicht geladen zijn met stoffen uit een bepaalde stofcategorie. De wijze waarop deze vertaalslag moet worden gemaakt is echter niet in detail beschreven.

CONCEPT

Tabel 45 toont de ongevalscenario's voor de overslag van boxcontainers zoals gehanteerd in de stuwadoorsstudie 1994. De omvang van de scenario's is beperkt. Voor een vloeistof wordt het vrijkomen van 0,2 of 1 m^3 gemodelleerd afhankelijk van het verpakkingstype en de hoeveelheid gevaarlijke stof in de boxcontainer. De modellering van de gevolgen van de uitstroming vindt in de stuwadoorsstudie 1994 plaats met de aanname dat de uitstroming in de open lucht optreedt.

Ongevalscenario's voor de overslag van stukgoed in boxcontainers resulteren in een geringe bronsterkte 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. Een mogelijke uitzondering hierop vormt de overslag van giftig gas of giftige vloeistof uit de grootste gevaarscategorie (bijvoorbeeld stofcategorie GT3 t/m GT5, LT3 en LT4). Het is voorstelbaar dat van deze stofcategorieën alleen overslag plaatsvindt van stukgoed in een boxcontainer. De ongevalscenario's uit de stuwadoorsstudie 1994 zijn overgenomen. Er zijn geen gegevens beschikbaar die aanleiding geven tot wijziging van deze scenario's. Er is wel voor gekozen om alleen de scenario's met de grootste verpakkingseenheden op te nemen, mede omdat voor gascilinders een andere methodiek ontwikkeld is.

Tabel 45 Ongevalsscenario's overslag van stukgoed in boxcontainers stuwadoorsstudie 1994

Eenheid	Frequentie [/overslag]	Omschrijving
IBC-vloeistof	$1{,}0 \times 10^{-6}$	Continu vrijkomen van totaal 1 m^3 vloeistof in 30 s. Maximaal plasoppervlak 200 m^2.
Drums-vloeistof	$1{,}0 \times 10^{-6}$	Continu vrijkomen van totaal 0,22 m^3 vloeistof in 30 s. Maximaal plasoppervlak 44 m^2.
	$1{,}0 \times 10^{-6}$	Continu vrijkomen van totaal 1 m^3 vloeistof in 30 s. Maximaal plasoppervlak 200 m^2.
Cilinder-gas	$1{,}0 \times 10^{-6}$	Continu vrijkomen van 150 kg uit een gat met een diameter van 15 mm.
Cilinderreservoir -gas	$1{,}0 \times 10^{-6}$	Continu vrijkomen van 1000 kg uit een gat met een diameter van 15 mm.

7.1.3 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 verticale 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

CONCEPT

het spoor). Informatie om de faalfrequentie per overgeslagen container toe te delen aan het type verticale handeling is niet beschikbaar.
Om onderscheid te kunnen maken tussen inrichtingen van verschillende complexiteit is een aanname geformuleerd waarmee de faalfrequentie kan worden gedifferentieerd naar het aantal verticale handelingen. Er is aangenomen dat het aantal verticale handelingen voor de gehanteerde faalfrequentie gelijk is aan zes. Dit sluit aan bij een grote stuwadoor, waar de containers door de kadekraan eerst op de kade gezet en daarna in de stack worden geplaatst. De keuze om aan te sluiten bij een grote stuwadoor is in lijn met het incidentenonderzoek en de bepaling van de faalfrequentie [77], dat gebaseerd is op data van enkele grote stuwadoors.

Voor de toedeling van de faalfrequentie aan posities op de inrichting is aanvullend aangenomen dat de faalfrequentie dezelfde is voor elk type verticale handeling. Er is in de ongevalscijfers geen informatie beschikbaar om een verfijning op te baseren.

7.1.4 Verblijf op terrein intrinsiek falen

In de stuwadoorsstudie 1994 is alleen het intrinsiek falen van een tankcontainer met brandbaar gas voorgeschreven met als ongevalsscenario het instantaan vrijkomen van de gehele inhoud met een frequentie van $1{,}0 \times 10^{-6}$ /jr. Deze benadering is nu gewijzigd. Intrinsiek falen voor zowel druk als vloeistof tankcontainers wordt gemodelleerd met het ongevalsscenario instantaan vrijkomen van de gehele inhoud met een frequentie van $5{,}0 \times 10^{-7}$ /jr. De voorgeschreven modellering voor tankcontainers is nu dezelfde als gehanteerd voor het intrinsiek falen van een spoorketelwagen tijdens verblijf op een goederenemplacement.

Deze wijziging kan niet onderbouwd worden met ongevalscijfers, maar is gekozen in overeenstemming met de berekeningsmethodiek voor een goederenemplacement. De gekozen modellering wijkt af van die voor het verblijf van transportmiddelen op andere Bevi-inrichtingen.

Voor het verblijf van een tankauto of ketelwagen met een reservoir onder druk zijn voor andere Bevi-inrichtingen de scenario's instantaan vrijkomen van de gehele inhoud met een frequentie van $5{,}0 \times 10^{-7}$ /jr en vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting van $5{,}0 \times 10^{-7}$ /jr gedefinieerd. De frequentie op instantaan vrijkomen voor een druk tankcontainer die nu wordt voorgesteld voor een stuwadoor is dezelfde als voor andere Bevi-inrichtingen. De frequentie op vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting kan voor een stuwadoor worden verwaarloosd, omdat er al een scenario is gedefinieerd voor falen tijdens overslag met een grote uitstroming. Dit scenario leidt tot nagenoeg dezelfde bronsterkte, maar de frequentie is aanzienlijk groter. De frequentie op vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting, uitgaande van een verblijftijd van een week, is $5{,}0 \times 10^{-7} / 52 = 1{,}0 \times 10^{-8}$ per container. Deze is daarmee een factor tien kleiner dan de frequentie op een grote uitstroming tijdens overslag van $1,\ 0 \times 10^{-7}$ per container en kan worden verwaarloosd.

CONCEPT

Voor het verblijf van een tankauto of ketelwagen met een atmosferische tank zijn voor andere Bevi-inrichtingen de scenario's instantaan vrijkomen van de gehele inhoud met een frequentie van $1{,}0 \times 10^{-5}$ /jr en vrijkomen van de gehele inhoud uit de grootste aansluiting van $5{,}0 \times 10^{-7}$ /jr gedefinieerd. De frequentie voor instantaan vrijkomen is een factor twintig groter dan voorgesteld voor tankcontainers.

In overeenstemming met de berekeningsmethodiek voor andere Bevi-inrichtingen is geen onderscheid gemaakt tussen dunwandige en dikwandige vloeistof tankcontainers.

Het intrinsiek falen van een verpakking van los stukgoed of stukgoed in een boxcontainer wordt niet gemodelleerd. Deze werkwijze is conform de berekeningsmethodiek voor PGS 15 inrichtingen (module 2).

7.1.5 Verblijf op terrein BLEVE door externe brand

Tijdens verblijf op het terrein kan beschadiging van een tankcontainer door brand in de omgeving niet worden uitgesloten. Voor een druk tankcontainer met brandbaar gas is een additioneel BLEVE scenario toegevoegd. De eenvoudige modellering stemt overeen met de stuwadoorsstudie 1994 en het rekenprotocol vervoer gevaarlijke stoffen over het spoor (deel emplacementen).

Voor de frequentie op een brand is het ongevalsscenario grote uitstroming tijdens overslag als maatgevend gehanteerd. De kans op ontsteking en de kans op falen van repressief optreden door de brandweer zijn overgenomen uit de stuwadoorsstudie 1994 [76].

7.1.6 Overig

Intern horizontaal transport vrachtwagen

Er zijn geen gegevens beschikbaar waarmee een ongevalfrequentie voor het intern horizontaal transport van een (tank)container met een vrachtwagen binnen een inrichting kan worden vastgesteld. In de stuwadoorsstudie 1994 zijn scenario's opgenomen waarbij gebruik gemaakt is van de ongevalfrequentie voor wegtransport met een reductiefactor van 5, omdat er binnen een inrichting veelal extra risicobeperkende maatregelen zijn getroffen (beperking van de maximale snelheid, éénrichtingsverkeer) (bijlage 2, tabel 2.9 van [76]).
Tabel 46 toont de ongevalscenario's gedefinieerd in de stuwadoorsstudie 1994. De getoonde frequentie is per voertuigkilometer. De lengte van het gedeelte van de weg binnen de grens van de inrichting kan aanmerkelijk kleiner zijn dan een kilometer. De ongevalfrequentie voor de inrichting is dan kleiner dan de frequentie getoond in deze tabel.

Tabel 46 Ongevalsscenario's intern transport weg tankcontainers stuwadoorsstudie 1994 (bijlage 2, tabel 2.9)

Eenheid	Frequentie [/vtg-km]	Omschrijving
Tankcontainer	$4{,}3 \times 10^{-10}$	Continu vrijkomen van vloeistof uit een gat met

CONCEPT

gas		een diameter van 10 mm.
	$4{,}3 \times 10^{-10}$	Continu vrijkomen van vloeistof uit een gat met een diameter van 50 mm.
	$4{,}3 \times 10^{-10}$	Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud.
Tankcontainer vloeistof	$7{,}5 \times 10^{-10}$	Continu vrijkomen van 1.8 m^3 in 1800 s (gatgroottte circa 20 mm).
	$1{,}8 \times 10^{-9}$	Continu vrijkomen van 9 m^3 in 1800 s (gatgroottte circa 50 mm).
	$4{,}5 \times 10^{-10}$	Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud.

Een vergelijking met de frequenties op ongevalsscenario's tijdens overslag of verblijf laat het volgende zien:

- Voor het continu vrijkomen is de ongevalsfrequentie voor overslag van een (tank)container $1{,}0 \times 10^{-6}$ (kleine uitstroming) en $1{,}0 \times 10^{-7}$ (grote uitstroming). Deze frequenties zijn (meer dan) een factor honderd groter dan de frequenties getoond in Tabel 46.
- Voor instantaan vrijkomen van de gehele inhoud door verblijf op het terrein is de ongevalsfrequentie afhankelijk van de verblijfsduur. Uitgaande van een verblijfsduur van een week volgt een frequentie van $1{,}0 \times 10^{-8}$ voor een gas en vloeistof tankcontainer. Deze frequenties zijn een factor twintig groter dan de frequenties getoond in Tabel 46.

Er zijn geen nieuwe inzichten beschikbaar voor mogelijk te hanteren scenario's en frequenties. De modellering zoals opgenomen in de stuwadoorsstudie I994 leidt tot een te verwaarlozen bijdrage aan het risiconiveau van ongevallen tijdens het intern horizontal transport met een vrachtwagen vanwege de lage faalfrequenties.

Intern horizontaal transport spoorwagen

Er zijn geen gegevens beschikbaar waarmee een ongevalsfrequentie voor het intern horizontaal transport van een (tank)container met een spoorwagen binnen een inrichting kan worden vastgesteld. In de stuwadoorsstudie 1994 zijn scenario's opgenomen waarbij gebruik gemaakt is van de ongevalsfrequentie voor het 'vrije baan' gedeelte en het emplacement gedeelte van een stamlijn (raccordement). Deze ongevalsfrequenties zijn ook in PGS 3[78] (het zogenaamde Paarse Boek) opgenomen. Voor de kans op uitstroming gegeven een ongeval is in de stuwadoorsstudie 1994 een benadering gevolgd die gebaseerd is op de modellering gebruikelijk voor een goederenemplacement gecombineerd met de kansen voor het transport over de weg.

De ongevalsfrequenties en uitstromingskansen opgenomen in PGS 3 [78] staan momenteel ter discussie. De voor stamlijnen afgeleide faalfrequenties zijn fors hoger dan de faalfrequenties voor een gemiddelde vrije baan. De achtergronden en basisgegevens die aan deze faalfrequenties ten grondslag liggen zijn onduidelijk en niet meer te achterhalen. In het project Actualisatie Faalcijfers Spoor dat thans in uitvoering is worden daarom opnieuw frequenties bepaald. Voor stamlijnen zijn voorlopige faalfrequenties afgeleid, maar nog niet vastgesteld.

CONCEPT

Bij een stuwadoor vinden in het algemeen geen rangeerbewegingen plaats met treindelen. De snelheid van de treinen is gering en er is geen interactie met een doorgaand spoor. Het is daarom aannemelijk dat ongevalsscenario's tijdens dit horizontaal transport kunnen worden verwaarloosd ten opzichte van de scenario's tijdens overslag en verblijf in de stack. Ter onderbouwing van deze aanname zijn hierna de ongevalsscenario's die gehanteerd worden voor de vrije baan opgenomen. De ongevalsfrequentie voor de vrije baan met lage snelheid is $1{,}36 \times 10^{-9}$ per wagen-kilometer. De ongevalsscenario's worden getoond in Tabel 47. De getoonde frequentie is per wagenkilometer. De lengte van het vrije baan gedeelte binnen de grens van de inrichting kan aanmerkelijk kleiner zijn dan een kilometer. De ongevalsfrequentie voor de inrichting is dan kleiner dan de frequentie getoond in deze tabel.

Tabel 47 Ongevalsscenario's spoor vrije baan lage snelheid

Eenheid	Frequentie [/wg-km]	Omschrijving
Spoorketelwagen gas	$6{,}4 \times 10^{-12}$	Continu vrijkomen van vloeistof uit een gat met een diameter van 75 mm.
	$4{,}4 \times 10^{-12}$	Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud.
Spoorketelwagen vloeistof	$6{,}4 \times 10^{-10}$	Kleine uitstroming.
	$4{,}4 \times 10^{-10}$	Grote uitstroming.

De frequenties op ongevalsscenario's tijdens overslag of verblijf zijn aanmerkelijk groter dan de frequenties getoond in Tabel 47.

Er zijn geen formeel vastgestelde nieuwe inzichten beschikbaar voor mogelijk te hanteren scenario's en frequenties. Het is op basis van de lage faalfrequenties aannemelijk dat ongevallen tijdens het intern horizontaal transport met een spoorwagen een te verwaarlozen bijdrage aan het risiconiveau veroorzaken. Als een stuwadoor beschikt over een emplacementsgedeelte waar het rangeren met treindelen voorkomt, dan dient het rekenprotocol voor emplacementen te worden toegepast om vast te kunnen stellen of de bijdrage aan het risiconiveau te verwaarlozen is.

Los stukgoed
De overslag van los stukgoed bij een stuwadoor wordt niet beschouwd, omdat deze wijze van overslag niet meer gebruikelijk is. De invloed op het risiconiveau is te verwaarlozen, omdat de hoeveelheid die vrij kan komen beperkt is tot een verpakkingseenheid. Een uitzondering dient te worden gemaakt als stoffen vallend in de meest gevaarlijke giftige stofcategorieën wel op deze wijze worden overgeslagen. Modellering dient in overleg met het bevoegd gezag ex Wm plaats te vinden. Er kan gebruik gemaakt worden van de scenario's uit de stuwadoorsstudie 1994 getoond in Tabel 48.

CONCEPT

Tabel 48 Ongevalsscenario's overslag los stukgoed stuwadoorsstudie 1994

Eenheid	Frequentie [/overslag]	Omschrijving
IBC-vloeistof	$1{,}0 \times 10^{-4}$	Continu vrijkomen van totaal 1 m^3 vloeistof in 30 s. Maximaal oppervlak 200 m^2.
Drums-vloeistof	$1{,}0 \times 10^{-4}$	Continu vrijkomen van totaal 0,22 m^3 vloeistof in 30 s. Maximaal oppervlak 44 m^2.
	$1{,}0 \times 10^{-5}$	Continu vrijkomen van totaal 1 m^3 vloeistof in 30 s. Maximaal oppervlak 200 m^2.
Cilinder-gas	$1{,}0 \times 10^{-5}$	Continu vrijkomen van 150 kg uit een gat met een diameter van 15 mm.
Cilinderreservoir -gas	$1{,}0 \times 10^{-5}$	Continu vrijkomen van 1000 kg uit een gat met een diameter van 15 mm.

In de berekeningsmethodiek voor PGS 15 inrichtingen zijn overigens wel scenario's voorgeschreven voor de overslag in de open lucht van en naar een vrachtauto van zeer giftige vloeistoffen en zeer giftige vaste stoffen (ADR klasse 6.1 VG I). De frequentie van falen is $1{,}0 \times 10^{-5}$ per behandelde verpakkingseenheid. Een verpakkingseenheid is een doos of drum. Indien dozen of drums op een pallet staan voorzien van krimpfolie dan wordt dit als één verpakkingseenheid beschouwd. De ongevalsfrequentie is een ordegrootte kleiner dan gehanteerd in de stuwadoorsstudie 1994.

7.1.7 *Begrenzing vloeistofplas*

De effect- en schademodellering 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 (rioolputten, terrein op afschot). Voor elk scenario is daarom een maximaal te bereiken oppervlak vastgesteld. In Safeti-NL wordt dit oppervlak gemodelleerd als het oppervlak van een denkbeeldige tankput. Tabel 49 toont de minimale laagdikte aangenomen voor de betreffende scenario's bij het afleiden van het maximaal te bereiken oppervlak.

Tabel 49 Minimale laagdikte ongevalsscenario's vloeistof tankcontainers stuwadoorsstudie 1994

Scenario	Laagdikte [mm]	Omschrijving
Overslag klein	10	Vrijkomen van 0,001 m^3/s gedurende 1800 s. Maximaal oppervlak 180 m^2.
Overslag groot	10	Vrijkomen van 0,005 m^3/s gedurende 1800 s. Maximaal oppervlak 900 m^2.
Instantaan	20	Instantaan vrijkomen van de gehele inhoud van 28 m^3. Maximaal oppervlak 1400 m^2.

In de berekeningsmethodiek voor andere Bevi-inrichtingen wordt de maximaal te bereiken plasgrootte begrensd door een voorgeschreven minimale laagdikte

CONCEPT

afhankelijk van de ondergrond. De standaard keuze voor de ondergrond is beton, waarvoor de minimale laagdikte gelijk is aan 5 mm. Mits onderbouwd mag overigens worden afgeweken van deze standaard modellering.

CONCEPT

8 Toelichting E.11 Rekenvoorschrift mijnbouwwerk

De rekenmethode is tot stand gekomen in de periode tussen 2008 en 2014 door een projectgroep bestaande uit vertegenwoordigers van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM), het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) de 'Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie' (NOGEPA) en de N.V. Nederlandse Gasunie. De huidige versie is een actualisatie en verdieping van de 'interim-methodiek' die in 2010 door SodM is uitgegeven [79].

Voor een aantal onderdelen was de beschikbare hoeveelheid informatie of de bruikbaarheid van die informatie beperkt. In die gevallen heeft RIVM in overleg met de overige betrokkenen een inschatting moeten doen. Deze inschattingen kunnen soms getypeerd worden als 'best guess' en in andere gevallen als conservatief.

Bij het opstellen van de rekenmethode zijn de eventuele risico's van mijnbouwwerk anders dan voor de productie, injectie, behandeling of transport van aardgas en aardolie niet onderzocht. Voor deze activiteiten moet daarom met bevoegd gezag worden overlegd of een risicoberekeningen nodig is en zo ja, welke uitgangspunten daarvoor gebruikt kunnen worden.

Inrichtinggrens
Met betrekking tot doorgaande transportleidingen moet duidelijk zijn waar de doorgaande transportleiding die valt onder het Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb) eindigt, en waar de leiding die hoort tot de inrichting begint. Gaat het om (i) het punt waar de leiding die producten naar de inrichting voert, aftakt van de doorgaande transportleiding, (ii) het punt waar de leiding die producten naar de inrichting voert bovengronds komt, of (iii) de eerste flens in de leiding die producten naar de inrichting voert binnen de inrichting? In het Bevb wordt niet beschreven waar doorgaande transportleidingen beginnen en eindigen. Om te voorkomen dat leidingen 'tussen wal en schip komen te vallen' is er voor gekozen om de keuze over te laten aan bevoegd gezag.

Mengsels en voorbeeldstoffen
De belangrijkste componenten in onbehandeld aardgas zijn methaan (circa 70 tot 80 massa%), overige alkanen en alkenen, stikstof, kooldioxide en waterstofsulfide. De koolwaterstoffen zijn zeer licht ontvlambaar. Zwavelwaterstof is zeer vergiftig. Kooldioxide is alleen bij zeer hoge concentraties vergiftig en stikstof is alleen verstikkend.

Toxiciteit en ontvlambaarheid
Voor wat betreft de toxiciteit is het criterium van 4,3 vol% H_2S overgenomen van het Bevb. Omdat H_2S de meest giftige component in aardgas is, kan deze ondergrens ook voor andere giftige stoffen gebruikt worden. De relevantie van

CONCEPT

de toxiciteit van mengsels met meer dan 4,3 vol% is niet onderzocht en in het bijzonder is de invloed van uitstroomcondities (zoals temperatuur, druk, uitstroomduur en afname van het debiet in de tijd) niet bekend. Daarom is in de rekenmethode nog geen voorschrift voor de risicoberekening opgenomen.

De relevantie van de toxiciteit kan (onder andere) op de volgende manier worden ingeschat:
- Ga voor het uitstroomscenario na wat de letaliteit ten gevolge van de warmtestraling is, afhankelijk van de locatie.
- Creëer voor het uitstroomscenario een nieuw bronscenario met de optie 'create source'.
- Vervang in deze nieuwe bron de gekozen voorbeeldstof door de bepalende giftige component in het mengsel.
- Verlaag het uitstroomdebiet (kg/s) op basis van de fractie giftige componenten (massa%) in het mengsel.
- Ga na of de letaliteit ten gevolge van het vrijkomen van giftige stoffen op enige locatie groter is dan de letaliteit van de warmtestraling.
- Ga op basis van de geconstateerde verschillen na of het eventueel meenemen van giftige eigenschappen leidt tot een verandering in de ligging van de PR 10^{-6} contour of de hoogte van het groepsrisico.

Voorbeeldstoffen voor ontvlambare mengsels
De categorie-indeling is gebaseerd op EU Verordening Nr. 1272/2008, beter bekend als 'CLP' [80] . De indeling van ontvlambare gassen volgens CLP is beschreven in Tabel 2.2.1 en Tabel 2.2.2 van [80]. In deze rekenmethode wordt onderscheid gemaakt tussen aardgas met minder dan 80 m^3 condensaat per miljoen Nm^3 gas ('aardgas') en mengsels van aardgas en aardgascondensaat met meer dan 80 m^3 condensaat per miljoen Nm^3 gas ('ongestabiliseerde mengsels'). Daarnaast zijn er drie categorieën van gestabiliseerde mengsels. De indeling is geïnspireerd op de indeling van CLP (Tabel 2.6.1 en Tabel 2.6.2 van [80].

De onderbouwing van de voorbeeldstoffen is als volgt:
- De categorie ontvlambare gassen betreft hoofdzakelijk aardgas. Aardgas bestaat voornamelijk uit methaan en ethaan. In het algemeen is de hoeveelheid methaan groter dan de hoeveelheid ethaan. De eigenschappen van de belangrijkste stoffen liggen dicht bij elkaar. Het gebruik van methaan is gangbaar en staat niet ter discussie. In Lowesmith et al [81] wordt besproken wat de invloed is van (aardgas)condensaat op een fakkelbrand van (voornamelijk) aardgas. Onder invloed van het condensaat neemt de hoeveelheid energie die als warmte wordt uitgestraald toe. In relatie tot andere modelonzekerheden vonden de opstellers van deze rekenmethode het niet nodig om dit effect mee te nemen in de effectberekeningen zolang de massafractie minder is dan 10%.
- Ongestabiliseerd aardgascondensaat en olie kunnen een aanzienlijke hoeveelheid (zeer) vluchtige componenten bevatten. In Burke et al. [82] worden oliemengsels geanalyseerd die tot 24 massa% gassen (methaan, ethaan, propaan en butaan) bevatten (zie Figuur 19). Het is momenteel niet mogelijk om een goed voorstel te doen voor de effectmodellering voor

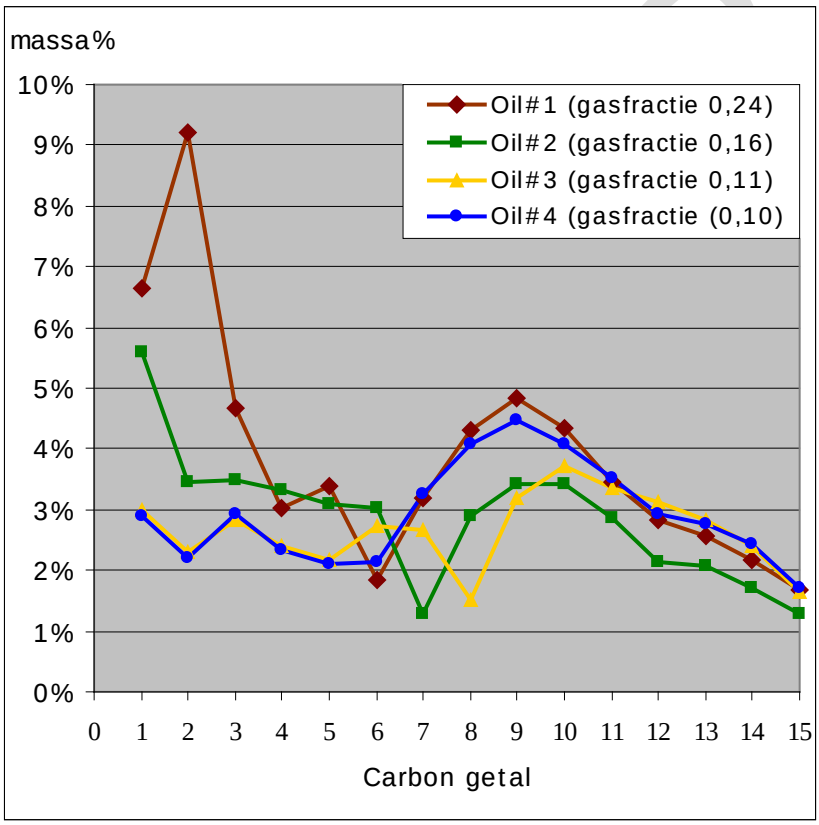
CONCEPT

mengsels van olie en gas. Voor deze effectmodellering is aanvullend inzicht nodig in:

- de uitstroming van dergelijke mengsels (druk, vloeistoffractie, uitstroomsnelheid);
- de verspreiding van deze mengsels (druppelgrootte, verdamping en uitregenen);
- de effecten van een fakkelbrand.

Binnen de literatuur zijn deze gegevens niet of nauwelijks beschikbaar. Ook het 'Multicomponent model' in PHAST is nog onvoldoende geschikt om mengsels van vloeibare en vluchtige componenten te onderzoeken.[26] De opsteller van de QRA moet voor dergelijke mengsels voorlopig zelf met een onderbouwd voorstel komen.

– Voor gestabiliseerde mengsels (categorie 2 en 3) wordt aangesloten bij de voorbeeldstoffen voor Bevi inrichtingen (respectievelijk n-hexaan en n-nonaan). Dit is mede op basis van RIVM onderzoek uit 2010 [83].



Figuur 19 Samenstelling van enkele ruwe-oliemonsters (Burke et al.,)

Voorwaarden voor het gebruik van de standaard uitstroomfrequenties

[26] Het multicomponent model in PHAST 6.7 bevat de volgende beperkingen: (1) voor mengsels met vloeibare componenten kan het Long Pipeline model niet gebruikt worden, (2) voor mengsels van gassen en vloeistoffen wordt de druppelgrootte niet goed berekend, (3) de mogelijkheid dat vloeistoffen uitregenen is nog niet in het model opgenomen.

De aanpak is gelijk aan die voor Seveso-activiteiten en andere typen inrichtingen.

Externe beschadiging
De aanpak is analoog aan die voor Brzo-inrichtingen (module 1) en andere typen inrichtingen. Voor leidingen binnen de inrichtingen zijn de faaloorzaken en –frequenties specifiek onderzocht. In het bijbehorende rapport [84] staat expliciet dat de kans op schade door externe beschadiging niet in de uitstroomfrequentie is opgenomen en dat deze bijdrage bovendien niet zonder meer verwaarloosd kan worden. Daarom moeten maatregelen getroffen worden om de kans op externe schade te beperken. In het rapport wordt gerefereerd aan maatregelen tegen aanrijdingen en maatregelen tegen het vallen van voorwerpen bij hijswerkzaamheden.

Interne domino-effecten
Voor mijnbouwwerken wordt voor hogedruk gastransportleidingen de bijdrage van domino-effecten specifiek beschouwd. De reden is dat in het onderzoek naar de kans op breuk van een hogedruk transportleiding ([84]) expliciet is aangegeven dat de bijdrage van domino-effecten additioneel in rekening gebracht moet worden. Voor overige installatie-onderdelen (anders dan hogedruktransportleidingen) zijn de uitgangspunten gelijk aan die voor Brzo-bedrijven.

Voor de hogedruk gastransportleidingen worden alleen domino-effecten als gevolg van branden die ontstaan bij flenslekkages meegenomen. Dit heeft de volgende redenen:
i. Leidinglekken of lekken in vaten geven een kleine bijdrage in de (verhoging van de) uitstroomfrequentie en zijn daarom niet relevant.
ii. Leidingbreuk en instantaan falen van een vat geven vergelijkbare effecten als het domino-effect. Ter vereenvoudiging van de methode hoeven deze scenario's voor het domino-effect niet extra te worden beschouwd.

Buisleidingen falen als ze worden blootgesteld aan direct vlamcontact of intensieve warmtestraling. Als criterium hiervoor is 35 kW/m^2 gekozen. De effectafstanden uit de rekenmethode zijn berekend voor methaan bij een temperatuur van 9°C en gelden voor weertype D9. De temperatuur en het weertype zijn conservatief gekozen.

Elke flens die een intern domino-effect kan veroorzaken, geeft een verhoging van de kans op breuk van de hogedruk gastransportleiding van $9{,}3\times10^{-10}$ per jaar. Dit is 1 ‰ van de basiskans op een flenslek ($9{,}3\times10^{-7}$ per jaar per flens). De waarde 1 ‰ is ontleend aan [85] en is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:
- De ontstekingskans voor een klein lek is 0,04 (aardgas).
- De vervolgkans dat het lek gericht is op de naburige leiding wordt ingeschat op 0,3.

CONCEPT

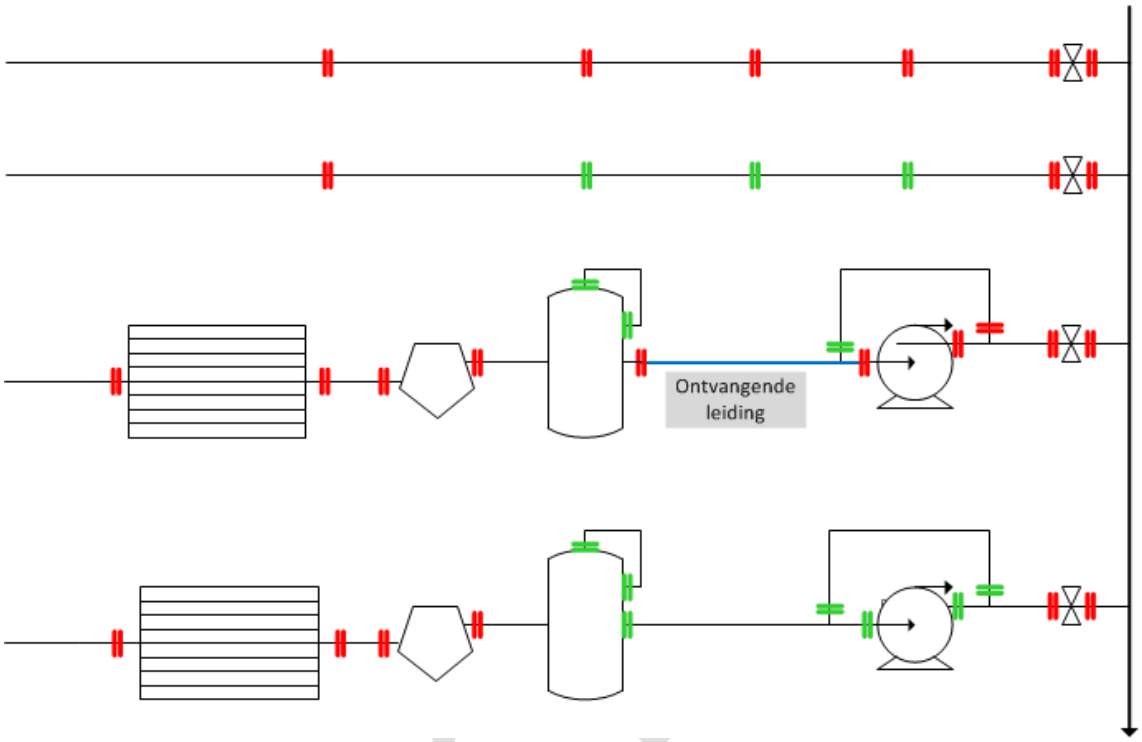
– De kans dat de lekkage tijdig gesignaleerd kan worden en een domino-effect voorkomen kan worden, wordt ingeschat op 0,9. De vervolgkans dat niet tijdig wordt ingegrepen is dus 0,1.

De basisfrequentie voor breuk van de leiding (zonder de bijdrage van domino-effecten is $5{,}6\times10^{-9}$ per meter per jaar. Als het aantal flenzen kleiner is dan 0,6 × de lengte van het bovengrondse leidingdeel in meters, dan is de additionele bijdrage van domino's door flenslekken kleiner dan $0{,}6\times9{,}7\times10^{-10} = 5{,}6\times10^{-10}$ per meter leiding per jaar. Dat is minder dan 10% van de basisuitstroomfrequentie voor breuk van de leiding en onder die voorwaarde is de bijdrage van flenzen dus verwaarloosbaar.

De effectafstanden uit de rekenmethode zijn berekend met SAFETI-NL 6.54 en zijn naar boven afgerond op veelvouden van 5.

In Figuur 20 is een voorbeeld gegeven van de flenzen die relevant zijn voor een domino-effect op de ontvangende leiding in het midden van de figuur. Het plaatje moet als 3D-geïnterpreteerd worden, waarbij de leidingen op gelijke hoogte liggen (bijvoorbeeld 1,5 m boven maaiveld). De flenzen in het betreffende (ontvangende) leidingdeel zijn niet relevant voor de beschouwing van de kans op een domino-effect. De overige leidingen zijn wel relevant, tenzij het pad tussen de flens en het ontvangende leidingdeel (deels) is geblokkeerd door een ander installatie-onderdeel. In de figuur zijn de groen gemarkeerde flenzen relevant en de rood gemarkeerde flenzen niet relevant. Voor de groen gemarkeerde flenzen moet worden nagegaan of de 35 kW/m^2-contour van een fakkelbrand volgend op een flenslek, (deels) overlapt met de ligging van de ontvangende leiding.

CONCEPT



Figuur 20 Voorbeeld van flenzen die in de beschouwing van een domino-effect voor de ontvangende leiding moeten worden meegenomen (weergegeven in groen).

Uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden
De aanpak is gelijk aan die voor Brzo-bedrijven en andere typen inrichtingen maar is nu voor het eerst expliciet gemaakt. De bijdrage van uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden is niet opgenomen in de standaard uitstroomfrequenties. Er wordt aangenomen dat in het ontwerp al rekening gehouden is met voorzienbare uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden. Er wordt geen rekening gehouden met buitengewoon uitzonderlijke omstandigheden, maar in dat geval zijn de maatschappelijke consequenties in ieder geval groot en is de additionele impact van het mogelijke vrijkomen van gevaarlijke stoffen beperkt.

Moedwillige verstoring
De aanpak is gelijk aan die voor Brzo-bedrijven en andere typen inrichtingen maar is nu voor het eerst expliciet gemaakt. De bijdrage van moedwillige verstoring is niet opgenomen in de standaard uitstroomfrequenties. Voor moedwillige verstoring is specifiek beleid van kracht.

Boringen
Boringen worden gezien als tijdelijke activiteiten waarvoor het afwegingskader van Bevi niet geschikt is. Voor boringen wordt bij het verstrekken van de

boorvergunning nagegaan of de risico's van de boring acceptabel zijn voor de omgeving.

Insluitsystemen die buiten beschouwing mogen worden gelaten
In het rekenvoorschrift is aangegeven dat sommige installatieonderdelen buiten beschouwing mogen worden gelaten omdat ze niet relevant zijn voor de externe veiligheid. De lijst is opgesteld door de betrokken vertegenwoordigers van NOGEPA. Er zijn geen berekeningen uitgevoerd om de stelling dat deze systemen niet relevant zijn voor externe veiligheid te toetsen.

Met betrekking tot de ontvlambaarheid wordt in Hankinson et al. [86] opgemerkt dat mengsels van olie en water met meer dan 55 massa% water geen brand in stand kunnen houden[27]. Deze mengsels hoeven daarom niet te worden meegenomen in de risicoberekening. Als water en condensaat in lagen gescheiden zijn, dan is er geen sprake van een mengsel. De betreffende installaties moeten wel worden meegenomen.

Afkapgrens
De effectafstanden in het rekenvoorschrift zijn berekend met SAFETI-NL 6.54 en afgerond op veelvouden van 5 m. Voor de horizontale lekkages is het Leak model gebruikt met constant uitstroomdebiet. Deze aanpak geeft voor de gegeven combinatie van gatgrootte en druk de grootste effectafstand. Voor de verticale lekkages is het Long Pipeline model gebruikt met lengte 64 km, en een

de 'relative aperture' is 0,2. Ook dit is – binnen de mogelijkheden van SAFETI-NL 6.54 – de meest conservatieve aanpak.

Maatregelen en systeemreacties
De aanpak is gelijk aan die voor Brzo-bedrijven en andere typen inrichtingen. De aanvullende opmerkingen zijn een nadere toelichting op de reeds geldende voorschriften.

Nalevering
Voor de scenario's lek in een vat (diameter 10 mm) en lek in een leiding (diameter 10% van nominale diameter, maximaal 50 mm) wordt het uitstroomdebiet hoofdzakelijk bepaald door de initiële druk in het systeem en de gatgrootte. Voor deze scenario's wordt het uitstroomdebiet niet tijdafhankelijk berekend. Nalevering geeft een verlenging van de uitstroomduur en is voor de genoemde scenario's niet relevant zolang de vrijkomende stoffen geen giftige eigenschappen hebben. Voor mengsels met meer dan 4,3 vol% giftige stoffen (waaronder H_2S) moet maatwerk verricht worden.

Rapportageplicht
Het betreft de onderdelen die het mogelijk maken de uitkomsten van de QRA te reproduceren.

[27] 'The results also indicate that the flame is extinguished if the water content of the well-stream fluid reaches about 55% by mass.'

CONCEPT

Installatieonderdelen, uitstroomscenario's en uitstroomfrequenties
Het streven is geweest om daar waar mogelijk aan te sluiten bij de risicomodellering voor Seveso-activiteiten, waarvoor de scenario's en uitstroomfrequenties beschreven zijn in module 1. Voor olie- en gasputten en slokkenvangers bestond nog geen voorschrift en hiervoor zijn nieuwe scenario's en frequenties opgesteld. Voor hogedruk gastransportleidingen en voor verschillende typen pompen en compressoren zijn nieuwe uitstroomfrequenties afgeleid op basis van uitgebreid onderzoek. Voor flexibele leidingen, verschillende typen separatoren en voor koelerbanken zijn nieuwe uitstroomfrequenties vastgesteld op basis van analogieën met installatie-onderdelen waarvoor reeds frequenties beschikbaar waren. Bij het opstellen van nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties zijn de kaders van het 'Protocol aanpassing rekenmethoden' [87] gebruikt. Tabel 50 geeft een samenvatting van de gevolgde werkwijze.

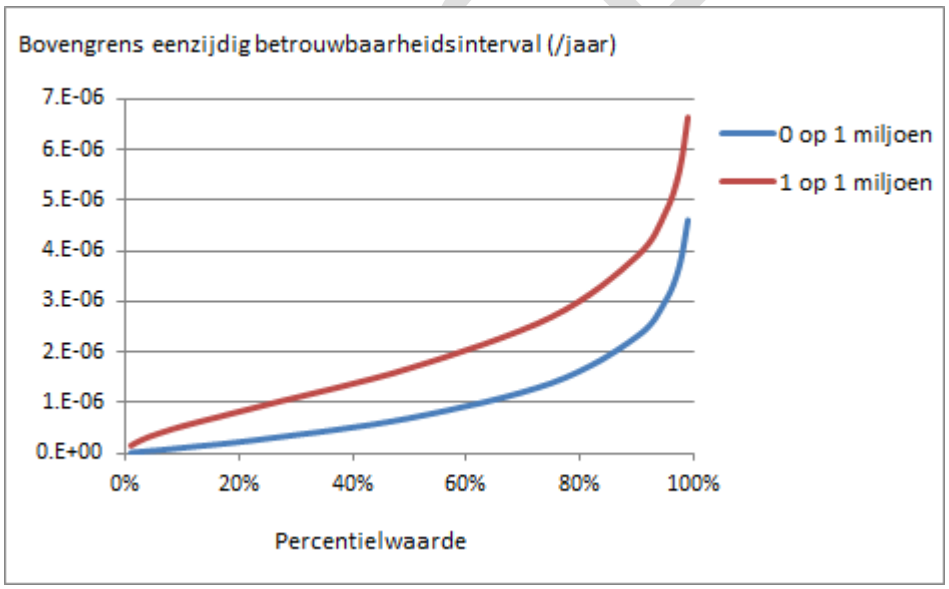
Tabel 50 Installatie-onderdelen waarvoor nieuwe uitstroomscenario's en/of -frequenties zijn opgesteld

Installatie-onderdeel	**Type aanpassing**	**Methode**
Gas- en olieputten	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor productie, injectie en onderhoudswerkzaamheden	Beschikbare statistiek voor gas- en olieputten.
Leidingen	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor flexibele leidingen	Expert judgement op basis van analogie met offshore flexibele leidingen.
	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor hogedruk gastransportleidingen	Analogie met transport-leidingen buiten de inrichting en gebruikmaking van betreffende statistiek.
Separatoren	Nieuwe indeling in typen separatoren, daarmee samenhangend ook nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties	Analogie met installatie-onderdelen waarvoor al scenario's en frequenties zijn vastgesteld.
Pompen en compressoren	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor verschillende typen pompen en compressoren.	Beschikbare statistiek voor pompen en compressoren.
Warmtewisselaars	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor koelerbanken	Analogie met installatie-onderdelen waarvoor al scenario's en frequenties zijn vastgesteld.

CONCEPT

Verantwoording van de statistische methode
Voor gas- en olieputten, hogedruk en pompen en compressoren zijn nieuwe uitstroomfrequenties afgeleid op basis van datasets met ongevallen en ervaringsjaren. Daarbij is de faalkans gebaseerd op de bovengrens van een enkelzijdig betrouwbaarheidsinterval. Aangenomen is dat het aantal events (uitstromingen) in de dataset (aantal ervaringsjaren) Poisson verdeeld is. De faalkans kan dan beschreven worden met de Gamma $(1+x,1/n)$-verdeling waarbij x het aantal ongevallen is en n de duur van de tijdsperiode. In dit onderzoek is gekozen voor de 50% percentielwaarde van het betrouwbaarheidsinterval. De motivatie hiervoor was dat deze waarde het beste aansluit bij de uitstroomfrequenties die voor andere typen inrichtingen zijn afgeleid.

In Figuur 21 is de aanpak geïllustreerd voor een fictief voorbeeld. In de figuur is de bovengrens weergegeven van een eenzijdig betrouwbaarheidsinterval voor 0 ongevallen in 1 miljoen ervaringsjaren (blauwe lijn) en voor 1 ongeval in 1 miljoen ervaringsjaren (rode lijn). De 50%-waarde is respectievelijk $6{,}9\times10^{-7}$ per jaar en $1{,}7\times10^{-6}$ per jaar. Ter vergelijking: de rekenkundige gemiddeldes voor deze voorbeelden zijn respectievelijk 0 en 1×10^{-6} per jaar.



Figuur 21 Visualisatie van de bovengrens van een eenzijdig betrouwbaarheidsinterval voor 0 ongevallen in 1 miljoen ervaringsjaren en 1 ongeval in 1 miljoen ervaringsjaren

Als grote en kleine incidenten afzonderlijk beschouwd zouden worden, dan zou voor beiden een (relatief grote) onzekerheidsmarge worden meegenomen. In dit onderzoek is besloten om grote en kleine incidenten in samenhang te beschouwen, waarbij de som van de twee uitstroomfrequenties is gelijkgesteld

aan de bovengrens voor het totale aantal ongevallen. Dit is toegelicht met een voorbeeld (zie Tabel 51). In [87] wordt toegelicht hoe de percentielwaarden kunnen worden berekend.

Tabel 51 Illustratie van de gebruikte statistische aanpak

Betreffende grootheid	**Getalswaarde (voorbeeld)**
Aantal ervaringsjaren	450.000
Aantal grote ongevallen	0
Aantal kleine ongevallen	2
Totaal aantal ongevallen	2
Bovengrens (50%) voor totaal aantal ongevallen	$5{,}94\times10^{-6}$ per jaar
Bovengrens (50%) voor grote ongevallen	$1{,}54\times10^{-6}$ per jaar
Resulterende uitstroomfrequentie voor grote ongevallen	$1{,}54\times10^{-6}$ per jaar
Resulterende uitstroomfrequentie voor kleine ongevallen	$4{,}40\times10^{-6}$ per jaar

Gas en olieputten
In het rekenvoorschift zijn de onderdelen weergegeven van een put die voldoet aan de 'North Sea Standard'. Alle onderdelen vanaf het reservoir tot en met de 'wing valve' worden tot de put gerekend. Alle bovengrondse installaties vanaf de wing valve moeten afzonderlijk worden meegenomen in de QRA.

Uitstroomfrequenties voor olie- en gasputten
Uitgangspunt is een rapport van SCANDPOWER [88] waarin uitstroomfrequenties worden afgeleid voor offshore installaties. De data zijn afkomstig uit het Noordzeegebied en Golf van Mexico over de periode 1980-2005 (voor sommige onderdelen 1986 – 2005). Putten met een 'gas oil ratio' groter dan 1000 worden gezien als gasputten en overige putten als olieputten.

Het SCANDPOWER rapport maakt onderscheid tussen een 'well blowout' en een 'well release', en tussen een 'full release' en een 'restricted release'. Bij een 'well blowout' stroomt de olie en gas ongehinderd uit de put en wordt de uitstroom niet gestopt door barrières die voorafgaand aan de release bij de put aanwezig waren[28]. Bij een 'well release' wordt de uitstroom wel gestopt door de aanwezige veiligheidsvoorzieningen[29] als is het niet duidelijk op welk moment precies. Beide categorieën worden verder verdeeld naar 'full releases' en 'restricted releases'. Uit navraag bleek dat 'restricted releases' in het algemeen kleinere lekkages betreft.

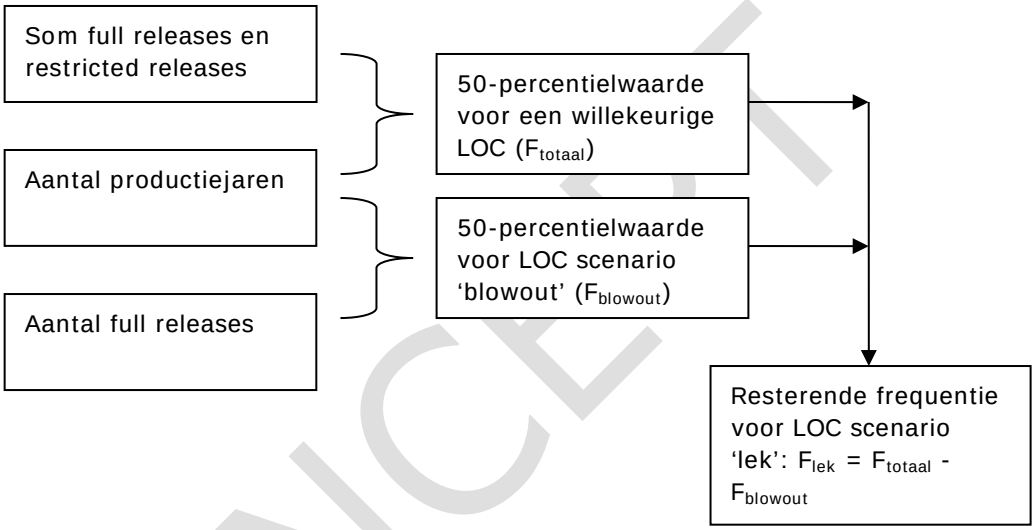
Het SCANDPOWER rapport bevat voor de verschillende typen ongevallen geen gedetailleerde gegevens over de duur van de release en de locatie en omvang

[28] Definitie SINTEF: 'An incident where formation fluid flows out of the well of between formation layers after all the predefined technical well barriers – or the activation of the same – have failed.'

[29] Definitie SINTEF: 'An incident where hydrocarbons flow from the well at some point where flow was not intended and the flow was stopped by use of the barrier system that was available on the well at the time of the incident.'

CONCEPT

(uitstroomdebiet) ervan. Omdat het niet duidelijk is op welk moment (en door welke barrières) 'well releases' gestopt werden, is besloten om ten behoeve van de externe-veiligheidsberekening geen onderscheid te maken naar 'well blowouts' en 'well releases'. Het onderscheid tussen 'full releases' en 'restricted releases' wordt wel gebruikt. 'Full releases' worden daarbij toebedeeld aan het EV-scenario blowout van de put en 'restricted releases' worden beschouwd als lekkages vanuit de put (zie Figuur 22). Het volledige stroomschema voor de manier waarop de frequenties voor de LOC scenario's zijn afgeleid, is weergegeven in Figuur 23.



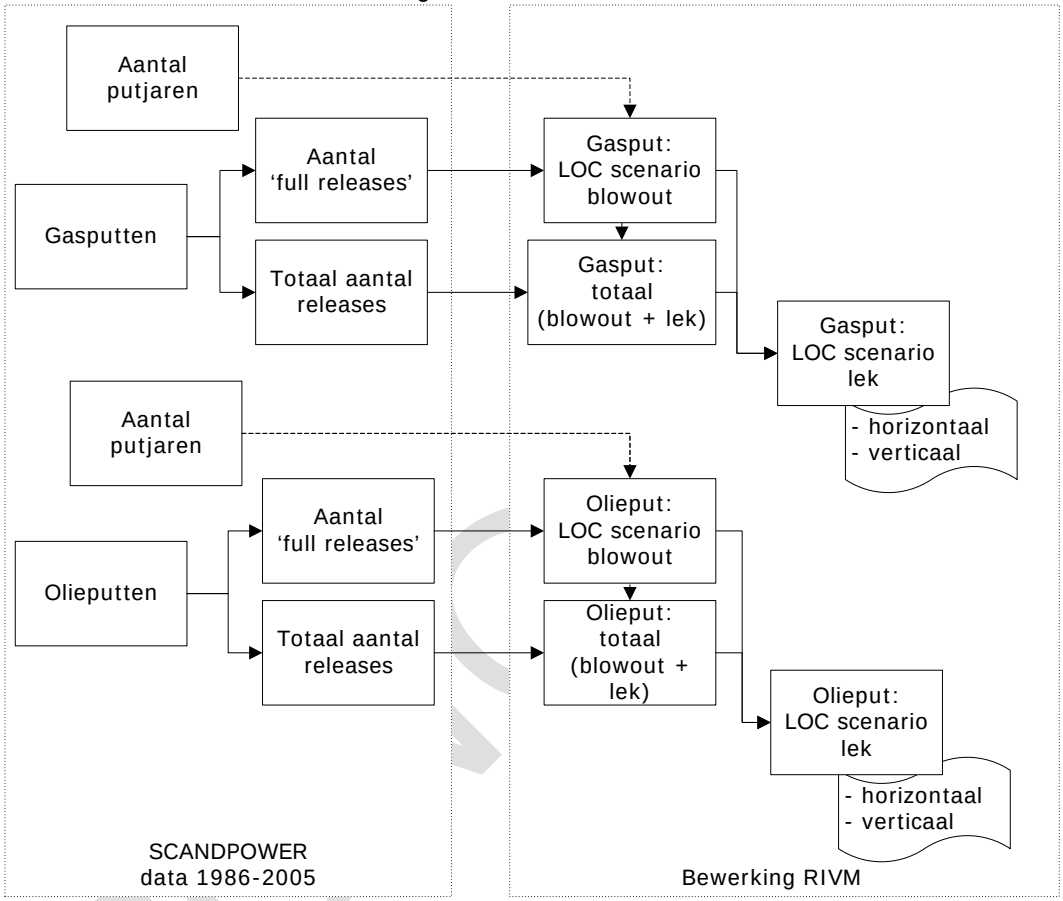
Figuur 22 Toekenning van uitstroomfrequenties aan LOC scenario's

Faalkansen voor productie en injectie
Voor productie en injectie worden in het SCANDPOWER [88] rapport het volgende vermeld:

- Voor de periode 1986-2005 worden in paragraaf 5.2 van [88] 'well blowouts' vermeld voor putten die voldeden aan de 'North Sea Standard'. De betreffende paragraaf heeft alleen betrekking op 'interne' oorzaken. Uit paragraaf 5.1 van [88] blijkt dat in dezelfde periode ook zeven blowouts zijn opgetreden ten gevolge van een externe faaloorzaak (één keer domino-effect, twee keer aanvaring door een schip en vier keer storm/orkaan). Deze externe faaloorzaken zijn niet meegenomen in de bepaling van de uitstroomfrequentie.
- Het aantal 'well releases' in dezelfde periode voor dezelfde putten was 2 (zie paragraaf 5.3 van [88]). Eventuele ongevallen door toedoen van externe oorzaken ('external loads') zijn niet meegenomen.
- Van de 8 bovengenoemde incidenten waren er 7 bij gasputten en 1 bij een olieput (zie paragraaf 5.3 van [88]).
- Het aantal putjaren in de periode 1986-2005 was 81.168 voor gasputten en 93.860 voor olieputten (zie onder meer paragraaf 5.2 van [88]).
- Voor de verdeling 'full releases'/'restricted releases' worden in paragraaf 6.1 van [88] data gerapporteerd over de periode 1980-2005. Voor 'well

CONCEPT

blowouts' waren er in deze periode zeven ongevallen, waarvan 2 'full' en 5 'chocked' (Tabel 6.1). In dezelfde periode waren er twee 'well releases', waarvan 1 'full' en 1 'chocked' (Tabel 6.5). In totaal waren er dus 3 'full releases' en 6 'restricted releases'. De fractie 'full releases' is daarmee een derde van het totale aantal ongevallen.



Figuur 23 Stroomschema voor het afleiden van LOC frequenties voor productie/injectie

Voor gasputten worden de volgende getalswaarden afgeleid:

- Er waren 7 incidenten ('full release' of 'restricted release') in 81.168 putjaren. De 50-percentielwaarde voor een willekeurig incident (groot of klein) is 9,4×10-5 per jaar.
- Van deze incidenten is een derde een 'full release'. De beste schatting voor het aantal 'full releases' is daarom 2,33. De corresponderende 50-percentielwaarde is $3{,}3\times10^{-5}$ per jaar. Deze frequentie wordt toegekend aan het LOC scenario Blowout.
- De resterende kans ($F_{totaal} - F_{blowout}$) wordt toegekend aan het LOC scenario Lek. Deze waarde is $6{,}2\times10^{-5}$ per jaar.
- De kans op een lek wordt verder onderverdeeld naar een horizontaal lek en een verticaal lek. Aangenomen wordt dat 10% van alle releases een

horizontaal lek betreft.[30] De bijbehorende kans is $9{,}4\times10^{-6}$ per jaar. Het resterende deel van de kans op een lek ($5{,}2\times10^{-5}$ per jaar) wordt toegekend aan het scenario verticaal lek.

Voor olieputten worden de volgende getalswaarden afgeleid:

- Er was 1 incident ('full release' of 'restricted release') in 93.860 putjaren. De 50-percentielwaarde voor een willekeurig incident (groot of klein) is $1{,}8\times10^{-5}$ per jaar.
- Van deze incidenten is een derde een 'full release'. De beste schatting voor het aantal 'full releases' is daarom 0,33. De corresponderende 50-percentielwaarde is $7{,}4\times10^{-6}$ per jaar. Deze frequentie wordt toegekend aan het LOC scenario Blowout.
- De resterende kans ($F_{\text{totaal}} - F_{\text{blowout}}$) wordt toegekend aan het LOC scenario Lek. Deze waarde is $1{,}0\times10^{-5}$ per jaar.
- De kans op een lek wordt verder onderverdeeld naar een horizontaal lek en een verticaal lek. Aangenomen wordt dat 10% van alle releases een horizontaal lek betreft. De bijbehorende kans is $1{,}8\times10^{-6}$ per jaar. Het resterende deel van de kans op een lek ($8{,}7\times10^{-5}$ per jaar) wordt toegekend aan het scenario verticaal lek.

De resulterende faalkansen zijn vermeld in Tabel 52 voor gasputten en Tabel 53 voor olieputten. Voor de volledigheid zijn ook de gemiddelde waarden en de 95-percentielwaarden weergegeven.

Tabel 52 Resulterende uitstroomfrequenties voor gasputten (productie/injectie)

	Gemiddelde waarde (per jaar)	**50-percentielwaarde (per jaar)**	**95-percentielwaarde (per jaar)**
Totale kans	$8{,}6\times10^{-5}$	$9{,}4\times10^{-5}$	$1{,}6\times10^{-4}$
Kans op full release	$2{,}9\times10^{-5}$	$3{,}3\times10^{-5}$	$7{,}8\times10^{-5}$
Kans op restricted release	$5{,}7\times10^{-5}$	$6{,}2\times10^{-5}$	$8{,}4\times10^{-5}$
Kans op een blowout	$2{,}9\times10^{-5}$	$3{,}3\times10^{-5}$	$7{,}8\times10^{-5}$
Kans op verticaal lek	$4{,}9\times10^{-5}$	$5{,}2\times10^{-5}$	$6{,}8\times10^{-5}$
Kans op horizontaal lek	$8{,}6\times10^{-6}$	$9{,}4\times10^{-6}$	$1{,}6\times10^{-5}$

Tabel 53 Resulterende uitstroomfrequenties voor olieputten (productie/injectie)

	Gemiddelde waarde (per jaar)	**50-percentielwaarde (per jaar)**	**95-percentielwaarde (per jaar)**
Totale kans	$1{,}1\times10^{-5}$	$1{,}8\times10^{-5}$	$5{,}1\times10^{-5}$
Kans op full	$3{,}6\times10^{-6}$	$7{,}4\times10^{-6}$	$3{,}2\times10^{-5}$

[30] Deze waarde werd aanbevolen door experts uit de industrie die door de werkgroep benaderd zijn.

CONCEPT

release			
Kans op restricted release	$7{,}1\times10^{-6}$	$1{,}0\times10^{-5}$	$1{,}9\times10^{-5}$
Kans op een blowout	$3{,}6\times10^{-6}$	$7{,}4\times10^{-6}$	$3{,}2\times10^{-5}$
Kans op verticaal lek	$6{,}0\times10^{-6}$	$8{,}7\times10^{-6}$	$1{,}4\times10^{-5}$
Kans op horizontaal lek	$1{,}1\times10^{-6}$	$1{,}8\times10^{-6}$	$5{,}1\times10^{-6}$

Faalkansen voor onderhoudsactiviteiten zoals workover, wireline, coiled-tubing en snubbing

Ook voor onderhoudswerkzaamheden zijn de faalkansen afgeleid van de beschikbare gegevens in het SCANDPOWER rapport [51]. Voor verschillende typen activiteiten wordt het aantal ongevallen gerapporteerd waarbij onderscheid gemaakt wordt naar 'well blowouts' en 'well releases' en naar 'full releases' en 'restricted releases'. Er wordt niet per activiteit gerapporteerd hoeveel releases bij gasputten plaatsvonden en hoeveel bij olieputten. Daarom is de manier waarop de uitstroomfrequentie wordt afgeleid iets anders dan voor productie.

In het SCANDPOWER rapport [88] worden de volgende gegevens gerapporteerd:

- Het aantal blowouts tijdens onderhoudsactiviteiten (20,8) in de periode 1980-2005 voor putten die voldoen aan de North Sea Standard (paragraaf 6.1.1 in [88]), met onderscheid naar het type activiteit (zie Tabel 54).[31]
- Het aantal 'well releases' tijdens onderhoudsactiviteiten (23,2) in de periode 1980-2005 (paragraaf 6.1.2 in [88]), met onderscheid naar het type activiteit (zie Tabel 54).[31]
- Het aantal blowouts tijdens onderhoudsactiviteiten (14,8) in de periode 1986-2005 voor putten die voldoen aan de North Sea Standard (Tabel 4.3 in [88]), met onderscheid naar het type activiteit (zie Tabel 54). [31]
- Het aantal 'well releases' tijdens onderhoudsactiviteiten (20) in de periode 1986-2005 (Tabel 4.7 in [88]), met onderscheid naar het type activiteit (zie Tabel 54).[31]
- Het totale aantal blowouts en 'well releases' in de periode 1986-2005 (41[32]), waarvan 3 met uitstroming van boorvloeistof, 19 met uitstroming van gas (gas oil ratio groter dan 1000), 12 met uitstroming van olie (gas oil ratio kleiner dan 1000) en 7 onbekend (paragraaf 4.1 in [88]). Hieruit worden

[31] De weergegeven aantallen zijn geen gehele getallen. De reden hiervoor is dat SCANDPOWER correctiefactoren heeft toegepast om relevante scenario's te selecteren. Voor completion bijvoorbeeld, zijn in de periode 1980-2005 negen blowouts opgetreden waarvan twee bij putten die voldeden aan de North Sea Standard (NSS) en zeven bij putten die niet voldeden aan de NSS. Niet alle blowouts bij putten die niet voldoen aan de NSS kunnen voorkomen worden met installaties die wel voldoen aan de NSS. SCANDPOWER veronderstelt dat 20% van de blowouts toch zou optreden (paragraaf 4.1). Daarmee komt het totale aantal relevant geachte blowouts voor completion uit op 2+1,4=3,4. Het totaal voor alle onderhoudsactiviteiten komt voor de genoemde periode uit op 20,8.

[32] Het getal 41 wijkt af van het genoemde aantal in Tabel 214 (34,8). De achterliggende reden is dat Tabel 214 alleen betrekking heeft op scenario's die kunnen optreden bij putten die voldoen aan de North Sea Standard.

CONCEPT

fracties van het aantal gas releases (19/31) en het aantal olie releases (12/31) afgeleid.
- Het aantal productiejaren voor gas (81.168) en het aantal productiejaren voor olie (93.860) in de periode 1986-2005 en de som van beide (175.028) (paragraaf 4.1 van [88]).
- De fractie van het aantal 'full releases' en het aantal 'restricted releases' voor blowouts (Tabel 6.1 van [88]) en voor 'well releases' (Tabel 6.5 van [88]) voor de onderscheiden (onderhouds)activiteiten in de periode 1980-2005, zie Tabel 55.
- De frequentie van de onderhoudsactiviteiten (paragraaf 4.1 in [88]), zie Tabel 56.

Tabel 54 Aantal 'blowouts' en 'well releases' voor de periodes 1980-2005 en 1986-2005

	1980-2005	**1986-2005**
Blowouts tijdens completion	3,4	1,4
Blowouts tijdens wireline	4	2
Blowouts tijdens coiled-tubing	2	2
Blowouts tijdens snubbing	4	3
Blowouts tijdens workover	7,4	6,4
Subtotaal	20,8	14,8
Well releases tijdens completion	4	4
Well releases tijdens wireline	3	3
Well releases tijdens coiled-tubing	2	2
Well releases tijdens snubbing	2	1
Well releases tijdens workover	12,2	10
Subtotaal	23,2	20
Totaal	44	34,8

Tabel 55 Verdeling van 'full releases' en 'restricted releases' in de periode 1980-2005

	Aantal incidenten	**Fractie 'full releases'**	**Fractie 'restricted releases'**
Blowouts tijdens completion	3,4	0,65	0,35
Blowouts tijdens wireline	4	0,25	0,75
Blowouts tijdens coiled-tubing	2	0,50	0,50
Blowouts tijdens snubbing	4	0,50	0,50
Blowouts tijdens workover	7,4	0,40	0,60
Well releases tijdens completion	4	0,50	0,50
Well releases tijdens wireline	3	0,33	0,67
Well releases tijdens coiled-tubing	2	0,50	0,50
Well releases tijdens snubbing	2	0,50	0,50
Well releases tijdens workover	12,2	0,50	0,50

CONCEPT

Tabel 56 Frequentie van onderhoudsactiviteiten volgens SCANDPOWER

Activiteit	**Frequentie**	**Herkomst getal**
Completion	0,09 per putjaar	16.327 'completions' op 175.042 putjaren.
Wireline	1,7 per putjaar	"assumption based on feedback from oil companies"
Coiled-tubing	0,08 per putjaar	Data analyse voor Noorse platforms in de periode 1995-2000.
Snubbing	0,05 per putjaar	Data analyse voor Noorse platforms in de periode 1995-2000.
Workover	0,14 per gasputjaar 0,2 per olieputjaar	Schatting op basis van referentie 4 in .

Het onderscheid naar 'full releases' en 'restricted releases' is dus wel beschikbaar voor de periode 1980-2005 maar niet voor de periode 1986-2005. Het aantal productiejaren voor gas en voor olie gedurende de periode 1980-2005 wordt niet vermeld in [88]. De aantallen voor de periode 1980-1985 zijn wel beschikbaar in [89][33]. In
Tabel 57 zijn de data van de beide bronnen gecombineerd.

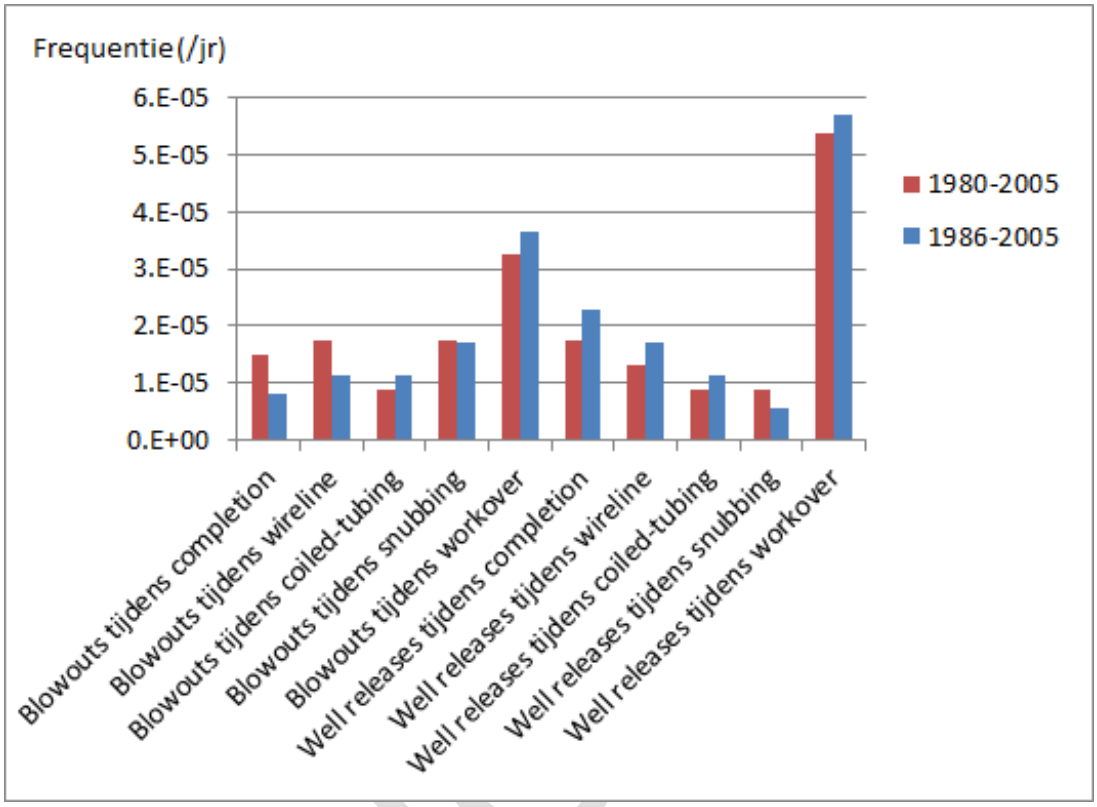
Tabel 57 Aantal productiejaren voor gas- en olieputten voor de periode 1980-2005

Periode	**Bron**	**Gasputten**	**Olieputten**	**Totaal**
1980-1985	Holand ([89])	27.171	24.374	51.545
1986-2005	SCANDPOWER ([88])	81.168	93.860	175.028
1980-2005	Combinatie van [88] en [89]	108.339	118.234	226.573

Omdat voor de periode 1980-2005 de verdeling naar 'full releases' en 'restricted releases' bekend is (Tabel 55), is deze periode als referentieperiode gebruikt. In termen van ongevalskans zijn de onderlinge verschillen tussen de twee datasets overigens beperkt, zie Figuur 24. In de verdere afleiding van uitstroomfrequenties is alleen de verdeling van het aantal gasreleases en het aantal oliereleases gebaseerd op gegevens over de periode 1986-2005.

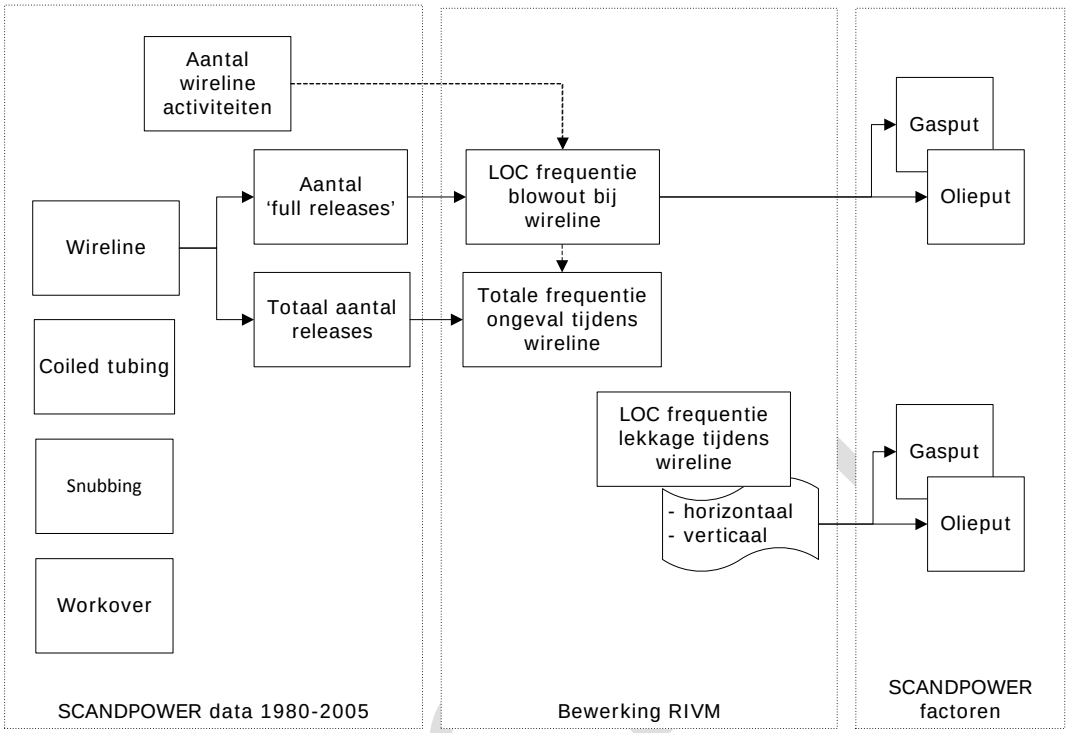
CONCEPT

[33] Het betreft 27171 putjaren voor gas en 24374 putjaren voor olie. Het aantal gas- en olieputten in de periode 1980-1985 (op enig moment gemiddeld 8591) verschilt nauwelijks van het aantal gas- en olieputten in de periode 1986-2005 (op enig moment gemiddeld 8751).



Figuur 24 Vergelijking datasets 1980-2005 en 1986-2005

De manier waarop de uitstroomfrequenties zijn afgeleid is weergegeven in Figuur 25. Voor elk van de onderhoudsactiviteiten wordt in het SCANDPOWER rapport een aantal ongevallen gegeven met onderscheid naar ‘full releases’ en ‘restricted releases’. Op basis van deze data en het bijbehorende aantal activiteiten worden LOC frequenties afgeleid. Het SCANDPOWER rapport bevat weinig informatie over het type put (olie of gas). Daarom wordt pas nadat (gemiddelde) LOC frequenties zijn afgeleid, een correctiefactor toegepast voor olie-/gasputten. Deze aanpak is vergelijkbaar met de manier waarop SCANDPOWER het onderscheid tussen olie- en gasputten aanbrengt.



Figuur 25 Stroomschema voor het afleiden van LOC frequenties voor onderhoudswerkzaamheden (uitgewerkt voor wireline)

In Tabel 58 is het aantal 'blowouts' en het aantal 'well releases' weergegeven voor putten die voldoen aan de North Sea Standard. Deze data zijn gebaseerd op paragraaf 6.1 van het SCANDPOWER rapport. Het betreft alle releases gedurende de periode 1980-2005 die relevant worden geacht voor putten die voldoen aan de North Sea Standard.

Tabel 58 Aantal blowouts en well releases (met onderscheid naar 'full releases') voor putten die voldoen aan de North Sea Standard in de Noordzee regio en de Golf van Mexico

Activiteit	**Well blowout**		**Well release**		**Totaal**	
	alle releases	'full rel.'	alle releases	'full rel.'	alle releases	'full rel.'
Completion	3,4	2,2	4	2	7,4	4,2
Wireline	4	1	3	1	7	2
Coiled Tubing	2	1	2	1	4	2
Snubbing	4	2	2	1	6	3
Workover	7,4	3,2	12,2	6,1	19,6	9,3
Totaal	20,8	9,4	23,2	15,1	44,0	20,5

Voor het afleiden van een faalkans per activiteit is het nodig om het aantal putjaren te vertalen naar aantallen activiteiten. Hiervoor zijn factoren afgeleid in paragraaf 4.1 van het SCANDPOWER rapport. Deze zijn vermeld in Tabel 59.

Op basis van het aantal ongevallen (Tabel 58) en het aantal activiteiten (Tabel 59) kunnen frequenties worden afgeleid. Hiervoor wordt dezelfde aanpak gehanteerd als voor productie (zie Figuur 22). De gekozen uitstroomfrequenties komen overeen met de 50% bovengrens van een eenzijdig betrouwbaarheidsinterval (zie verantwoording van de statistische methode). De frequentie voor het LOC scenario blowout wordt afgeleid van het aantal 'full releases'. De resterende uitstroomfrequentie wordt toebedeeld aan het LOC scenario lek. De frequentie voor horizontale lekkages is daarbij 10% van de totale frequentie voor een release (op basis van een inschatting van experts uit de industrie). Dit resulteert in de uitstroomfrequenties van Tabel 60. Voor de blowout tijdens 'workover' wordt aangenomen dat 20% een blowout ter grootte van de casing betreft en 80% een blowout ter grootte van de tubing. Ook dit betreft een inschatting van experts uit de industrie.

Tabel 59 Schatting van het aantal uitgevoerde onderhoudswerkzaamheden

Activiteit	**Aantal putjaren**	**Aantal activiteiten per putjaar (schatting)**	**Aantal activiteiten (schatting)**
Completion	226.573	0,10[34]	22.657
Wireline	226.573	1,7	385.174
Coiled Tubing	226.573	0,08	18.126
Snubbing	226.573	0,05	11.329
Workover	226.573	0,18[35]	40.783

Tabel 60 Uitstroomfrequenties (50 percentiel) voor LOC scenario's (gas en olieputten tezamen)

	Totaal (freq. per act.)	**Blowout (freq. per act.)**	**Horizontaal lek (freq. per act.)**	**Verticaal lek (freq. per act.)**
Completion	$3{,}4\times10^{-4}$	$2{,}1\times10^{-4}$	$9{,}8\times10^{-5}$	$3{,}4\times10^{-5}$
Wireline	$2{,}0\times10^{-5}$	$6{,}9\times10^{-6}$	$1{,}1\times10^{-5}$	$2{,}0\times10^{-6}$
Coiled-tubing	$2{,}6\times10^{-4}$	$1{,}5\times10^{-4}$	$8{,}4\times10^{-5}$	$2{,}6\times10^{-5}$
Snubbing	$5{,}9\times10^{-4}$	$3{,}2\times10^{-4}$	$2{,}1\times10^{-4}$	$5{,}9\times10^{-5}$
Workover	$4{,}9\times10^{-4}$	$2{,}4\times10^{-4}$	$2{,}1\times10^{-4}$	$4{,}9\times10^{-5}$

De uitstroomfrequenties van Tabel 60 betreffen gemiddelde frequenties waarin nog geen onderscheid is gemaakt naar gas- en olieputten. Volgens SCANDPOWER zijn er in de periode 1986-2005 41 releases geweest waarvan 19 met uitstroming van gas, 12 met olie, 3 met boorvloeistof en 7 met onbekende uitstroming. Omdat er 7 incidenten zijn met onbekende uitstroming, kunnen de

[34] Een afrondingsfout. Volgens Tabel 216 is de werkelijke waarde 0,09.

[35] Een afrondingsfout. Voor 93.860 olieputjaren en 81.168 gasputjaren is de gemiddelde waarde op basis van Tabel 216 gelijk aan 0,17.

CONCEPT

frequenties niet direct uit het aantal ongevallen berekend worden, maar is een extra correctiefactor nodig.

Voor de vertaling van gemiddelde frequenties naar specifieke frequenties voor gasputten en voor olieputten is de aanpak van SCANDPOWER gevolgd. Deze maakt gebruik van de vereenvoudiging dat het aantal gasputten gelijk is aan het aantal olieputten en dat de gemiddelde frequentie voor gas- of olieputten (f_{gem}) het gemiddelde is van de frequentie voor gasputten (f_{gas}) en de frequentie voor olieputten (f_{olie}). In werkelijkheid is deze vereenvoudiging niet nodig en had ook een exacte oplossing gebruikt kunnen worden (zie Tabel 61). De verschillen tussen de SCANDPOWER benadering en de exacte oplossing zijn zeer beperkt en vormen geen aanleiding om de uitstroomfrequenties te herberekenen.

Tabel 61 Aanpak voor het afleiden van specifieke frequenties voor gas- en olieputten

Parameter	**SCANDPOWER benadering**	**Exacte oplossing**
f_{gas}/f_{olie}	(19/81.168) / (12/93.860) = 1,8	idem
f_{gem}	$f_{gem} = (f_{gas} + f_{olie})/2$	81.168 f_{gas} + 93.860 f_{olie} = 175.028 f_{gem}
f_{gas}	$f_{gas} = 1{,}29 \times f_{gem}$	$f_{gas} = 1{,}32 \times f_{gem}$
f_{olie}	$f_{olie} = 0{,}71 \times f_{gem}$	$f_{olie} = 0{,}72 \times f_{gem}$

De resulterende uitstroomfrequenties voor gasputten en de resulterende uitstroomfrequenties voor olieputten zijn vermeld in het rekenvoorschrift

Leidingen
Voor het onderdeel Leidingen zijn twee onderzoeken uitgevoerd. Het eerste onderzoek betrof een korte analyse van de uitstroomfrequentie van flexibele leidingen. Het tweede betrof uitgebreid onderzoek naar transportleidingen voor aardgas binnen inrichtingen.

Procesleidingen
Voor procesleidingen wordt verwezen naar Hoofdstuk 3 en de daarbij horende verantwoording.

Flexibele leidingen
In mijnbouwwerken wordt er veel gebruik gemaakt van flexibele leidingen. Het betreft hier het gebruik van bovengrondse leidingen van het type 'unbonded'[36]. Voor dergelijke leidingen zijn nog geen uitstroomfrequenties vastgesteld.

Om informatie te vergaren over de uitstroomfrequenties van flexibele leidingen is een literatuuronderzoek verricht. Uit dit literatuuronderzoek blijkt dat er geen specifieke faalgegevens bekend zijn over flexibele leidingen die op land (onshore) worden gebruikt. Er zijn wel faalgegevens bekend over flexibele leidingen (ook van het bovengenoemde type) die in de offshore worden

[36] Er zijn twee typen flexibele leidingen te onderscheiden: 'bonded' en 'unbonded'. Een gedetailleerde beschrijving van beide typen en de verschillen is terug te vinden in de 'Recommended practice for flexible pipe' (ANSI/API 17B, versie juli 2008).

CONCEPT

gebruikt. De omstandigheden waaronder de flexibele leidingen in de offshore worden gebruikt (externe druk van zeewater, externe corrosie, erosie, impact temperatuurswisselingen, etc.), zijn over het algemeen veel zwaarder dan het gebruik van dezelfde flexibele leidingen in de onshore. De uitstroomfrequenties van de flexibele leidingen tijdens de 'offshore omstandigheden' geven daarom een conservatieve benadering voor het inschatten van de uitstroomfrequenties van dezelfde flexibele leidingen die in onshore worden gebruikt.

In Tabel 2 van [90] worden specifieke faalgegevens weergegeven voor flexibele en stalen leidingen met onderscheid naar transportleidingen ('pipelines', Tabel 62) en procesleidingen ('piping', Tabel 63). De gemiddelde uitstroomfrequentie voor flexibele transportleidingen komt uit op $2{,}15\times10^{-5}$ per jaar en voor stalen transportleidingen $4{,}15\times10^{-6}$ per jaar. De frequentie voor flexibele transportleidingen is dus een factor 5,2 hoger dan die voor stalen transportleidingen. Voor procesleidingen zijn de uitstroomfrequenties respectievelijk $3{,}51\times10^{-4}$ per jaar (flexibele procesleidingen) en $9{,}84\times10^{-5}$ per jaar (stalen procesleidingen). Het verschil is een factor 3,57. Geconcludeerd wordt dat de flexibele leidingen een uitstroomfrequentie hebben die ongeveer een factor 5 hoger is dan de stalen leidingen.

Tabel 62 Offshore faaldata voor flexibele en stalen transportleidingen (bron: [90])

	Flexibele leidingen			**Stalen leidingen**		
Diameter (D)	Ervarings-jaren	Aantal releases	Frequentie (per jaar)	Ervarings-jaren	Aantal releases	Frequentie (per jaar)
	107.676	3	$2{,}79\times10^{-5}$	253.976	5	$1{,}97\times10^{-5}$
	142.153	1	$7{,}03\times10^{-6}$	955.716	3	$3{,}14\times10^{-6}$
	16.206	0		346.172	1	$2{,}89\times10^{-6}$
	3.250	2	$6{,}15\times10^{-4}$	214.664	0	
D > 16"	10.375	0		639.147	1	$1{,}56\times10^{-6}$
Totaal	279.660	6	$2{,}15\times10^{-5}$	2.409.675	10	$4{,}15\times10^{-6}$

Tabel 63 Offshore faaldata voor flexibele en stalen procesleidingen (bron: [90])

	Flexibele leidingen			**Stalen leidingen**		
Diameter (D)	Ervarings-jaren	Aantal releases	Frequentie (per jaar)	Ervarings-jaren	Aantal releases	Frequentie (per jaar)
	34.517	30	$8{,}69\times10^{-4}$	1.004.405	186	$1{,}85\times10^{-4}$
	72.675	10	$1{,}38\times10^{-4}$	1.671.519	98	$5{,}86\times10^{-5}$
D > 11"	6.725	0		474.549	26	$5{,}48\times10^{-5}$
Totaal	113.917	40	$3{,}51\times10^{-4}$	3.150.473	310	$9{,}84\times10^{-5}$

Omdat de belasting van offshore leidingen verschilt van die van onshore leidingen is besloten om de uitstroomfrequenties van Tabel 62 en Tabel 63 niet te gebruiken voor flexibele onshore leidingen. In plaats daarvan is ervoor gekozen om voor flexibele onshore procesleidingen dezelfde indeling en uitstroomscenario's te gebruiken als voor vaste onshore procesleidingen (Tabel

CONCEPT

27) en de uitstroomfrequenties met een factor 5 te verhogen. Het resultaat is weergegeven in Tabel 64.

Tabel 64 Resulterende uitstroomfrequenties voor flexibele leidingen

	Uitstroomfrequentie voor breuk van de leiding (per meter per jaar)	**Uitstroomfrequentie voor lek van de leiding (per meter per jaar)**
Nominale diameter < 75 mm	$5{,}0\times10^{-6}$	$2{,}5\times10^{-5}$
mm	$1{,}5\times10^{-6}$	$1{,}0\times10^{-5}$
Nominale diameter > 150 mm	$5{,}0\times10^{-7}$	$2{,}5\times10^{-6}$

In Tabel 64 zijn de uitstroomfrequenties voor het scenario lek een factor vijf hoger dan de uitstroomfrequenties voor het scenario breuk. De data van [90] zijn gebruikt om na te gaan of deze verdeling ook voor flexibele leidingen gebruikt mag worden. Uit de analyse (zie Tabel 65) blijkt de verdeling 5/6 voor lek en 1/6 voor breuk conservatief is.

Tabel 65 Geconstateerde gatgrootten bij het falen van flexibele leidingen (bron: [90])

		Gatgrootte: equivalente diameter in mm						
		<10	10-25	25-50	50-75	75-100	>100	Onb.
Transportleiding		2	0	1	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	1	0
		0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	1	1	0
	d > 16"	0	0	0	0	0	0	0
Procesleiding		13	9	4	3	0	1	0
		6	2	1	0	0	0	0
	d > 11"	0	0	0	0	0	0	0
Totaal		21	11	6	3	1	3	0
Percentage		47%	24%	13%	7%	2%	7%	0%
Cumulatief %		100%	53%	29%	16%	9%	7%	0%

Hogedruk gastransportleidingen

Voor hogedruk gastransportleidingen zijn de mogelijke uitstroomscenario's en -frequenties in 2011 onderzocht. De bevindingen zijn gerapporteerd in [84] en samengevat in Tabel 66. In [84] wordt voorgesteld om de uitstroomfrequentie voor breuk of lek van een hogedruk gastransportleiding binnen de inrichting af te leiden van statistiek voor Europese hogedruk gastransportleidingen buiten de inrichting. Voor flenzen kan de statistiek afkomstig van Nederlandse onshore mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen gebruikt worden.

Tabel 66 Resulterende uitstroomfrequenties voor hogedruk gastransportleidingen

Scenario	**Aantal meterjaren**	**Aantal**	**50**

CONCEPT

	ervaring	ongevallen	percentielwaarde
Breuk van de leiding	$3{,}15\times10^{9}$ [37]	17 [37]	$5{,}6\times10^{-9}$
Lek van de leiding	$3{,}15\times10^{9}$ [37]	63 [37]	$2{,}0\times10^{-8}$
Flenslek	1.802.355	1	$9{,}3\times10^{-7}$

Het falen van een leiding door 'external impact' is nog niet meegenomen in de standaard uitstroomfrequenties. Het risico van bijvoorbeeld voertuigbewegingen en hijswerkzaamheden moest afzonderlijk in kaart worden gebracht. In het rekenvoorschrift zijn al voorwaarden opgenomen waarmee de faaloorzaak 'external impact' kan worden uitgesloten. Als de leidingen hier niet aan voldoen, dan moet het risico van voertuigbewegingen en hijswerkzaamheden specifiek beschouwd worden.

De te gebruiken diameter voor de flenslekkage is op het eerste gezicht onrealistisch groot. Uit het onderzoek naar transportleidingen binnen inrichtingen [84] is naar voren gekomen dat de meeste flenslekkages een equivalente diameter hebben van 10 mm of minder. Deze lekkages worden niet relevant geacht voor externe veiligheid en zijn niet meegenomen bij het bepalen van de uitstroomfrequentie voor (EV-relevante) flenslekkages. Deze uitstroomfrequentie is afgeleid van één ongeval waarbij de equivalente diameter groter was dan 25 mm. Zie [84].

Seperatoren
Binnen de mijnbouwindustrie worden verschillende typen separatoren gebruikt. Deze zijn omschreven in Tabel 67.

Tabel 67 Typen separatoren inclusief omschrijving

Type separator	Omschrijving
Vloeistofvanger	Type separator waarin vloeibare componenten in een productstroom (water en/of condensaat) worden verwijderd door ze neer te slaan in een vat. De scheiding vindt plaats door gebruik te maken van inertie en zwaartekracht. In sommige gevallen wordt de scheiding bevorderd door internals zoals roosters van schoepen en vinnen. Deze internals dienen enkel als mistvangers. In tegenstelling tot slokkenvangers is de vloeistof tamelijk gelijkmatig over de productstroom verdeeld. In tegenstelling tot gaswassers wordt de vloeistof niet geadsorbeerd of opgelost.
Slokkenvanger	Type separator waarin grote 'slokken' vloeistof uit een gasstroom verwijderd worden. De scheiding gebeurt op basis van inertie en zwaartekracht zonder verdere internals. Er wordt onderscheid gemaakt naar 'vessel type' en 'finger type' slokkenvangers.
Gaswasser (ook wel scrubber) inclusief adsorber	Type separator waarin componenten uit een productstroom verwijderd worden door de productstroom door een medium te leiden. Het medium kan gasvormig, vloeibaar of vast zijn en de te verwijderen componenten kunnen daarin oplossen of adsorberen of daarmee reageren. Ook deluge-systemen en adsorbers vallen onder de

[37] Data afkomstig van Europese hogedrukgastransportleidingen *buiten* de inrichtingen.

CONCEPT

	categorie gaswassers.
Filterseparator ('eindscrubber')	Type separator waarin een restverontreiniging uit een nagenoeg schone gasstroom wordt gehaald door het gas door een mechanisch obstakel (bv. filterdoek, metalen filter) te leiden.
Centrifugaalseparator ('eindscrubber')	Type separator waarin vloeibare en/of vaste componenten uit een gasstroom worden gehaald door de productstroom door een stationaire spiraal (cycloon) of elleboog te sturen waarbij de zwaardere deeltjes (vloeibaar of vast) naar buiten worden geslingerd en worden afgevangen.

De uitstroomscenario's en -frequenties zijn gebaseerd op analogon met installatieonderdelen procesvaten en opslagvaten bij Seveso-inrichtingen en hogedruk aardgasleidingen bij mijnbouwwerken. Voor vloeistofvangers, slokkenvangers en gaswassers konden bestaande (tekstuele) aanwijzingen in module 1 gebruikt worden. Voor filterseparatoren en centrifugaalseparatoren was niet op voorhand duidelijk welk analogon van toepassing was. Voor deze typen is daarom het "Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe Veiligheid" [87] gevolgd. In Tabel 68 zijn de resulterende analogons vermeld.

Tabel 68 Gebruikte analogons voor uitstroomscenario's en -frequenties

Type separator	**Subtype**	**Analogon**
Vloeistofvanger	Standaard	Opslagvat onder druk
	Met complexe internals	Procesvat
Slokkenvanger	Finger type (per vinger)	Opslagvat onder druk
	Vessel type	Opslagvat onder druk
Gaswasser	N.v.t.	Procesvat
Filterseparator	Standaard	Opslagvat onder druk
	Met intrinsiek veilig filter	Default: opslagvat onder druk
Centrifugaalseparator	N.v.t.	Hogedruk aardgasleiding

De keuzes worden verderop per onderdeel toegelicht.

De meeste separatoren bevatten zowel ontvlambare gassen als ontvlambare vloeistoffen. Het scenario 'uitstroming uit een gat met een effectieve diameter van 10 mm' kan in dat geval betrekking hebben op een lek vanuit de gasfase of een lek vanuit de vloeistoffase van de separator. Voor die situaties is gekozen voor de 'worst case' en dat is het vrijkomen van ongestabiliseerde vloeistof. Deze uitstroming wordt gemodelleerd met de voorbeeldstof n-butaan. In gaswassers zijn de ontvlambare vloeistoffen gebonden aan een (vast of vloeibaar) medium. Daarom wordt voor gaswassers een uitstroming van gas gezien als de 'worst case' situatie.

Vloeistofvervangers
Er worden twee soorten vloeistofvangers onderscheiden: standaard vloeistofvangers en vloeistofvangers met complexe internals.

– Voor standaard vloeistofvangers is het analogon met opslagvaten onder druk gekozen. De keuze is gebaseerd op onderstaande tekst uit module 1: "Vaten

CONCEPT

waarin alleen de hoeveelheid stof verandert, moeten beschouwd worden als opslag (onder druk). Een buffervat in een procesinstallatie kan gezien worden als een voorbeeld hiervan."
- Voor vloeistofvangers met complexe internals is het analogon met procesvaten gekozen. De keuze is gebaseerd op onderstaande tekst uit module 1: "In procesvaten vindt een verandering plaats van de fysische eigenschappen van de stoffen, bijvoorbeeld de temperatuur of fase. Hieronder vallen ook filters en vaten waarin stoffen gemengd worden."

In het rekenvoorschrift worden drie voorbeelden gegeven van complexe 'internals', namelijk 'vane packs', 'swirl decks' en schoepentoeters. Voor andere typen 'internals' moet de opsteller van de QRA motiveren standaard vloeistofvangers of vloeistofvangers met complexe 'internals' van toepassing is.

Slokkenvangers
Er worden twee soorten slokkenvangers onderscheiden: 'finger type' slokkenvangers en 'vessel type' slokkenvangers. Voor beide is het analogon met opslagvaten onder druk gekozen (zie Tabel 15). De keuze is gebaseerd op onderstaande tekst uit paragraaf 3.9: "Vaten waarin alleen de hoeveelheid stof verandert, moeten beschouwd worden als opslag (onder druk). Een buffervat in een procesinstallatie kan gezien worden als een voorbeeld hiervan." Voor 'finger type' slokkenvangers gelden de frequenties per vinger.

Gaswassers (inclusief adsorbers)
Voor gaswassers is het analogon met procesvaten. De keuze is gebaseerd op onderstaande tekst uit module 1: "In procesvaten vindt een verandering plaats van de fysische eigenschappen van de stoffen, bijvoorbeeld de temperatuur of fase. Hieronder vallen ook filters en vaten waarin stoffen gemengd worden."

Filterseparatoren en Centrifugaalseparatoren
Voor deze typen is het "Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe Veiligheid" [87] gebruikt om te bepalen of de uitstroomscenario's en -frequenties konden worden afgeleid op basis van een analogon. Daarbij zijn drie analogons bekeken: procesvaten bij Brzo-bedrijven, opslagvaten onder druk bij Brzo-bedrijven en hogedruk gastransportleidingen bij mijnbouwwerken.

Conform het Protocol is de geschiktheid van de mogelijke analogons getoetst aan de volgende criteria:
- functie
- uitvoering
- onderhoud en inspectie
- procescondities
- intensiteit en belasting
- faaloorzaken.

De geschiktheid van analogons is gewaardeerd met een driepuntsschaal (zie Tabel 69).

Tabel 69 Betekenis en getalsmatig gewicht van de waarderingen

CONCEPT

Waardering	Betekenis	Getalswaarde
-	Het betreffende type separator vertoont op dit onderdeel weinig of geen gelijkenis met het analogon.	-1
±	Het betreffende type separator vertoont op dit onderdeel beperkte gelijkenis met het analogon.	0
+	Het betreffende type separator vertoont op dit onderdeel aanzienlijke gelijkenis met het analogon.	+1

Voor het aspect faaloorzaken zijn de foutenbomen uit Bijlage 8 van de PGS 6 [91] gebruikt. Hierin wordt onderscheid gemaakt naar negen verschillende basis faaloorzaken (zie Tabel 70). Voor elk van deze oorzaken is nagegaan in hoeverre ze relevant zijn voor procesvaten, drukvaten en hogedruk aardgasleidingen. Vervolgens is gekeken in hoeverre deze faaloorzaken relevant zijn voor filter- en centrifugaalseparatoren en of deze separatoren dan het meest lijken op procesvaten, drukvaten of hogedruk aardgasleidingen.

Tabel 70 Faaloorzaken volgens PGS 6 en relevantie daarvan voor procesvaten, drukvaten en hogedruk aardgasleidingen

Faaloorzaak	Relevantie voor procesvat	Relevantie voor drukvat	Relevantie voor hogedruk aardgasleiding
Corrosie: – inwendig – uitwendig	Afhankelijk van product en omgeving.	Afhankelijk van product en omgeving.	Afhankelijk van product en omgeving.
Erosie	Eventueel relevant voor processen met vaste deeltjes en turbulentie.	Niet relevant	Niet relevant voor hoge druk aardgas-leidingen met weinig vaste deeltjes.
Externe belasting: – storm, sneeuw, … – overstroming – aardbeving	Afhankelijk van locatie/omgeving.	Afhankelijk van locatie/omgeving.	Afhankelijk van locatie/omgeving.
Externe impact: – botsing met voertuig – vallende voorwerpen	Relevant.	Relevant.	Relevant.
Fout operator: – overvullen – openen omhulling – sturen naar verkeerde	Zeer relevant: Veel operator gestuurde processen, veel monstername.	Beperkt relevant: Beperkte operator gestuurde flow, nauwelijks monstername.	Nauwelijks relevant: Weinig inmenging van operators, geen monstername.

CONCEPT

omhulling – monstername			
Overdruk / onderdruk: – koeling/verwarming (intern of extern) – chemische reacties – verstopte leidingen – kleppen open/dicht	Zeer relevant, e.g. koeling, verwarming, chemische reacties, frequent aanspreken kleppen.	Relevant: Frequent aanspreken kleppen.	Beperkt relevant: Beperkt aanspreken kleppen.
Hoge/lage temperatuur: – externe brand – exotherme reactie – koudkoken – winters weer – interne koeling/verwarming	Zeer relevante faaloorzaak vanwege mogelijkheden (reacties, inwendige koeling/verwarming) enz.	Vooral externe brand.	Vooral externe brand (gastransport zorgt voor koeling).
Trillingen: – wind – mechanisch (proces)	Afhankelijk van locatie/omgeving.	Afhankelijk van locatie/omgeving.	Afhankelijk van locatie/omgeving.
Foute onderdelen of fout bij installatie: – ontwerpfout – materiaalfout – constructiefout – fout bij ingebruikname – fout na onderhoud	Zeer relevant: veel onderhoud en mogelijk wijzigingen in het proces (management of change procedures). Ook materiaal-, constructie- en ontwerpfouten kunnen relevant zijn.	Relevant: drukvaten worden opengemaakt bij (routine)onderhoud, verder weinig procesaanpassingen. Ook materiaal-, constructie- en ontwerpfouten kunnen relevant zijn.	Beperkt relevant: hogedruk leidingen worden zelden opengemaakt. Materiaal-, constructie- en ontwerpfouten kunnen relevant zijn.

CONCEPT

Filterseparatoren

De uitkomst van de toetsing van de geschiktheid van analogons voor filterseparatoren is samengevat in Tabel 71. Voor het aspect faaloorzaken is onderscheid gemaakt naar ‘standaard’ separatoren en separatoren met een filter dat bij lage druk verschillen over het filter bezwijkt (‘intrinsiek veilig filter’).

Tabel 71 laat zien dat standaard filterseparatoren de grootste gelijkenis vertonen met drukvaten. Separatoren met een intrinsiek filter vertonen zowel

gelijkenissen met drukvaten als met hogedruk aardgasleidingen. De verschillen zijn te klein om een keuze tussen één van beide analogons te rechtvaardigen. Voorzichtigheidshalve worden voor deze separatoren standaard ook de scenario's en frequenties van drukvaten gebruikt. Alleen bij uitzondering worden de scenario's en frequenties van leidingen gebruikt. Er moet dan minimaal voldaan worden aan de volgende drie eisen:

- Het filter is intrinsiek veilig ontworpen: kleine drukverschillen over het filter (bijvoorbeeld door blokkade van het filter) leiden tot het passief falen van het filter. Het is uitgesloten dat een blokkade van het filter een druktoename in de separator zou kunnen veroorzaken die (zonder additionele actieve systemen) tot het catastrofaal falen van de separator zou kunnen leiden.
- Er zijn maatregelen genomen en geborgd om een LoC bij ingebruikname (ook na onderhoud) te voorkomen.
- Het bevoegd gezag gaat akkoord met het gebruik van de (lagere) uitstroomfrequenties.

Tabel 71 Filterseparatoren: geschiktheid van analogons

Afwegingscriterium	**Gelijkenis met procesvat**	**Gelijkenis met drukvat**	**Gelijkenis met hogedruk aardgasleiding**
Functie	-	-	-
Uitvoering	+	+	± (*)
Onderhoud en inspectie	+	+	- (**)
Procescondities	-	+	+
Intensiteit van gebruik en belasting	-	±	+
Faaloorzaken	standaard: - intr. veilig: -	standaard: + intr. veilig: ±	standaard: + intr. veilig: +
Totale score standaard filter	-2	+3	**+1** */**
Totale score intrinsiek veilig filter	-2	+2	**+1** */**

(*) Tijdens regulier procesgebruiken kunnen appendages gaan zweten, maar grote lekkages worden niet verwacht.

(**) Bij het opnieuw opstarten van een installatie na onderhoud kan een groot lek ontstaan, bijvoorbeeld door een montagefout. Dit faalmechanisme kan weggenomen worden door strenge procedures voor ingebruikname van installaties en zorgvuldige naleving daarvan. In dat geval is een positievere waardering gerechtvaardigd.

Toelichting op de keuzes van Tabel 71:

- **Functie**. De functie van filterseparatoren is het scheiden van componenten in productstromen. Deze functie wijkt af van de functie van alle drie de analogons (proces- en drukvaten) en ook van de functie van leidingen. Het aspect functie is dus niet onderscheidend.
- **Uitvoering**. Qua wanddikte, staalsoort, enz. is geen onderscheid te maken tussen procesvaten, opslagvaten en leidingen. Voor installaties onder hoge druk zijn de eisen uit de richtlijn drukapparatuur vergelijkbaar met die van de NEN 3650. In vergelijking met leidingen hebben filterseparatoren meer appendages.

CONCEPT

- **Onderhoud en inspectie**. Proces- en drukvaten worden periodiek opengemaakt voor onderhoud en inspectie. Leidingen worden extern geïnspecteerd en gepigd. De inspectietermijnen zijn ‘risk based’. Een filterseparator wordt ook periodiek opengemaakt. Daarom lijkt een analogie met proces- en drukvaten meer geschikt dan de analogie met leidingen.
- **Procescondities.** Qua procescondities (druk, temperatuur, enz.) zijn filterseparatoren robuuster dan procesvaten omdat er geen variatie optreedt in fysisch/chemische omstandigheden. Tussen drukvat en leiding is geen onderscheid te maken.
- **Intensiteit en belasting**. De intensiteit en belasting is bij de filterseparatoren constant en continu. Daarin lijkt de belasting het meest op die van een leiding. In een procesvat kan de intensiteit sterk variëren. Deze analogie scoort dus negatief.
- **Faaloorzaken**. Voor faaloorzaken is een gedetailleerde analyse gedaan met gebruikmaking van de foutenbomen uit de PGS-6 (Bijlage 8) [91], zie Tabel 70. De analyse wordt hieronder besproken. De uitkomsten van de analyse staan in Tabel 72.

Als volgende stap is nagegaan welke faaloorzaken relevant zijn voor filterseparatoren en of de mate van relevantie het meest lijkt op een procesvat, een drukvat of een hogedruk aardgasleiding. Voor filterseparatoren was het nodig om onderscheid te maken naar twee typen: een type waarbij het filter al bij kleine drukverschillen over het doek passief faalt (‘intrinsiek veilig filter’) en overige typen (‘standaard’). Als het filter tijdig faalt, dan zal verstopping van het filter niet leiden tot een grote druktoename.

- **Corrosie**. Inwendige corrosie hangt af van het medium en niet van het type installatieonderdeel. Uitwendige corrosie hangt af van de omgeving. Tussen de analogons onderling (procesvaten, opslagvaten en hogedruk leidingen) is deze faaloorzaak niet onderscheidend.
- **Erosie**. Inwendige erosie is geen relevante faaloorzaak voor hogedruk aardgasleidingen en in het algemeen ook niet voor drukvaten. Filterseparatoren behandelen grotendeels schone productstromen waarbij de internals eerder aangetast raken dan de omhulling. Ook dit aspect wordt als niet onderscheidend beoordeeld. Uitwendige erosie is geen onderscheidend criterium.
- **Externe belasting**. De invloed van externe belasting is voor alle drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze tussen analogons niet onderscheidend.
- **Externe impact.** De invloed van externe impact is voor alle bovengrondse drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze van de analogons dus niet onderscheidend.
- **Fout operator**. Operatorfout is een bekende faaloorzaak voor procesvaten en in mindere mate ook voor drukvaten. De productstromen op mijnbouwwerken worden slechts beperkt aangestuurd door operators. Het analogon leiding is het meest geschikt, gevolgd door het analogon drukvat. NB Het gaat hier om fouten in het reguliere proces. Fouten tijdens of na onderhoud worden geadresseerd onder ‘overige oorzaken’.
- **Overdruk/onderdruk**. Overdruk/onderdruk is een bekende faaloorzaak voor procesvaten en in mindere mate ook voor drukvaten. Voor filterseparatoren kan een (gedeeltelijk) verstopt filter in principe leiden tot een ongewenste druktoename in de installatie. In dat geval wordt de faaloorzaak overdruk relevant geacht en het analogon drukvat het meest

CONCEPT

passend. Filterseparatoren kunnen ook een ‘intrinsiek veilig’ filter bevatten dat al bij kleine overdruk passief faalt. In dat geval zal verstopping van het filter niet leiden tot een grote druktoename en is het analogon leiding het meest passend.

- **Hoge/lage temperatuur**. Hoge/lage temperatuur is een bekende faaloorzaak voor procesvaten. voor drukvaten en leidingen is eigenlijk alleen externe brand een mechanisme dat kan leiden tot een temperatuur die buiten de specificaties komt. Daarbij zijn leidingen beter bestand tegen de warmtetoevoer omdat de gasstroom een deel van de warmte onttrekt aan de leiding. In filterseparatoren is ook sprake van een gasstroom en daarom is het analogon leiding het meest geschikt, gevolgd door drukvat.
- **Trillingen**. De invloed van trillingen uit de omgeving is voor alle drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze tussen analogons niet onderscheidend.
- **Foute onderdelen of installatie**. Hiervoor is het vooral relevant hoe vaak een ontwerp gewijzigd wordt en hoe vaak een installatie bij onderhoudswerkzaamheden geopend wordt. De faaloorzaak is zeer relevant voor procesvaten, gewoon relevant voor opslagvaten en beperkt relevant voor hogedruk aardgasleidingen. Filterseparatoren worden periodiek opengemaakt voor inspectie, en daarom lijkt het analogon met drukvaten het meest passend.

Voor het aspect faaloorzaken wordt voor standaard filterseparatoren ingeschat dat de analogie met drukvaten het sterkst is, maar dat een analogie met een hogedruk aardgasleiding ook (goed) te overwegen is. Voor separatoren met een intrinsiek veilig filter is juist de analogie met leidingen het sterkst en komt de analogie met drukvaten op de tweede plaats. Dit is verwerkt in Tabel 71.

Tabel 72 Geschiktheid van analogons voor filterseparatoren mb.t. het aspect faaloorzaken

Faaloorzaak	**Gelijkenis met procesvat**	**Gelijkenis met drukvat**	**Gelijkenis met hogedruk aardgasleiding**
Corrosie	+	+	+
Erosie	±	+	+
Externe belasting	+	+	+
Externe impact	+	+	+
Fout operator	-	±	+
Overdruk / onderdruk	Standaard: ± Intr. veilig: -	Standaard: + Intr. veilig: -	Standaard: - Intr. veilig: +
Hoge/lage temperatuur	-	±	+
Trillingen	+	+	+
Foute onderdelen/fout bij installatie	±	+	±
Totale score standaard filter:	Getal: +2 Waardering: -	Getal: +7 Waardering: +	Getal: +6 Waardering: +
Totale score intrinsiek veilig filter:	Getal: +1 Waardering: -	Getal: +5 Waardering: ±	Getal: +8 Waardering: +

CONCEPT

Centrifugaalseparatoren
De uitkomst van de toetsing van de geschiktheid van analogons voor centrifugaalseparatoren is samengevat in Tabel 73. Uit Tabel 73 blijkt dat het analogon hogedruk aardgasleiding voor dit type separatoren het meest geschikt is.

Tabel 73 Centrifugaalseparatoren: geschiktheid van analogons

Afwegingscriterium	**Gelijkenis met procesvat**	**Gelijkenis met drukvat**	**Gelijkenis met hogedruk aardgasleiding**
Functie	-	-	-
Uitvoering	+	+	±
Onderhoud en inspectie	-	-	+
Procescondities	-	+	+
Intensiteit van gebruik en belasting	-	±	+
Faaloorzaken	-	±	+
Totale score:	-4	0	+3

Toelichting op de keuzes van Tabel 73:

- **Functie**. De functie van centrifugaalseparatoren is het scheiden van componenten in productstromen. Deze functie wijkt af van de functie van alle drie de analogons (proces- en drukvaten) en ook van de functie van leidingen. Het aspect functie is dus niet onderscheidend.
- **Uitvoering**. Qua wanddikte, staalsoort, enz. is geen onderscheid te maken tussen procesvaten, opslagvaten en leidingen. Voor installaties onder hoge druk zijn de eisen uit de richtlijn drukapparatuur vergelijkbaar met die van de NEN 3650. In vergelijking met leidingen hebben centrifugaalseparatoren meer appendages.
- **Onderhoud en inspectie**. Proces- en drukvaten worden periodiek opengemaakt voor onderhoud en inspectie. Leidingen worden extern geïnspecteerd en gepigd. De inspectietermijnen zijn ‘risk based’. Centrifugaalseparatoren zonder filter worden niet opengemaakt voor onderhoud. Voor deze separatoren is het analogon leiding het meest geschikt.
- **Procescondities.** Qua procescondities (druk, temperatuur, enz.) zijn centrifugaalseparatoren robuuster dan procesvaten omdat er geen variatie optreedt in fysisch/chemische omstandigheden. Tussen drukvat en leiding is geen onderscheid te maken.
- **Intensiteit en belasting**. De intensiteit en belasting is bij de centrifugaalseparatoren constant en continu. Daarin lijkt de belasting het meest op die van een leiding. In een procesvat kan de intensiteit sterk variëren. Deze analogie scoort dus negatief.
- **Faaloorzaken**. Voor faaloorzaken is een gedetailleerde analyse gedaan met gebruikmaking van de foutenbomen uit de PGS 6 (Bijlage 8) [91], zie Tabel 70. De analyse wordt hieronder besproken. De uitkomsten van de analyse staan in Tabel 74.

CONCEPT

Als volgende stap is nagegaan welke faaloorzaken relevant zijn voor centrifugaalseparatoren en of de mate van relevantie het meest lijkt op een procesvat, een drukvat of een hogedruk aardgasleiding.

- **Corrosie**. Inwendige corrosie hangt af van het medium en niet van het type installatieonderdeel. Uitwendige corrosie hangt af van de omgeving. Tussen de analogons onderling (procesvaten, opslagvaten en hogedruk leidingen) is deze faaloorzaak niet onderscheidend.
- **Erosie**. Inwendige erosie is geen relevante faaloorzaak voor hogedruk aardgasleidingen en in het algemeen ook niet voor drukvaten. Centrifugaalseparatoren behandelen grotendeels schone productstromen waarbij de internals eerder aangetast raken dan de omhulling. Ook dit aspect wordt als niet onderscheidend beoordeeld. Uitwendige erosie is geen onderscheidend criterium.
- **Externe belasting**. De invloed van externe belasting is voor alle drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze tussen analogons niet onderscheidend.
- **Externe impact.** De invloed van externe impact is voor alle bovengrondse drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze van de analogons dus niet onderscheidend.
- **Fout operator**. Operatorfout is een bekende faaloorzaak voor procesvaten en in mindere mate ook voor drukvaten. De productstromen op mijnbouwwerken worden slechts beperkt aangestuurd door operators. Het analogon leiding is het meest geschikt, gevolgd door het analogon drukvat. NB Het gaat hier om fouten in het reguliere proces. Fouten tijdens of na onderhoud worden geadresseerd onder ‘overige oorzaken’.
- **Overdruk/onderdruk**. Overdruk/onderdruk is een bekende faaloorzaak voor procesvaten en in mindere mate ook voor drukvaten. In centrifugaalseparatoren zal de hoofdstroom niet snel geblokkeerd raken en is het analogon leiding het meest geschikt.
- **Hoge/lage temperatuur**. Hoge/lage temperatuur is een bekende faaloorzaak voor procesvaten. voor drukvaten en leidingen is eigenlijk alleen externe brand een mechanisme dat kan leiden tot een temperatuur die buiten de specificaties komt. Daarbij zijn leidingen beter bestand tegen de warmtetoevoer omdat de gasstroom een deel van de warmte onttrekt aan de leiding. In centrifugaalseparatoren is ook sprake van een gasstroom en daarom is het analogon leiding het meest geschikt, gevolgd door drukvat.
- **Trillingen**. De invloed van trillingen uit de omgeving is voor alle drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze tussen analogons niet onderscheidend.
- **Foute onderdelen of installatie**. Hiervoor is het vooral relevant hoe vaak een ontwerp gewijzigd wordt en hoe vaak een installatie bij onderhoudswerkzaamheden geopend wordt. De faaloorzaak is zeer relevant voor procesvaten, gewoon relevant voor opslagvaten en beperkt relevant voor hogedruk aardgasleidingen. Centrifugaalseparatoren worden niet opengemaakt en lijken daardoor meer op leidingen.

Tabel 74 Geschiktheid van analogons voor centrifugaalseparatoren mb.t. het aspect faaloorzaken

Faaloorzaak	**Geljikenis met procesvat**	**Gelijkenis met drukvat**	**Gelijkenis met hogedruk aardgasleiding**

CONCEPT

Corrosie	+	+	+
Erosie	±	+	+
Externe belasting	+	+	+
Externe impact	+	+	+
Fout operator	-	±	+
Overdruk / onderdruk	-	±	+
Hoge/lage temperatuur	-	±	+
Trillingen	+	+	+
Foute onderdelen/fout bij installatie	-	-	+
Totale score:	getal: 0 waardering: -	getal: +4 waardering: ±	getal: +9 waardering: +

Voor centrifugaalseparatoren is de analogie met hogedruk leidingen dus met meest overtuigend voor het aspect faaloorzaken. Dit is verwerkt in Tabel 73.

Pompen en compressoren
Voor hogedruk pompen en compressoren is uitgebreid onderzoek gedaan naar de uitstroomscenario's en bijbehorende frequenties. De bevindingen van het onderzoek zijn gerapporteerd in [92].

Voor verdringerpompen en centrifugaalpompen werden in het onderzoek geen lekken of breuken gevonden. Met de gehanteerde statistische aanpak is de kans op een breuk dan gelijk aan de totale kans op een uitstroming (breuk of lek), en hoeft het scenario lek niet te worden meegenomen.

Warmtewisselaars
Er is geen specifieke afleiding gedaan van faalmodi en uitstroomfrequenties van koelerbanken. De relevantie van dit installatieonderdeel werd beperkt geacht. Het effectgebied dat samenhangt met het falen van dergelijke warmtewisselaars zal in de meeste gevallen klein zal zijn.

In het rekenvoorschrift zijn scenario's opgenomen van andere typen warmtewisselaars. Wat betreft het ontwerp en de uitvoering verschillen de koelerbanken aanzienlijk van de pijpwarmtewisselaarn.

Het instantaan falen van een koelerbank en een grootschalige continue uitstroming worden niet waarschijnlijk geacht. Meer waarschijnlijk is het dat één of enkele pijpleidingen lekken of breken. Dit is in overeenstemming met de scenario's voor pijpwarmtewisselaars. De kans op breuk van tien pijpen tegelijkertijd is volgens de tabel met scenario's voor pijpwarmtewisselaars waarbij de gevaarlijke stof zich binnen de pijpleidingen bevindt een factor tien hoger dan volgens de tabel met scenario's voor pijpwarmtewisselaars waarbij de gevaarlijke stof zich buiten de pijpleidingen bevindt. Voor de koelerbanken is voorzichtigheidshalve aangesloten bij de uitstroomscenario's en -frequenties uit de tabel met de tabel met scenario's voor pijpwarmtewisselaars waarbij de gevaarlijke stof zich binnen de pijpleidingen bevindt. Het scenario 'lek met een

CONCEPT

effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van een pijp' wordt niet relevant geacht voor de ligging van de PR 10^{-6} contour en het groepsrisico en is daarom weggelaten in de tabel met uitstroomscenario's en –frequenties voor een koelerbank.

De resulterende uitstroomscenario's en –zijn vergeleken met de faalkansen uit het Handboek Uitstroomfrequenties 2009 van de Vlaamse overheid [93]. De Vlaamse overheid hanteert voor pijpwarmtewisselaars een kans van $6{,}0 \times 10^{-3}$ per jaar op een klein lek (lekgrootte kleiner dan 25 mm), een kans van $3{,}9 \times 10^{-3}$ per jaar op een middelgroot lek (lekgrootte tussen 25 en 50 mm), een kans van $1{,}6 \times 10^{-5}$ per jaar op een groot lek (lekgrootte tussen 50 en 150 mm) en een kans van $1{,}3 \times 10^{-5}$ per jaar op een breuk van een (enkele) pijpleiding. In vergelijking met deze data, zijn de faalkansen voor een koelerbank conservatief.

Effectmodellering
Uitstroomrichting
Voor Brzo-inrichtingen is de uitstroomrichting voor alle ondergrondse leidingen verticaal en voor verdiept aangelegde leidingen is de uitstroomrichting niet beschreven. In het algemeen zijn bij Brzo-inrichtingen nauwelijks ondergrondse leidingen aanwezig. Bij mijnbouwwerken zijn ondergrondse leidingen niet ongebruikelijk en daarom is aandacht besteed aan de vraag wanneer er wel/niet een verticale uitstromingsrichting gebruikt mag worden. De uitstromingsrichting is immers van grote invloed op de berekende risico's.
Voor de diepteligging is aangesloten bij de rekenmethode voor transportleidingen [94]. De minimale diepte (40 cm) betreft de bovengrens voor de validatie van de raakkans bij graafwerkzaamheden.

Afwijkende effectmodellering
De verantwoording wordt hieronder per deelparagraaf besproken.

Maatwerk voor snelsluitende kleppen
Het aantal installaties met snelsluitende kleppen was ten tijde van het uitbrengen van deze rekenmethode beperkt. Daarom is besloten om niet te onderzoeken hoe de invloed van deze kleppen op generieke wijze berekend kan worden. In plaats daarvan is maatwerk voorgeschreven.

Vervolgeffecten
In paragraaf 1.1.6 zijn gebeurtenissenbomen opgenomen voor het vrijkomen van ontvlambare gassen, tot vloeistof verdichte gassen en vloeistoffen. Deze gebeurtenissenbomen zijn ooit ontwikkeld voor 'standaard' chemische bedrijven (Brzo-inrichtingen). In 2012 is onderzocht of deze gebeurtenissenbomen ook geschikt zijn voor mijnbouwbedrijven. Hierbij speelden de volgende afwegingen een rol:

– Voor mijnbouwwerken is specifiek gevraagd hoe de invloed van snelsluitende kleppen in de QRA verwerkt moet worden. Bij de beantwoording van deze vraag bleek dat de invloed van snelsluitende kleppen niet realistisch kon worden meegenomen zonder de effect-modellering te herzien.

CONCEPT

- Bij mijnbouwwerken kan een deel van de leidingen ondergronds liggen. Hoewel het niet expliciet vermeld wordt, zijn de gebeurtenissenbomen vooral opgesteld voor bovengrondse scenario's met een horizontale uitstroomrichting.
- Bij mijnbouwwerken bevatten veel installaties gas onder hoge druk. In geval van een groot lek zal de druk in het systeem snel afnemen en het uitstroomdebiet dus ook. Voor Brzo-inrichtingen is de afname van het uitstroomdebiet met de tijd meestal minder groot.
- In de afgelopen jaren is de effect- en risicomodellering voor (aardgas)transportleidingen uitvoerig onderzocht. Met de actualisatie van de gebeurtenissenbomen voor inrichtingen wordt de coherentie met de methodiek voor transportleidingen vergroot.

Bij de actualisatie van de gebeurtenissenbomen is gebruik gemaakt van bestaande modellen in SAFETI-NL. Voor het gebruik van nieuwe modellen zijn transparantie en verifieerbaarheid belangrijke afwegingscriteria. Als gevolg daarvan zijn er geen nieuwe (effect)modellen geïntroduceerd.

De nieuwe gebeurtenissenboom is opgesteld voor hogedruk systemen. Als criterium wordt een minimale operationele druk van 16 bar (overdruk) gebruikt. Dit criterium wordt ook gebruikt om hogedruk aardgasleidingen ([84]) en hogedruk compressoren (92) te onderscheiden van gewone leidingen en compressoren. Het is niet onderzocht of de gebeurtenissenboom ook geschikt is voor systemen die bij een lagere druk bedreven worden.

Een gevolg van het voorstel is dat ontsteking niet altijd plaatsvindt bij maximale wolkomvang. Daarmee wordt het beginsel van vrije-veldontsteking, dat voor Brzo-bedrijven is voorgeschreven, deels verlaten.

Kans op ontsteking
De kans op directe ontsteking is gebaseerd op Tabel 1. Voor aardgas zijn de ontstekingskansen van laag-reactieve gassen gebruikt en voor mengsel de ontstekingskansen van hoog-reactieve gassen.

Als de LFL contour deels buiten de inrichting ligt, dan is er altijd vertraagde ontsteking. Als de LFL contour niet buiten de inrichting komt, dan is er alleen vertraagde ontsteking als er ontstekingsbronnen gemodelleerd zijn binnen de wolk.

Voor verticale releases is de omvang van de ontvlambare wolk op 1 m hoogte zeer beperkt. Dit leidt ertoe dat er geen vertraagde ontsteking wordt meegenomen in de berekening. Naar de mening van RIVM leidt dit tot een onderschatting van de risico's. Uit de rekenmethode voor gastransportleidingen en het achterliggende onderzoek, blijkt dat grote lekkages in transportleidingen ook na enkele minuten nog spontaan kunnen ontsteken. Het interessante aan deze dataset is dat het scenario's betreft met een verticale uitstroomrichting. Een rapport van het Energy Institute [95] richt zich niet specifiek op verticale releases, maar laat wel zien dat het inachtnemen van een kans op vertraagde ontsteking gemeengoed is.

CONCEPT

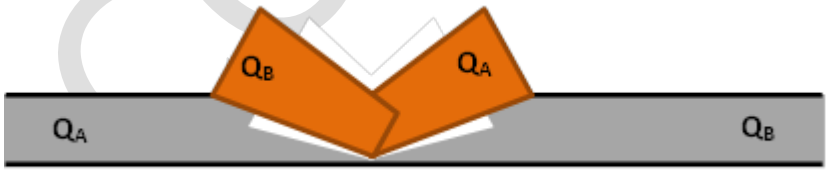
Het ministerie van IenM en het SodM hebben besloten om de (nieuwe) inzichten ten aanzien van de kans op vertraagde ontsteking voor verticale releases in de huidige versie van de rekenmethode niet mee te nemen. Ze zijn voornemens om binnen vijf jaar te bezien of de nieuwe inzichten alsnog in de rekenmethode kunnen worden opgenomen.

Aantal jets
Het aantal jets en de uitgangspunten voor het berekenen van toelevering zijn samengevat in Tabel 75.

Tabel 75 Samenvatting modellering jets

Scenario	**Modellering**	**Aanpak**
Falen bovengrondse installatie of breuk bovengrondse leiding	Twee onafhankelijke jets	"2×1"
Falen ondergrondse installatie of breuk ondergrondse leiding	Eén jet met twee onafhankelijke bijdragen	"1×2"
Blowout van de put tijdens productie of injectie	Eén jet met twee afhankelijke bijdragen	"1×1½"
Blowout van de put tijdens onderhoudswerkzaamheden	Eén jet met één bijdrage	"1×1"

Bij het falen van een bovengrondse installatie of breuk van een bovengrondse leidingen ontstaan twee jets. De ene jet wordt gevoed vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting en de andere vanuit het stroomafwaartse deel (zie Figuur 26). Verder wordt aangenomen dat de twee jets geen interactie hebben. Dit is voor ontvlambare stoffen een conservatieve aanname. Beide jets worden als afzonderlijk (onafhankelijk) scenario ingevoerd: "2×1". Voor beide jets is de uitstroomfrequentie gelijk aan de uitstroomfrequentie. Ook worden beide jets in SAFETI-NL via de windroos over alle mogelijke windrichtingen gedraaid. Deze aanpak geeft een overschatting van het risico dichtbij de bron.

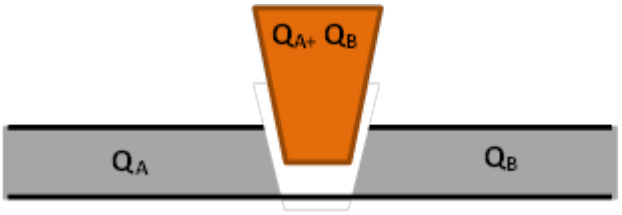


Figuur 26 Aantal jets en bijdragen vanuit stroomopwaartse en stroomafwaartse leidingdelen voor breuk van een bovengrondse leiding

Bij het falen van een ondergrondse (of verdiept aangelegde) installatie of breuk van een ondergrondse leiding ontstaat een een krater waarbij de jets vanuit de stroomopwaartse en stroomafwaartse leidingdelen elkaar zullen beïnvloeden. Deze twee bijdragen worden opgeteld en gemodelleerd als verticale release (zie

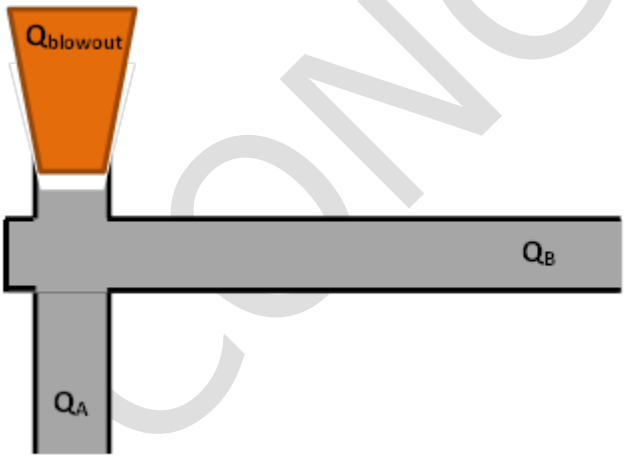
CONCEPT

Figuur 27). In SAFETI-NL worden de twee bijdragen (Q_A en Q_B) los van elkaar berekend als ware het twee aparte gaten, en daarna opgeteld: “1×2”.



Figuur 27 Aantal jets en bijdragen vanuit stroomopwaartse en stroomafwaartse leidingdelen voor breuk van een ondergrondse leiding

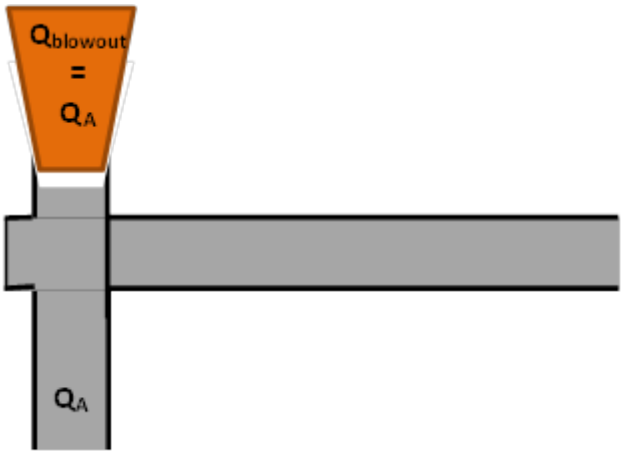
Voor een blowout vanuit een put (putmond) tijdens productie of injectie geldt een afwijkende modellering. In dit geval is er een verticale release met toestroming van twee zijden (‘putzijde’ en ‘landzijde’). De uitstroming vindt plaats vanuit een (één) gat ter grootte van de tubing van de put en met toestroming vanuit de put en vanaf de inrichting. De toestroming van beide zijden beïnvloedt elkaar en wordt op basis van maatwerk bepaald. Als Q_A de verwachte onafhankelijke uitstroming is vanaf de putzijde (alsof de ‘wing valve’ gesloten is) en Q_B de onafhankelijke uitstroming vanaf landzijde (alsof de ‘master gate valves’ gesloten zijn), dan geldt: $Q_{blowout} < Q_A + Q_B$ (vandaar “1×1,5”). Hierin verschilt de modellering van de uitstroming vanuit een ondergrondse leiding waarvoor geldt: $Q_{release} = Q_A + Q_B$ (oftewel “1×2”).



Figuur 28 Modellering van de blowout vanuit een put tijdens productie of injectie

Tijdens werkzaamheden aan de put is de ‘wing valve’ gesloten. Een blowout tijdens werkzaamheden aan de put wordt daarom alleen gevoed vanuit de put: $Q_{blowout} = Q_A$ (vandaar “1×1”), zie Figuur 29.

CONCEPT



Figuur 29 Modellering van de blowout vanuit een put tijdens onderhoudswerkzaamheden

Invloed van inbloksystemen
Inbloksystemen zorgen voor een reductie van het uitstroomdebiet vanaf het moment dat ze in werking treden. Er is uitgebreid gediscussieerd hoe het effect van inbloksystemen in de QRA kon worden opgenomen. De uiteindelijke oplossing is om de release in twee segmenten op te splitsen, waarbij het eerste segment wordt gekoppeld aan directe ontsteking en het tweede segment aan vertraagde ontsteking.

Voor het eerste segment wordt een tijdmiddeling over de eerste 20 s gebruikt. De vervolgeffecten hangen samen met de uitstroomduur. Aangenomen wordt dat een stabiele fakkel kan ontstaan als de uitstroomduur groter of gelijk is aan 20 s. Voor kortere uitstroming is maatwerk nodig, waarvoor het initiatief bij de opsteller van de QRA ligt. Het criterium van 20 s is gebaseerd op de volgende afwegingen:

- Bij aanvang van een uitstroming ontstaat niet direct een stabiele jet. De ontwikkelingstijd voor een stabiele jet hangt af van de diameter van het lek. Voor grote diameters kan de ontwikkelingstijd volgens inschatting van RIVM oplopen tot circa 10 tot 20 s.
- Voor de berekening van effecten wordt het fakkelbrandmodel gebruikt. In dit model wordt uitgegaan van een blootstellingstijd van 20 s.
- Het criterium sluit aan bij module 1 en ook bij de rekenmethode voor gastransportleidingen buiten de inrichting ([94]).

Voor vertraagde ontsteking worden de navolgende twee minuten gebruikt, dus 20-140 s. Deze keuze is ingegeven door de rekenmethode voor gastransport-leidingen. Voor deze leidingen wordt het tijdsegment 120-140 s gebruikt voor vertraagde ontsteking. Echter, in de methodiek voor transportleidingen wordt voor vertraagde ontsteking, ten opzichte van directe ontsteking, een lage ontstekingskans toebedeeld en dat is in paragraaf 3.3.7 niet het geval. Daarom is besloten om het interval voor vertraagde ontsteking voor mijnbouwwerken te

CONCEPT

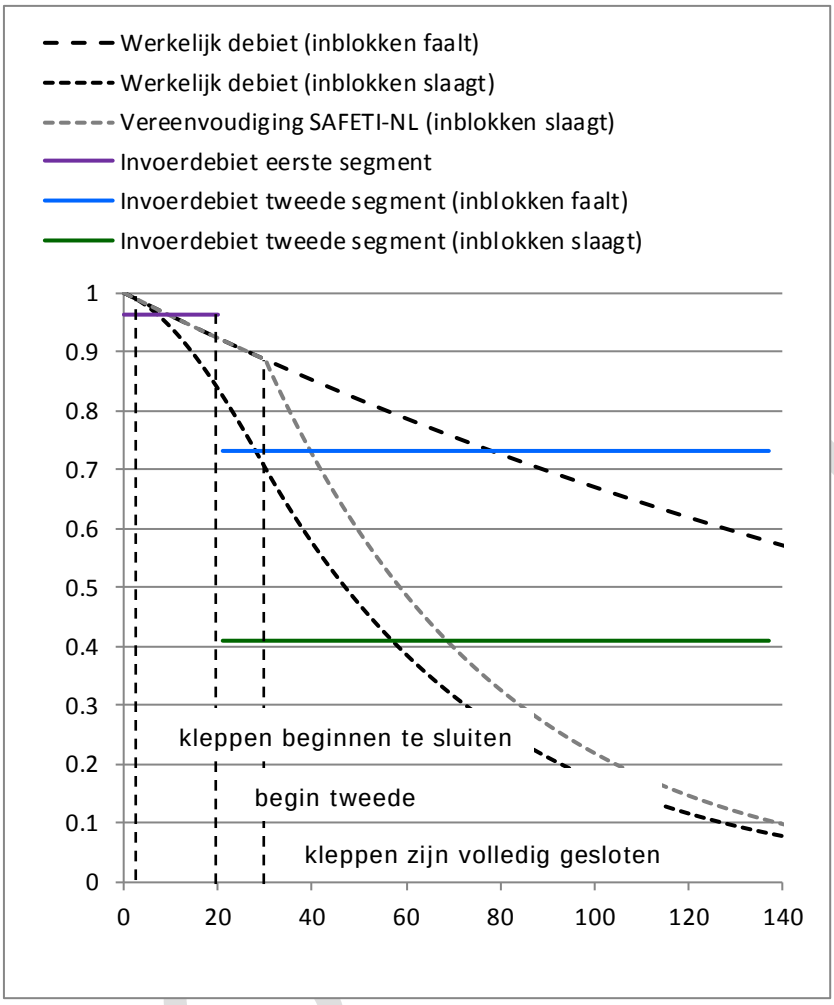
vergroten van 120-140 s naar 20-140 s. Bijkomend voordeel is dat de twee segmenten direct op elkaar aansluiten.

De aanpak maakt het mogelijk om het effect van inbloksystemen mee te nemen in de risicoberekening. Voor reguliere systemen (zonder snelsluitende kleppen) is het effect gedurende de eerste 20 s van de release, vanwege de reactietijd van het systeem en de sluittijd van de kleppen nog beperkt. Daarom wordt de invloed van inbloksystemen niet meegenomen voor het eerste releasesegment. Bijkomend voordeel is dat de berekening eenvoudiger wordt en dus beter reproduceerbaar. Voor het tweede releasesegment is de werking van het inbloksysteem wel significant en wordt daarom ook meegenomen (indien van toepassing).

In Figuur 30 is een voorbeeld gegeven van de werkelijke invloed van het inbloksysteem en van de manier waarop het in de modellering wordt meegenomen.

- De zwarte doorgetrokken lijnen geven het werkelijke (verwachte) debiet aan voor de situatie dat het inblokken slaagt (onderste lijn) of faalt (bovenste lijn). Als het inblokken slaagt dan beginnen de kleppen al na 2 s te sluiten. Daarna duurt het voor de 28 inch leiding naar schatting nog 28 s voordat de kleppen volledig gesloten zijn.
- De grijze gestippelde lijn geeft het debiet weer zoals het door SAFETI-NL berekend wordt voor de situatie dat het inblokken slaagt. Daar waar het sluiten van kleppen in werkelijkheid enige tijd in beslag neemt, wordt het in SAFETI-NL gemodelleerd als een instantane gebeurtenis. Deze gebeurtenis vindt plaats na 30 s.
- De drie horizontale doorgetrokken lijnen geven de debieten weer die worden gebruikt voor de effectmodellering. De paarse lijn is het gemiddelde uitstroomdebiet over de eerste 20 s. De eventuele werking van het inbloksysteem speelt voor dit tijdsegment nog geen rol. De blauwe lijn geeft het debiet weer voor de periode 20-140 s en het deelscenario dat het inblokken faalt, terwijl de groene lijn het debiet weergeeft voor de periode 20-140 s en het deelscenario dat het inblokken slaagt.

CONCEPT



Figuur 30 Voorbeeld van de doorwerking van (reguliere) kleppen in een 28" leiding

Blowout en lekkage van de put

De uitgangspunten zijn opgesteld in overleg met de experts vanuit de branche. Daarbij is rekening gehouden met de mogelijkheden en beperkingen van SAFETI-NL. In het bijzonder betreft de invoer voor het Long Pipeline model in SAFETI-NL, waaronder de druk aan het begin (!) van de leiding en de 'pumped inflow', de stationaire situatie in de leiding voorafgaand aan de release. Daarna wordt de uitstroming vanuit de putmond dynamisch berekend op basis van de begincondities bij de putmond, die afhangen van de druk aan het begin van de leiding en de doorstroming ('pumped inflow'), en de gatgrooote. Het model gaat er vanuit dat de 'pumped inflow' tijdens de release gelijk blijft. In werkelijkheid kan de toevoer van vanuit het reservoir naar de leiding (c.q. put) toenemen als de druk in de leiding afneemt.

Voor de blowout tijdens productie wordt uitgegaan van de 'flowing bottom hole pressure' onderin de put en is de toevoer vanuit het reservoir gelijk aan het

productiedebiet. Tevens wordt terugstroming vanaf de inrichting meegenomen. Samen geeft dit naar verwachting voldoende realistische uitkomsten voor de totale uitstroming vanuit de putmond.
Voor de blowout tijdens onderhoudswerkzaamheden wordt uitgegaan van de 'closed-in tubing head pressure' voorafgaand aan de release en wordt de toevoer vanuit het reservoir niet meegenomen als 'pumped inflow'. Met die uitgangspunten zal het uitstroomdebiet na verloop van tijd convergeren naar nul. In werkelijkheid is er wel toevoer vanuit het reservoir en zal het debiet convergeren naar de 'tubing blowout potential' (TBOP) als er sprake is van een tubing blowout, en naar de 'casing blowout potential' (CBOP) als er sprake is van een casing blowout. Om onderschatting van de effecten te voorkomen, is de extra randvoorwaarde opgenomen dat het gemodelleerde debiet niet kleiner mag zijn dan de TBOP (tubing blowout) of de CBOP (casing blowout).

Invoer van scenario's in SAFETI-NL
De invoer van scenario's wordt alleen besproken voor het instantaan falen van een installatie-onderdeel of breuk van een leiding en daarmee samenhangend de vereenvoudigde. Voor de overige uitstroomscenario's is de invoer in SAFETI-NL niet bijzonder.

Leidingbreuk en instantaan falen
Volgens de aanpak van Module 1 moet per scenario (i) de inhoud van het systeem, (ii) de nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting en (iii) de nalevering vanuit het stroomafwaartse deel van de inrichting worden bepaald. Voor mijnbouwwerken moet op basis de over afwijkende effectmodellering gekeken worden naar 'directe ontsteking' en 'vertraagde ontsteking'. Dit betekent dat voor twee tijdstippen drie bijdragen berekend moeten worden en vervolgens moet worden nagegaan hoe het geheel op een geschikte manier in SAFETI-NL kan worden ingevoerd. De verwachting was dat er zonder verdere 'guidance' geen eenduidige en verifieerbare resultaten zouden ontstaan. De vereenvoudigde invoermethode moet deze leemte invullen.

De vereenvoudigde invoermethode is relatief eenvoudig, zowel in beschrijving als in uitvoering. Het Long Pipeline model is geschikt voor zowel eenzijdige als tweezijdige uitstromingen. Hierdoor wordt de berekening van de nalevering (die afhankelijk is van de werking van kleppen) een stuk eenvoudiger en overzichtelijker. Met het voorstel wordt het uitstroomdebiet hoofdzakelijk conservatief berekend. Om te voorkomen dat er knelpunten ontstaan die niet realistisch zijn, is de mogelijkheid om maatwerk te leveren opengelaten.

In de vereenvoudigde invoermethode is de uitstroming gebaseerd op de eigenschappen van de toevoer- en afvoersystemen. Dit kan tot een onderschatting van het risico leiden als de druk in deze systemen aanmerkelijk lager is dan de druk in het falende installatie-onderdeel. Voor deze situatie mag de vereenvoudigde invoermethode dan ook niet gebruikt worden.

Vereenvoudigde invoermethode

CONCEPT

Voor de scenario's 'instantaan falen van een installatieonderdeel' en 'breuk van een leiding' wordt rekening gehouden met de afname van het uitstroomdebiet in de tijd. De afname in de tijd hangt af van het uitstroomscenario (gatgrootte), de specifieke layout van de inrichting en het eventuele sluiten van inbloksystemen.

De modellen in SAFETI-NL zijn niet geschikt om het tijdafhankelijke uitstroomdebiet te berekenen volledig rekening houdend met de genoemde specifieke ontwerpdetails. In de periode voorafgaand aan de invoering van het rekenvoorschrift voor mijnbouwwerken zijn ook geen andere rekenpakketten gevonden waarmee het uitstroomdebiet op een passende, transparante en reproduceerbare manier berekend kon worden. Daarom is gezocht naar een vereenvoudigde invoermethode in SAFETI-NL die recht doet aan de dynamiek van uitstroming en tegelijkertijd transparant en reproduceerbaar is. De gepresenteerde 'vereenvoudigde invoermethode' is daarvan de uitkomst. Deze invoermethode is relatief eenvoudig en daardoor voor de opsteller van de QRA eenvoudiger toe te passen en voor bevoegd gezag beter op juistheid te beoordelen. Verder zal de vereenvoudigde invoermethode overwegend conservatieve uitkomsten geven omdat wordt uitgegaan van de eigenschappen van de inkomende en uitgaande leidingen. In de praktijk zal de doorstroming in geval van een (groot) ongeval binnen de inrichting veelal belemmerd worden door tussenleidingen met kleinere diameters dan de inkomende en uitgaande inleidingen. In uitzonderlijke gevallen geeft de vereenvoudigde invoermethode uitkomsten die niet conservatief zijn. Dat is geaccepteerd omdat de voordelen van de methode (eenvoud, reproduceerbaarheid en verifieerbaarheid) groot zijn.

De vereenvoudigde invoermethode gaat uit van de eigenschappen van de inkomende en uitgaande leidingen en daarmee wordt de feitelijke layout van de inrichting een 'black box'. Alleen eventueel aanwezige insluitsystemen doen nog ter zake. Compressoren en reduceerkleppen binnen de inrichting zijn in de vereenvoudigde methode niet langer relevant voor de rekenuitkomsten.

Een interessante situatie is een verbinding met een doorgaande leiding. In dat geval vindt toevoer plaats vanaf twee leidingdelen buiten de inrichting. Een voor de hand liggende aanpak is om voor deze situatie de breuklocatie halverwege de leiding te modelleren (in plaats van aan het eind van de leiding). Echter, in dat geval telt SAFETI-NL de uitstroming vanuit twee zijden bij elkaar op (alsof er twee gaten zijn) en dat geeft voor de eenzijdige nalevering (één gat) een te groot debiet. Een alternatieve aanpak is om de diameter van het

bestaat). Deze mogelijkheid was voorafgaand aan het consequentieonderzoek over het hoofd gezien en is daarna niet meer 'gerepareerd'. Overall wordt verwacht dat de vereenvoudigde invoermethode nog steeds voldoende conservatief is.

Blowout van de put tijdens productie of injectie
De uitstroming vindt plaats vanuit een gat ter grootte van de tubing. Daarbij moet op realistische wijze rekening gehouden worden met de nalevering vanuit

CONCEPT

de put en vanaf de installaties op de inrichting. In SAFETI-NL 6.54 is geen model beschikbaar waarmee de gezamenlijke bijdrage eenvoudig berekend kan worden. SAFETI-NL berekent ofwel eenzijdige uitstroming (de uitstroming vanuit één leidingdeel) ofwel dubbele uitstroming (de opgetelde uitstroming vanuit twee leidingdelen). De dubbele uitstroming geeft een overschatting omdat er maar één gat is (bovenin de put). Daarom is gekozen voor maatwerk.

Blowout van de put tijdens onderhoudswerkzaamheden
Tijdens onderhoudswerkzaamheden staat de put aanvankelijk onder druk (de 'closed-in tubing head pressure'). Bij een release is toevoer vanaf het reservoir mogelijk (casing blowout potential of tubing blowout potential). De rekenmethode houdt daar geen rekening mee. Daarmee wordt de uitstroming na enige tijd onderschat. De mate van onderschatting hangt af van de eigenschappen van de put en het reservoir. Voor het eerste tijdsegment (0-20 s) zal de onderschatting doorgaans beperkt zijn.

In het Long Pipeline model wordt de druk en uitstroming ter plaatse van de breuklocatie berekend op basis van de druk aan het begin van de leiding, de doorvoer ('pumped inflow') en de leidingweerstand. Het eventuele gebruik van de casing of tubing blowout potential als 'pumped inflow' resulteert in een druk ter plaatse van de breuklocatie die lager is dan de 'closed-in tubing head pressure'. Dit leidt tot een uitstroming die juist aan het begin van de release lager is dan realistisch.

Voorbeeldberekening
Voor het grootste deel van installaties wordt de vereenvoudigde invoermethode gebruikt, en deze hoeft niet apart te worden verantwoord. Alleen voor de blowout-scenario's is maatwerk toegepast. In het resterende deel van deze paragraaf wordt de modellering van deze scenario's toegelicht.

Blowout tijdens productie:
De uitgangspunten voor de modellering zijn beschreven in het rekenvoorschrift. In het bijzonder vindt de uitstroming plaats vanuit één gat met toestroming vanuit twee richtingen. De gatgrootte is gelijk aan de tubing diameter (5¼ inch).

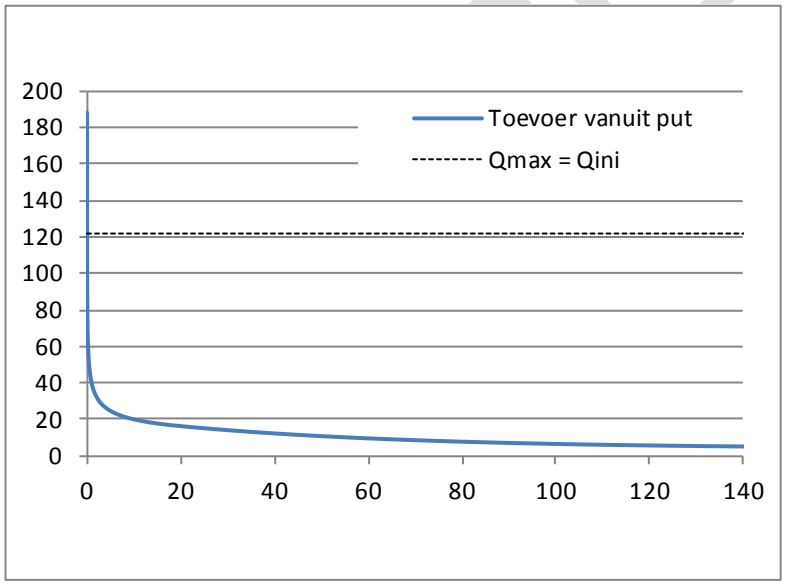
Voor het totale uitstroomdebiet als functie van tijd, gelden de volgende uitgangspunten:
- Het totale uitstroomdebiet neemt af in de tijd. Het initiële debiet (Q_{ini}) kan berekend worden op basis van de initiële druk en de gegeven gatgrootte en blijkt 122 kg/s te bedragen[38]. Dit initiële debiet geldt dus ook als maximum. In Figuur 31 is Q_{ini} weergegeven met de zwarte gestippelde lijn.
- Het uitstroomdebiet ($Q_{blowout}$) is gelijk aan de som van de bijdragen vanuit de put en vanaf landzijde. Deze bijdragen zijn onderling afhankelijk. Het is echter niet mogelijk om de interactie te modelleren. Het is wel mogelijk om de *onafhankelijke* bijdragen te berekenen. De onafhankelijke bijdrage vanuit

[38] Dit is berekend met een 'leak scenario' met druk 60 bar(g) en temperatuur 70°C. Voor dit scenario gaat SAFETI-NL uit van een 'discharge coefficient' van 0,87, d.w.z. dat de efficiency van de uitstroming 13% lager is ten opzichte van een situatie waarin de stroming perfect is opgelijnd met het lek.

CONCEPT

de put (Q_A) is gebaseerd op de veronderstelling dat de 'wing valve' naar de inrichting gesloten is en de bijdrage vanaf landzijde (Q_B) op de veronderstelling dat de 'master gate valves' in de put gesloten zijn. In werkelijkheid is er interactie tussen de twee bijdragen (er is maar één gat) en is de werkelijke toevoer kleiner dan de som van de onafhankelijke bijdragen Q_A en Q_B, dus $Q_{blowout} < Q_A+A_B$. Op basis van maatwerk wordt een zo realistisch mogelijke inschatting gedaan van het werkelijke uitstroomdebiet.

– De onafhankelijke bijdrage vanuit de put (Q_A) hangt af van de diameter (5¼ inch) van de put, de gatgrootte (ook 5¼ inch), de druk en de toevoer onderin de put vanuit het reservoir. De toevoer onderin de put is initieel gelijk aan het productiedebiet. Als de druk onderin de put afneemt, kan de toevoer vanuit het reservoir toenemen. Het Long Pipeline model in SAFETI-NL houdt hier geen rekening mee en gebruikt in plaats daarvan een vaste waarde voor het toevoerdebiet ('pumped inflow'), gelijk aan het toevoerdebiet voorafgaand aan het begin van de release. In dit geval is de 'pumped inflow' dus gelijk aan het productiedebiet. De invoerwaarde voor de druk betreft de druk aan het begin van de leiding. Voor productieputten is dat de 'flowing bottom hole pressure'. Het Long pipeline model houdt geen rekening met de invloed van zwaartekracht. Voor productieputten geeft dit een conservatieve inschatting van de druk ter plaatse van het gat en van de uitstroming. In Figuur 31 is Q_A weergegeven met de blauwe lijn.

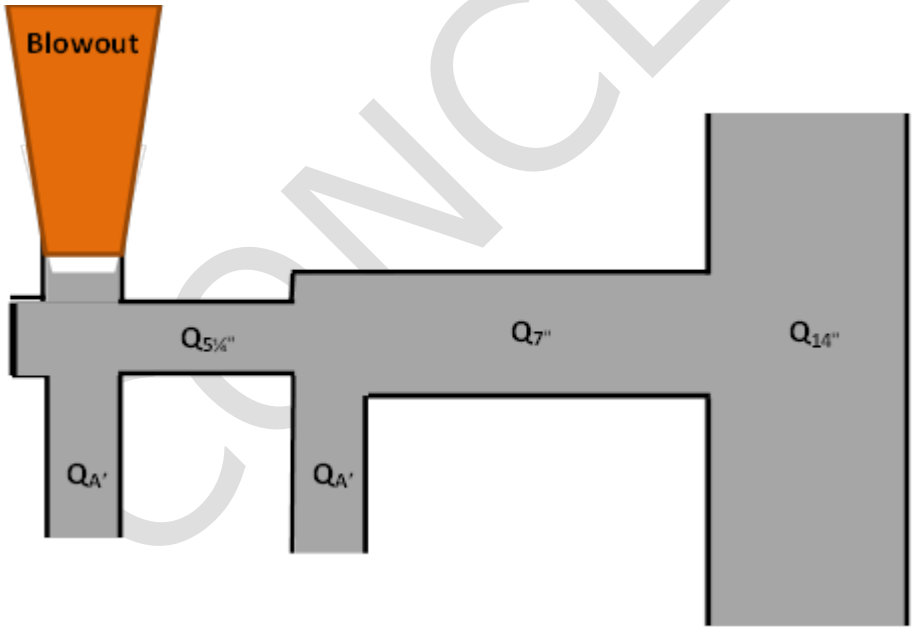


Figuur 31 Inschatting voor QA (toevoer vanaf putzijde)

– Het toevoersysteem vanaf landzijde bestaat onder meer uit een leidingdeel met een diameter van 5¼ inch, een verbinding met de tweede put (A'), een leidingdeel met een diameter van 7 inch en een doorgaande transportleiding met een diameter van 14 inch, zie Figuur 32. In Figuur 32 zijn de condensaatafscheiders, de koelerbank, de filterseparator en het leidingdeel met een diameter van 8,5 inch eenvoudigheidshalve weggelaten. In de vereenvoudiging wordt aangenomen dat de 5¼ inch leiding een lengte heeft

van 20 m (de gecombineerde lengte van de leidingen a en c) en de 7 inch leiding een lengte van 40 m (gecombineerde lengte van de leidingen e, f en g).

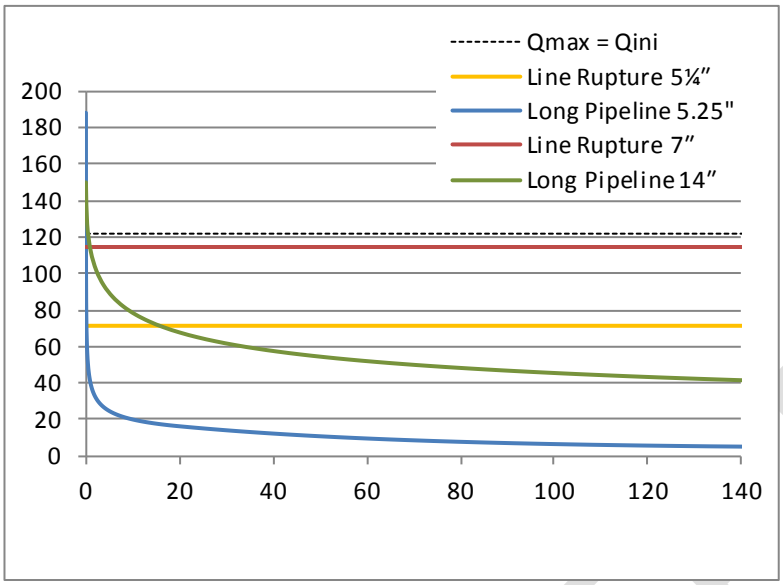
- Voor de verschillende onderdelen van Figuur 32 kan nu worden nagegaan wat de maximale doorstroming is.
    - De maximale toevoer door het leidingdeel met een diameter van 5¼ inch ($Q_{5¼"}$) kan berekend worden met het Line Rupture model. Voor een 20 m lange leiding met een maximale druk van 40 bar aan het begin van de leiding[39] is het debiet maximaal 71 kg/s (oranjegele lijn in Figuur 33).
    - De maximale toevoer vanuit de tweede put ($Q_{A'}$) is gelijk aan de maximale toevoer vanuit de eerste put: Q_A
    - De maximale toevoer door het leidingdeel met een diameter van 7 inch ($Q_{7"}$) kan berekend worden met het Line Rupture model. Voor een 20 m lange leiding met een maximale druk van 40 bar is het debiet maximaal 115 kg/s (rode lijn in Figuur 33).
    - De maximale toevoer vanuit de doorgaande 14 inch transportleiding ($Q_{14"}$) kan berekend worden met een Long Pipeline model met een diameter van 14 inch en een gatgrootte van 5¼ inch[40]. De uitkomsten zijn in Figuur 33 weergegeven met de groene lijn.



Figuur 32 Vereenvoudiging van het toevoersysteem vanaf landzijde

[39] Er is gekozen voor 40 bar omdat de druk binnen de inrichting waarschijnlijk zeer snel zakt tot de druk in de toevoerleiding.

[40] Omdat de relative aperture in het Long Pipeline model niet kleiner mag zijn dan 0,2, en de gatgrootte gefixeerd wordt op 5¼ inch, is de feitelijke invoerwaarde voor de diameter 11,74 inch in plaats van 14 inch.



Figuur 33 Analyse van de mogelijke toevoer van gas vanaf landzijde voor de tubing blowout tijdens productie

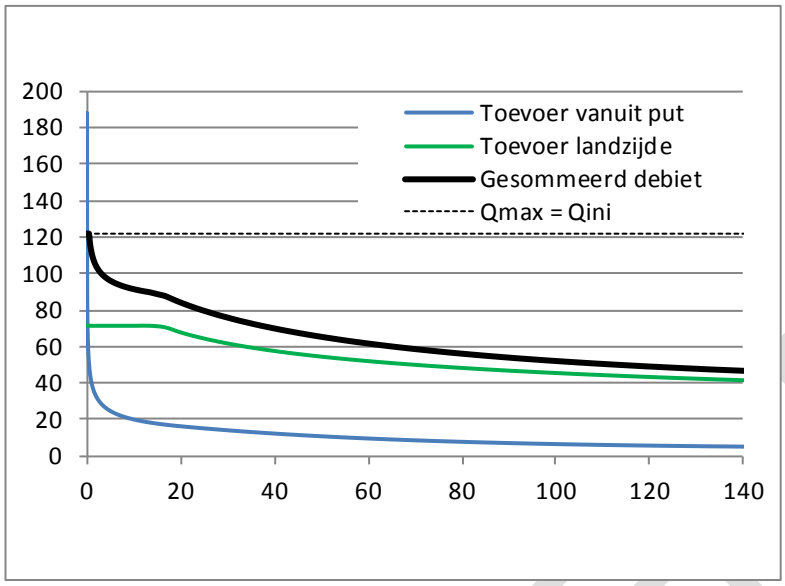
Figuur 33 laat duidelijk de gevoeligheid zien voor aannames in de modellering, in het bijzonder met betrekking tot de uitstroming vanaf landzijde. Figuur 33 is dus ook een illustratie van de meerwaarde van eenduidige voorschriften, zoals de vereenvoudigde invoermethode.

Figuur 33 laat verder zien dat de doorstroming door de 5¼ inch leidingen (oranjegele lijn) gedurende de eerste 15 s lager is dan de toevoer vanuit de transportleiding (groene lijn). Voor deze periode is de lengte en diameter van de 5¼ inch leidingen dus de remmende factor. Na 15 s is de toevoer vanuit de doorgaande transportleiding door de drukafname in de doorgaande leidingen aanzienlijk verminderd, en vormt de toevoer vanuit de doorgaande transportleiding de remmende factor. Het leidingdeel met diameter 7 inch vormt op geen enkel moment een remmende factor voor de toevoer van gas.

Op deze manier is het mogelijk om een inschatting te maken van het verloop van de uitstroming gedurende de gehele tijd. Het betreft het minimum van de oranjegele lijn en de groene lijn in Figuur 33 en deze is in Figuur 34 weergegeven met een felgroene lijn.

- Vervolgens kan worden nagegaan wat het gecombineerde uitstroomdebiet is vanuit de put en vanaf de inrichting. Dit is in principe de som van de uitstroming vanuit de put (Q_A, blauwe lijn in Figuur 34) en vanaf de inrichting (Q_B, felgroene lijn in Figuur 34), maar mag de maximale uitstroming op basis van de initiële druk en de gatgrootte (zwarte gestippelde lijn) niet overschrijden. Dit resulteert in de zwarte doorgetrokken lijn.
- De zwarte doorgetrokken lijn geeft dus de meest realistische inschatting van het uitstroomdebiet voor een blowout van de put tijdens productie.

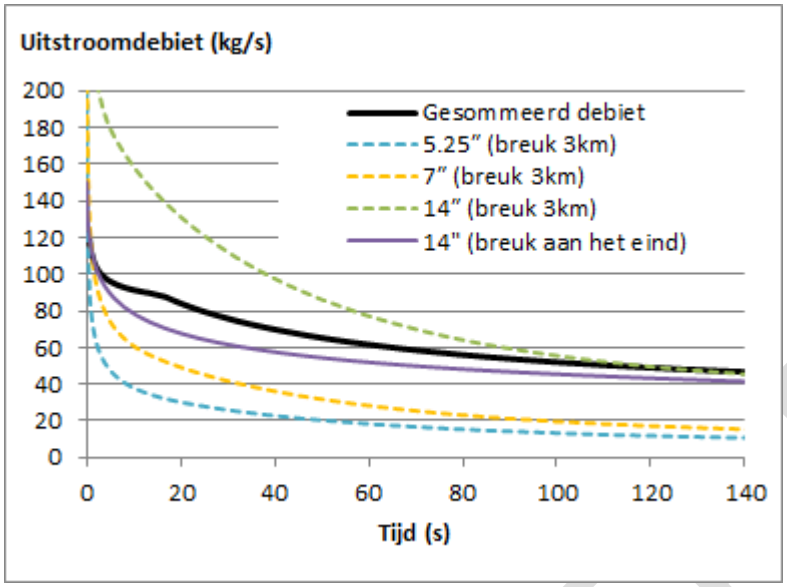
CONCEPT



Figuur 34 Verwachting voor de totale uitstroming voor een tubing blowout tijdens productie met onderscheid naar bijdragen van putzijde en van landzijde

– Tot slot kan worden nagegaan met welk invoerscenario de verwachte uitstroming het beste kan worden nagebootst. In Figuur 35 zijn enkele mogelijkheden weergegeven. In dit geval geeft de eenzijdige uitstroming vanuit de 14 inch doorgaande transportleiding de beste benadering (zie Figuur 35). De invoerwaarden voor dat model zijn:
    - Gatgrootte: 5¼ inch (0,133 m).
    - Leidingdiameter: 0,298 m (bovengrens op basis van relative aperture).
    - Relative aperture: 0,2.
    - Leidinglengte: 32000 m.
    - Afstand tot breuklocatie: 32000 m.
    - Pompdebiet: 0 kg/s.

CONCEPT



Figuur 35 Simulatie van de gecombineerde bijdragen aan de tubing blowout tijdens productie

Discussie
De uitkomst van het verrichte maatwerk is dat de blowout van de put tijdens productie, het beste gemodelleerd kan worden als het vrijkomen van gas vanuit de 14 inch doorgaande transportleiding (met gatgrootte 5¼ inch). De achterliggende verklaring is dat de drukafname in de put zelf veel sneller verloopt dan de drukafname binnen de inrichting en de transportleiding. Als de diameter van de 'wing valve' gelijk is aan de tubing diameter van de put, dan is toevoer vanaf de inrichting bepalend.

De verantwoording van de blowout modellering laat zien dat de vereenvoudigde invoermethode voor dit rekenvoorbeeld een goede methode is die over het algemeen (licht) conservatieve uitkomsten zal geven.

Blowout tijdens onderhoudswerkzaamheden:
Tijdens onderhoudswerkzaamheden is de 'wing valve' gesloten en vindt er alleen uitstroming vanuit de put plaats. De bijbehorende invoerwaarden voor het Long Pipeline model zijn beschreven in het rekenvoorschrift. Concreet zijn deze:

- Gatgrootte: 5¼ inch (0,133 m).
- Leidingdiameter: 0,133 m (tubing blowout) of 0,178 m (casing blowout.
- Relative aperture: 1.
- Leidinglengte: 3000 m.
- Afstand tot breuklocatie: 3000 m.
- Pompdebiet: 0 kg/s.

Het debiet voor tubing blowout is groter dan de TBOP en het debiet voor casing blowout groter dan de CBOP. Daarmee is het gebruik van de invoerwaarden acceptabel.

CONCEPT

9 Toelichting module 4, D.1 en E.1 Rekenvoorschrift windturbines

9.1 Ongevalscenario's en faalstatistiek

9.1.1 Inleiding

In opdracht van Gasunie en TenneT heeft DNV KEMA in 2011 onderzoek verricht naar risicovolle incidenten van windturbines. Doel van dit onderzoek was onder andere het actualiseren van de faalfrequenties van windturbines op basis van actuele statistiek. Dit hoofdstuk geeft de resultaten weer van dit onderzoek en is overgenomen uit hoofdstuk 2 van het rapport "Rekenmethodiek zonering windturbines" (2012)[41].

Dit hoofdstuk geeft de scenario's en faalkansen weer zoals bepaald uit historische Deense, Duitse, Engelse en Nederlandse faalgegevens in de periode 2001-2010. De hier gepresenteerde faalscenario's en bijbehorende faalfrequenties zijn van toepassing op moderne windturbines van 1 tot 5 MW. Volgens het analagon principe[96] zijn de faalfrequenties ook toepasbaar op windturbines met een hoger geïnstalleerd vermogen. Het Ministerie van I&M (nu het Ministerie van I&W) heeft (in samenspraak met het RIVM) bepaald dat het 95% betrouwbaarheidspercentiel voor de faalfrequenties gehanteerd moet worden.

Van windturbines met betonnen of hybride masten ontbreekt faalstatistiek. De generieke waarden van de Handleiding zijn alleen van toepassing op windturbines met stalen masten.

9.1.2 Faalscenario's

Bij het falen van een windturbine zijn vier faalscenario's te onderscheiden: het naar beneden vallen van kleine onderdelen (bouten, blad- en tipdelen, ijs), bladbreuk, mastbreuk en gondel/rotorafworp.

De faalfrequentie van het naar beneden vallen van kleine onderdelen (bouten, blad- en tipdelen, ijs) mag kwalitatief bepaald worden. Het naar beneden vallen van kleine turbineonderdelen of ijs zijn incidenten die vooral risico's vormen voor het gebied onder de rotor (er van uitgaande dat een windturbine wordt stilgezet bij ijsvorming aan de bladen). De frequenties van ijsafwerping zijn zeer locatieafhankelijk en hiervoor is ook geen generieke waarde te bepalen. Bij kans op

[41] DNV KEMA (2012) Rekenmethodiek zonering windturbines, in opdracht van NV Nederlandse Gasunie en Tennet TSO B.V.; 18 december 2012, 74101452 GCS 12.R.53190

CONCEPT

ijsvorming worden de turbines automatisch stilgezet (beveiliging), tot de oorzaak van het buiten werking stellen is opgeheven.
Bladdelen kunnen wel ver van de turbine terecht komen. De relatief kleine onderdelen hebben een kleine massa. De kans op schade aan een object is dan veel kleiner dan van een heel blad. De risico's voor de infrastructuur worden volledig gedomineerd door bladbreuk, mastbreuk en gondel/rotorafworp.

De volgende faalscenario's worden in dit rapport geadresseerd:

a. Bladbreuk

Het blad breekt in de wortel af en wordt als geheel weggeworpen. Breuk van een bladtip of gedeelte van een blad wordt niet beschouwd.

b. Mastbreuk

Mastbreuk vindt plaats doordat de mast bij de voetflens afbreekt of dat de mast knikt op een hoger gedeelte. In het Handboek 2005 is geen onderscheid gemaakt tussen deze twee faalscenario's. De impact van de twee faalscenario's verschilt dusdanig dat er bij deze versie is gekozen om onderscheid te maken tussen deze faalscenario's. Volledig falen van de mast waarbij de mast loskomt van het fundament of waarbij de mast breekt in de onderste helft. Een ander mogelijk scenario is knikken van de mast in de bovenste helft. Bij knikken van de bovenste masthelft is er sprake van een geringere neerwaartse snelheid van masttop en gondel. De rotor/gondel kan aan de mast blijven hangen of met geringe impact alsnog op de bodem terechtkomen.

c. Gondel/rotorafworp

Gondel en/of rotor komen als geheel naar beneden. De mast blijft staan.

9.1.3 Faalstatistiek

Voor de drie faalscenario's wordt een update gegeven van de faalstatistiek voor windturbines vanaf 1 MW tot 5 MW. De faalfrequenties worden gedefinieerd als kans op falen per windturbine per jaar.

9.1.3.1 Update faalstatistiek

De faalcijfers voor windturbines in het Handboek (2005) zijn gebaseerd op gegevens van 30.000 bedrijfsjaren van windturbines tussen 0 en 1300 kW in de periode 1984 - 2000. Van de 30.000 bedrijfsjaren hadden ruim 24.000 bedrijfsjaren betrekking op de vermogensklasse

CONCEPT

tussen 51 en 300 kW. Deze vermogensklasse ligt ver onder de tegenwoordig gebruikelijke windturbinevermogens van één tot enkele MW. De faalcijfers zijn hierdoor gedateerd en liggen buiten het toepassingsbereik. Bovendien zijn hierin veel gegevens van prototypen verwerkt.

Momenteel worden juist veel windturbines met een vermogen van minimaal 3 MW geplaatst. Bij het bouwen van moderne windturbines wordt steeds meer aandacht besteed aan veiligheid. In de studie naar faalfrequenties is onderzocht of de faalfrequenties van moderne windturbines afwijken van de faalfrequenties die in het Handboek van 2005 zijn gehanteerd. Nieuwe faalstatistieken van moderne windturbines moeten uitwijzen of - en zo ja, hoeveel - de faalkansen daadwerkelijk kleiner zijn.

9.1.3.1.1 Dataverzameling

Opvallend is dat faalgegevens van windturbines niet centraal worden bijgehouden: er bestaan geen (openbare) wetenschappelijke databases die incidenten met windturbines of windturbineonderdelen registreren. In het Handboek (2005) hebben zowel ISET (Institut für Solare Energiesystemen) uit Duitsland en EMD (Energie- og Miljodata) uit Denemarken data aangeleverd voor het bepalen van de faalfrequenties van bladen, masten, rotors en gondels. Van deze databases kon geen gebruik gemaakt worden bij het opstellen van nieuwe faalfrequenties, aangezien zowel EMD als ISET (nu IWES van Fraunhofer) geen database met incidenten van windturbines meer hebben. Voorheen werd deze database bijgehouden in het kader van een onderzoeksprogramma vanuit de Duitse overheid. Dit onderzoeksprogramma is gestopt en daarmee ook het bijhouden van faalincidenten. Ook veel van de kennisinstituten, windturbinefabrikanten, onderhoudsbedrijven en verzekeringsmaatschappijen die DNV KEMA heeft benaderd konden of wilden geen faalgegevens van moderne windturbines leveren. Deze informatie wordt als vertrouwelijk en concurrentiegevoelig beschouwd.

Een database die wel openbaar beschikbaar is, is de Caithness Windfarm database[42]. Deze uitgebreide database wordt bijgehouden door tegenstanders van windenergie. Hoewel niet alle referenties die de database gebruikt te achterhalen zijn, wordt deze database ook aangewend door andere partijen die de risico's van windturbines in kaart willen brengen[43]. De database wordt beschouwd als bron van waardevolle data waar zoveel mogelijk wereldwijde incidenten zijn genoemd.

[42] http://www.caithnesswindfarms.co.uk/

[43] e.g. Sharples, M.; Sharples, B.J.M. (2010) Damage and Critical analysis of accidents to assist in avoiding accidents on offshore wind farms on the OCS.

CONCEPT

Via NWEA (Nederlandse Wind Energie Associatie) heeft DNV KEMA van een fabrikant faalgegevens ontvangen van hun windturbines. Een andere grote fabrikant heeft ook gegevens bekend gemaakt. Beide geven de faalgegevens weer van moderne windturbines.
Als laatste bron is gebruik gemaakt van de Windkraft-journals, die een (niet volledig) overzicht geven van incidenten binnen de windindustrie.

In landen die van oudsher al bezig zijn met windenergie zijn meer gegevens bekend over faalstatistieken van windturbines. Dit zijn Duitsland, Denemarken en het Verenigd Koninkrijk. Om zoveel mogelijk recente gegevens te verkrijgen van moderne windturbines, is DNV KEMA bij de Caithness Windfarm database en de Windkraft journals uitgegaan van de faalgegevens uit deze drie landen gedurende de periode 2001 – 2010. Ook is er gekeken naar de Nederlandse casuïstiek voor windturbines. Nederland heeft echter een relatief beperkte omvang van het aantal geplaatste MW-turbines. De nieuw geplaatste windturbinetypes in Nederland wijken niet af van de in Duitsland, Denemarken en het Verenigd Koninkrijk nieuw geplaatste turbines. Hiervoor gelden dan ook dezelfde faalfrequenties.

De faalfrequenties zijn berekend aan de hand van faalincidenten die zijn vermeld in de drie genoemde bronnen in combinatie met het aantal geïnstalleerde turbines per jaar per land. Voor het geïnstalleerde vermogen per jaar in Duitsland is IWES Fraunhofer als bron gebruikt[44]. Voor het jaarlijkse windvermogen in Denemarken is gebruik gemaakt van de Deense Stamdataregister for vindkraftanlæg beheerd door de Danish Energy Agency[45]. Het aantal windturbines in Groot-Brittanië is weergegeven door Renewable UK, de Britse windenergie associatie[46]. Voor het aantal windturbines in Nederland is gebruikt gemaakt van de database van Windenergie-nieuws.nl[47].

9.1.3.1.2 Casuïstiek Nederland (Informatief)

De in deze paragraaf gepresenteerde faalstatistiek is enkel bedoeld ter informatie en niet voor toepassing in risicoanalyses.

DNV KEMA heeft onderzoek gedaan naar faalincidenten van windturbines in Nederland. Hierbij is gebruik gemaakt van de Caithness database voor de periode van 2001 tot 2010. De Windkraft Journals maakten geen melding van ongevallen in Nederland. Informatie over het aantal windturbines in Nederland is afkomstig van Windenergie Nieuws.

[44] Fraunhofer Iwes (2011) http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/ (niet meer bereikbaar)
[45] Energi Styrelsen (2011) http://www.ens.dk/
[46] Renewable UK (2011) http://www.renewableuk.com/
[47] Windenergienieuws.nl (2011) http://www.windenergie-nieuws.nl/

CONCEPT

Bij DNV KEMA zijn geen andere incidenten bekend dan vermeld in de Caithness database. Tabel 3 geeft het aantal faalincidenten weer per jaar in Nederland voor bladbreuk, mastbreuk en gondel/rotorafworp.

Tabel 3: Aantal faalincidenten per jaar van windturbines in Nederland

Faalincidenten Caithness Windfarm Database											
Nederland		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	Totaal 2001-2010										
Aantal turbines	14954	812	966	1165	1330	1444	1601	1730	1939	1970	1997
Blad	7	0	0	0	2	2	0	0	2	1	0
Mast	7	0	0	0	0	3	3	0	1	0	0
Gondel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4 geeft weer waar en wanneer de faalincidenten plaatsvonden.

Tabel 4: Overzicht van de faalincidenten in Nederland (gebaseerd op Caithness database 2011)

Datum	**Plaats**	**Incident**	**Turbinevermogen**
15/01/2004	Windpark Sas, Wilhelminadorp	Bladbreuk	80kW
22/12/2004	Friese Pingjum	Bladbreuk	80kW
08/01/2005	Visafslag Lauwersoog	Bladbreuk	75kW
22/01/2005	Wijnaldum	Bladbreuk	75kW
12/02/2005	Hornhuizen	Mastbreuk	225kW
15/02/2005	Maasvlakte	Mastbreuk	1MW
31/10/2005	Kreekraksluizen	Mastbreuk	500kW
10/01/2006	Eemmeerdijk, Zeewolde	mastbreuk (knikken)	1MW
28/03/2006	Den Haag	Mastbreuk	80 kW
06/07/2006	Flevoland	Mastbreuk	1MW
07/02/2008	Texel	Bladbreuk	<1MW
03/03/2008	Biddinghuizen	Mastbreuk	80kW
14/05/2008	Schagen	Bladbreuk	<1MW
27/05/2009	Lelystad	Bladbreuk	750kW

Uit de gevonden faalstatistiek voor Nederland over de periode 2001-2010 volgt dat de faalfrequenties in de orde van grootte of zelfs hoger zijn dan de waarden uit het Handboek (2005): uitgaande van Tabel 3 volgt dat het aantal ervaringsjaren (turbinejaren) vanaf 2001 bijna $1{,}5 \times 10^{4}$ betreft. De verwachtingswaardes voor de verschillende scenario's worden op basis van deze tabel circa 5×10^{-4} per jaar voor

CONCEPT

zowel blad als mastbreuk en ordegrootte $7x10^{-5}$ per jaar (aanname dat er 1 ongeval heeft plaatsgevonden) voor het falen van de gondel.

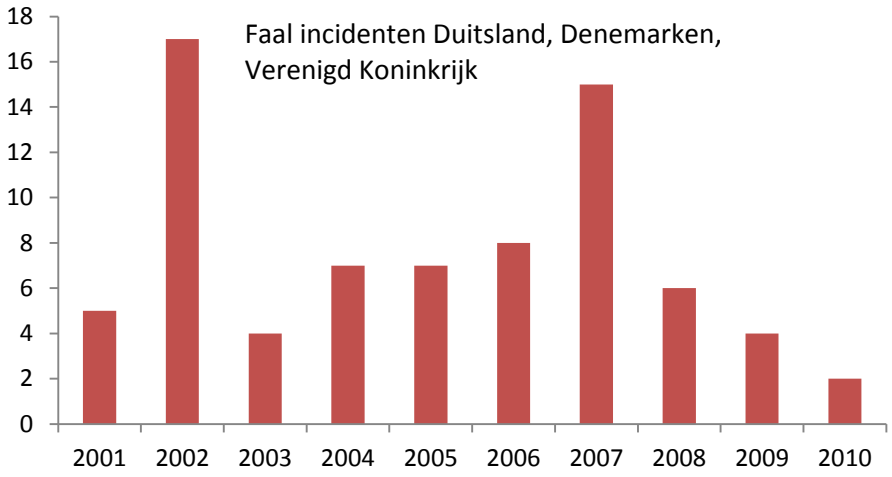
Opvallend is dat de gefaalde windturbines zonder uitzondering oudere windturbines zijn. De gefaalde windturbines zijn geplaatst in de jaren '90 met vermogens kleiner of gelijk aan 1 MW. Er zijn geen faalincidenten met turbines groter dan 1 MW gevonden (in de onderzochte periode), maar er is ook maar een beperkt aantal van deze categorie geplaatst. Met betrekking tot de vorige alinea volgt mede dat met dezelfde methode faalfrequenties voor windturbines van > 1MW zullen resulteren van minimaal $5x10^{-5}$ per jaar. Hierbij is dan de voltallige hoeveelheid turbine-ervaringsjaren van $1.5x10^{4}$ toegepast. De werkelijke hoeveelheid ervaringsjaren van turbines >1MW is hiervan slechts een fractie, waardoor veel hogere verwachtingswaarden zullen resulteren (en nog veel grotere waarden voor eventuele 95% betrouwbaarheidspercentielen).

Omdat de afleiding van faalfrequenties voor windturbines boven 1 MW op basis van de getoonde Nederlandse casuïstiek niet goed mogelijk is, wordt gekeken naar andere landen. Denemarken, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk beschikken over een groot aantal turbine-ervaringsjaren. Bovendien wijken de geplaatste windturbinetypes niet af van andere Europese landen, waardoor de resulterende faalfrequenties ook voor Nederland toepasbaar zijn.

9.1.3.1.3 Caithness Windfarm

Caithness Windfarm Information Forum (CWIF) (www.caithnesswindfarms.co.uk) wordt beheerd door een groep mensen die zich zorgen maken over de toename van windturbines in de Schotse Hooglanden. The Caithness Windfarm Accident database is de meest uitgebreide database met ongevallen die publiekelijk beschikbaar is. Deze organisatie verzamelt incidenten van windturbines. Wanneer deze bevestigd zijn door persberichten of andere media worden deze in de database opgenomen. Veel van de opgegeven referenties zijn echter niet meer te controleren omdat de links naar de nieuwsartikelen of opgegeven websites niet meer werken. De faalincidenten die Caithness voor Nederland weergeeft zijn door DNV KEMA gecontroleerd. Op basis van KEMA's expertise blijkt dat het merendeel van de incidenten in de Caithness database zijn opgenomen. De verwachting is dat dit ook geldt voor de landen om ons heen. Het gemiste aantal incidenten acht KEMA niet groter dan 10 tot 20%. Dit wordt gedekt door bovenwaardes te gebruiken en conservatieve cijfers te hanteren.

CONCEPT



Figuur 18: Faal incidenten in de periode 2001-2010.

De database geeft slechts in een enkel geval aan om welk turbinetype het gaat. In deze database zijn dan ook incidenten van oude turbinetypes meegenomen, zonder dat een splitsing kan worden gemaakt tussen oude en moderne windturbines. Figuur 18 geeft het totaal aantal bij Caithness bekende faalincidenten per jaar voor de landen Duitsland, Denemarken en Verenigd Koninkrijk.
DNV KEMA heeft de gegevens uit de Caithness Windfarm Accident database vanaf 2001 tot en met 2010 geanalyseerd voor de landen Denemarken, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk. In deze drie landen is het aantal windturbines, en dus het aantal turbinejaren, het grootst. Dit vergroot de betrouwbaarheid van de gegevens.

In Tabel 5 staan de faalincidenten die de Caithness Windfarm database rapporteert. De faalfrequentie van een component is gedefinieerd per windturbine per jaar. Van deze incidenten wordt verreweg het grootste deel toegeschreven aan bladbreuk.

Tabel 5: Faalincidenten voor windturbines in Duitsland, Denemarken en Verenigd Koninkrijk zoals beschreven in de Caithness Windfarm database

Faalincidenten Caithness Windfarm Database											
Nederland		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	Totaal 2001-2010										
Totaal Duitsland, Denemarken, VK											
	Totaal 2001-2010										
Aantal turbines	227264	12948	16385	18884	20499	22098	24139	25359	27041	29029	30882
Blad	63	5	11	3	7	6	8	12	5	4	2
Mast	8	0	3	1	0	1	0	3	0	0	0
Gondel	4	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0

CONCEPT

Faalfrequentie											
	Gemiddeld 2001-2010										
Blad	$2{,}77\times10^{-4}$	$3{,}86\times10^{-4}$	$6{,}71\times10^{-4}$	$1{,}59\times10^{-4}$	$3{,}41\times10^{-4}$	$2{,}72\text{-}10^{-4}$	$3{,}31\times10^{-4}$	$4{,}73\times10^{-4}$	$1{,}85\times10^{-4}$	$1{,}38\times10^{-4}$	$6{,}48\times10^{-5}$
Mast	$3{,}52\times10^{-5}$	0	$1{,}83\times10^{-4}$	$5{,}30\times10^{-5}$	0	$4{,}53\times10^{-5}$	0	$1{,}18\times10^{-4}$	0	0	0
Gondel	$1{,}76\times10^{-5}$	0	$1{,}83\times10^{-4}$	0	0	0	0	0	$3{,}70\times10^{-5}$	0	0
Duitsland											
Aantal turbines		9647	12681	14952	16405	17588	19042	19891	20626	21531	22016
Blad		4	10	3	7	2	4	8	1	1	0
Mast		0	3	1	0	1	0	2	0	0	0
Gondel		0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Denemarken											
Aantal turbines		2774	3091	3212	3107	3007	2916	2814	2762	2951	3088
Blad		0	1	0	0	3	0	0	1	1	1
Mast		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gondel		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Verenigd Koninkrijk											
Aantal turbines		527	613	720	987	1503	2181	2654	3653	4547	5778
Blad		1	0	0	0	1	4	4	3	2	1
Mast		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Gondel		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

De resultaten van de faalfrequenties uit de Caithness Windfarm database zijn vergeleken met de verwachtingswaardes uit het Handboek (2005) De vergelijking is weergegeven in Tabel 6. Het blijkt dat de faalfrequenties voor bladafworp en mastbreuk volgens de Caithness Windfarm database iets lager zijn dan waar het Handboek (2005) vanuit gaat, maar dat ze in dezelfde range liggen. De Caithness Windfarm database bevat weinig incidenten waarbij de gondel is afgebroken. De faalfrequentie voor gondel/rotorafworp is dan ook lager dan waar het Handboek (2005) vanuit gaat; bijna een factor 10 kleiner.

Van de Caithness database zijn de verwachtingswaarde en de 95% betrouwbaarheidswaarde opgenomen. De 95% waarden zijn gebaseerd op de Poisson verdeling. Omdat de Caithness database alle windturbinetypes weergeeft (groter en kleiner dan 1 MW) worden deze faalfrequenties als conservatief beschouwd voor moderne windturbines.

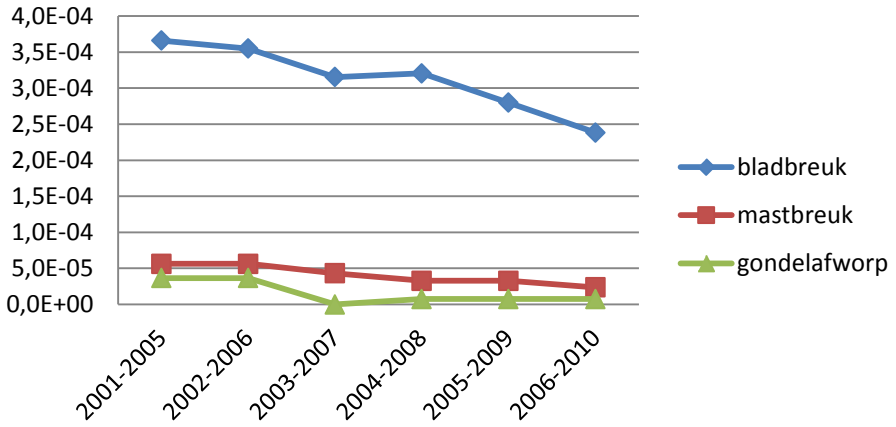
Tabel 6: Vergelijking van de faalfrequenties (per turbinejaar) uit het Handboek (2005) en de Caithness database

Faalfrequentie per turbine 2001-2011			
	Handboek (2005)	Caithness database	Caithness

CONCEPT

			database
	Verwachtingswaarde	Verwachtingswaarde	95% betrouwbaarheid
Blad	$6,3x10^{-4}$	$2,8x10^{-4}$	$3,4x10^{-4}$
Mast	$5,8x10^{-5}$	$3,5x10^{-5}$	$5,8x10^{-5}$
Gondel	$2,0x10^{-4}$	$1,8x10^{-5}$	$4,0x10^{-5}$

Figuur 19 laat de vijf jaar gemiddelde cijfers zien van de faalfrequentie voor bladbreuk, mastbreuk en gondelafworp. De grafiek toont een neerwaartse trend voor de vijf jaar gemiddelde faalfrequentie voor de faalscenario's.



Figuur 19: Vijf jaar gemiddelde faalfrequentie van bladbreuk, mastbreuk en gondelafworp

Moderne windturbines hebben een substantieel aandeel in het opgestelde windvermogen vanaf ongeveer 2005. Het effect van moderne windturbines op de statistieken is vooral na die tijd zichtbaar. Dit betekent dat de faalfrequenties bovenwaardes zijn. Hierdoor is de genoemde verwachtingswaarde conservatief te noemen.

Uit Figuur 19 volgt een dalende trend in bladbreuk en mogelijk ook in mastbreuk. Voor gondelafworp is een dalende trend niet duidelijk. Echter, doordat de bijdrage van de MW-klasse windturbines hierin niet duidelijk gefilterd kan worden, is dit spoor voor het vaststellen van faalfrequenties voor moderne windturbines niet verder gevolgd.

9.1.3.1.4 Faalstatistieken fabrikanten

DNV KEMA heeft verschillende windturbinefabrikanten benaderd om mee te werken aan de update van de faalfrequenties. Belangrijke fabrikanten

voor de Nederlandse markt zijn benaderd via het Ministerie van I&M, via NWEA en zijn uiteindelijk ook allemaal rechtstreeks door DNV KEMA benaderd. Van twee fabrikanten zijn faalgegevens verkregen. Dit zijn representatieve fabrikanten in Nederland met windturbines in de MW-klasse van het type dat momenteel veelvuldig in Nederland wordt geplaatst. Opgemerkt wordt dat DNV KEMA de fabrikantendata heeft verkregen onder de voorwaarde van vertrouwelijkheid, de gegevens mogen niet rechtstreeks gepubliceerd worden.

De fabrikanten hebben voor bladbreuk, mastbreuk en gondel/rotorafworp opgegeven hoe vaak falen is voorgekomen en in hoeveel turbinejaren. De faalcijfers voor windturbines die DNV KEMA van fabrikanten heeft gekregen zijn gebaseerd op gegevens van ongeveer 47.000 bedrijfsjaren tussen 2001 en 2010 voor windturbines van 1,5 MW tot 3 MW.

Beide fabrikanten hebben geen faalincidenten van gondel/rotorafworp of mastbreuk. Volgens inschatting van de fabrikanten zijn daardoor de faalfrequenties voor mastbreuk en gondel/rotorafworp lager dan waar het Handboek (2005) vanuit gaat.

Eén van de fabrikanten gaf aan dat bladbreuk bij de wortel van het blad nauwelijks meer voorkomt en dat vooral tippen afbreken. Deze fabrikant heeft daarom tipafworp als aparte categorie gedefinieerd. Onder "tippen" werden ook grotere bladdelen verstaan, i.e. als het blad niet in zijn geheel afbreekt heeft de fabrikant dat onder tipafworp gedefinieerd. Het is niet mogelijk om in te schatten welk deel van tipafworp onder bladafworp verstaan zou kunnen worden en welk deel daadwerkelijk tipafworp betreft. Wanneer alle getallen van tipafworp als bladafworp worden gerekend, komt de faalkans significant hoger uit dan de waarde die in het Handboek (2005) genoemd wordt. In het Handboek (2005) wordt bij het scenario bladafworp geen faalfrequentie van afworp van tippen meegenomen. In deze update is bij de berekeningen daarom alleen bladafworp meegenomen, zoals de fabrikant dat heeft gedefinieerd. Bij een andere fabrikant is de faalfrequentie van bladbreuk in dezelfde range als waar het Handboek (2005) vanuit gaat.

De faalfrequenties op basis van de data van de twee fabrikanten kunnen als volgt kwalitatief worden samengevat:

- Gondelbreuk : nihil
- Mastbreuk : nihil
- Bladbreuk : in de orde van grootte van het Handboek (2005).

Voor zowel de frequentie van mastbreuk als gondelbreuk kan gesteld worden dat deze met 95% betrouwbaarheid lager is (op basis van een Poisson verdeling) dan $6{,}4 \times 10^{-5}$ per turbinejaar. Hieruit kan (met 95%

CONCEPT

zekerheid) geconcludeerd worden dat de waarde voor gondelbreuk in het Handboek (2005) meer dan een factor 3 te hoog is voor moderne turbines.

9.1.3.1.5 Windkraft Journals

In de "Windkraft Journals" zijn wereldwijde incidenten met windturbines vermeld. Uit de analyse is gebleken dat in Windkraft Journals aanzienlijk minder faalincidenten worden weergegeven dan in de Caithness database. De Windkraft Journals geven aan, geen allesomvattende database te hebben, maar vermelden incidenteel falen van windturbines. Tabel 7 geeft het aantal incidenten weer die vermeld zijn in de Windkraft Journals. De faalfrequentie van een component is gedefinieerd per windturbinejaar.

Tabel 7: Faalincidenten voor windturbines in Duitsland, Denemarken en het Verenigd Koninkrijk zoals beschreven in Windkraft Journals

Faalincidenten Windkraft journal											
Nederland		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	Totaal 2001-2010										
Totaal Duitsland, Denemarken, VK											
	Totaal 2001-2010										
Aantal turbines	227264	12948	16386	18884	20499	22099	24139	25360	27042	29028	30881
Blad	15	0	0	0	1	0	2	3	3	3	3
Mast	3	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0
Gondel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Faalfrequentie											
	Gemiddeld 2001-2010										
Blad	$6{,}60\times10^{-5}$	0	0	0	$4{,}88\times10^{-5}$	0	$8{,}29\times10^{-5}$	$1{,}18\times10^{-4}$	$1{,}11\times10^{-4}$	$1{,}03\times10^{-4}$	$9{,}71\times10^{-5}$
Mast	$1{,}32\times10^{-5}$	0	0	0	0	0	0	$7{,}89\times10^{-5}$	0	$3{,}44\times10^{-5}$	0
Gondel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Duitsland											
Aantal turbines		9647	12681	14952	16405	17588	19042	19891	20626	21531	22016
Blad		0	0	0	1	0	2	3	1	1	1
Mast		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Gondel		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Denemarken											
Aantal turbines		2774	3091	3212	3107	3007	2916	2814	2762	2951	3088
Blad		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Mast		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gondel		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CONCEPT

Verenigd Koninkrijk											
Aantal turbines		527	613	720	987	1503	2181	2654	3653	4547	5778
Blad		0	0	0	0	0	0	0	2	1	1
Mast		0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Gondel		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

De faalincidenten uit de Windkraft Journals leiden tot behoorlijk lagere faalfrequenties dan de huidige faalfrequenties in het Handboek (2005). In Tabel 8 worden de faalfrequenties uit het Handboek (2005) en de Windkraft Journals vergeleken. Van de Windkraft journals zijn de verwachtingswaarde en de 95% betrouwbaarheidswaarde opgenomen. In de Journals worden geen incidenten van afgebroken gondels gemeld. Ook is de faalfrequentie voor bladafworp meer dan een factor 10 lager dan in het Handboek (2005). Voor mastbreuk is dit een factor van ruim 4. Hierbij moet in ogenschouw worden genomen dat de onvolledigheid van de geregistreerde faalincidenten bijdraagt aan een mogelijk positiever beeld van de faalfrequenties dan de werkelijkheid. Daarnaast volgt uit deze tabel een relatief hoog faalcijfer voor de UK ten opzichte van Denemarken en Duitsland. Het is speculeren wat de oorzaak is. Mogelijk speelt de weerssituatie (grotere extremen) hierin een rol. Mede doordat de populatie van de UK niet heel groot is, volgen uit de voorvallen relatief hoge gemiddelden.

Tabel 8: Vergelijking van de faalfrequenties (per turbinejaar) uit het Handboek (2005) en de Windkraft journals

Faalfrequentie per turbine 2001-2011			
	Handboek (2005)	Windkraft journal	Windkraft journal
	Verwachtingswaarde	Verwachtingswaarde	95% betrouwbaarheid
Blad	$6{,}3x10^{-4}$	$6{,}6x10^{-5}$	$1{,}0x10^{-4}$
Mast	$5{,}8x10^{-5}$	$1{,}3x10^{-5}$	$3{,}4x10^{-5}$
Gondel	$2{,}0x10^{-4}$	0	$1{,}3x10^{-5}$

CONCEPT

9.1.3.2 Bladbreuk

Uit zowel de gegevens van de fabrikanten als uit de Caithness Windfarm database en bekende incidenten, komt naar voren dat bladbreuk het incident is dat het meest frequent voorkomt. In het Handboek (2005) wordt onderscheid gemaakt naar bladbreuk bij normaal bedrijf, bladbreuk bij mechanisch remmen en bladbreuk bij overtoeren. Mechanisch remmen komt bij moderne windturbines niet meer voor. Er is hierdoor geen onderscheid meer te maken voor bladbreuk bij normaal

bedrijf of tijdens mechanisch remmen. DNV KEMA onderscheidt daarom slechts twee categorieën: bladbreuk bij normaal bedrijf en bladbreuk tijdens overtoeren. De faalfrequentie van bladbreuk door overtoeren is volgens het Handboek (2005) zeer klein.

Zoals Tabel 9 laat zien, verschilt de faalfrequentie van bladbreuk niet veel met de faalfrequentie voor bladbreuk uit de andere onderzochte bronnen, waarbij rekening gehouden moet worden met het feit dat Windkraftjournal geen volledig overzicht houdt van falen. De faalkansen van de fabrikanten zijn onder geheimhouding aan DNV KEMA verstrekt. De gevonden faalfrequenties komen overeen met de verwachtingswaarde voor bladbreuk uit het Handboek (2005).

Tabel 9: Faalfrequentie (per turbine per jaar) voor bladbreuk uit verschillende bronnen

Faalfrequentie windturbines			
	Handboek (2005)	Windkraftjournal	Caithness
	Verwachtingswaarde (=50% betrouwbaarheidspercentiel)	(Duitsland, Denemarken, Verenigd Koninkrijk)	(Duitsland, Denemarken, Verenigd Koninkrijk)
Bladbreuk	$6{,}3 \times 10^{-4}$	$6{,}6 \times 10^{-5}$	$2{,}77 \times 10^{-4}$
Normaal bedrijf	$3{,}1 \times 10^{-4}$		
Tijdens rem-actie	$3{,}1 \times 10^{-4}$		
Tijdens overtoeren	$<5{,}0 \times 10^{-6}$		

Uit de gegevens van zowel de database als uit de gegevens van de fabrikanten blijkt dat er geen aanleiding is de faalfrequentie voor bladbreuk aan te passen. Ook voor moderne windturbines kan dus gerekend worden met een faalfrequentie van $6{,}3 \cdot 10^{-4}$ per jaar voor bladbreuk.

In Tabel 10 wordt het voorstel weergegeven voor de faalfrequentie van bladbreuk.

Tabel 10: Faalfrequenties bladbreuk

Faalfrequenties bladbreuk per turbine per jaar		
	Handboek (2005)	DNV KEMA
	Verwachtingswaarde	Voorstel verwachtingswaarde
Bladbreuk	$6{,}3 \times 10^{-4}$	$6{,}3 \times 10^{-4}$
Normaal bedrijf	*$3{,}1 \times 10^{-4}$*	*$6{,}2 \times 10^{-4}$*
Tijdens rem-actie	*$3{,}1 \times 10^{-4}$*	*Nvt*
Tijdens overtoeren	*$<5{,}0 \times 10^{-6}$*	*$<5{,}0 \times 10^{-6}$*

CONCEPT

De gegevens doen vermoeden dat de faalfrequentie van bladbreuk bij normaal bedrijf bijna is verdubbeld. Dit is zeker niet het geval, in de DNV KEMA gegevens wordt geen onderscheid meer gemaakt tussen normaal bedrijf en remmen.

9.1.3.3 Mastbreuk

Mastbreuk vindt plaats doordat de mast in het onderste deel afbreekt dan wel bezwijkt. Bij bezwijken van de bovenste helft van de mast is sprake van knikken. Uit een kwalitatieve analyse van de Caithness Windfarm database blijkt dat in het merendeel van de gevallen (85%) volledig falen van de mast optreedt. In 15% van de gevallen is er sprake van knikken van het bovenste mastdeel. Door de sterkte van de mast, die gedimensioneerd is op basis van verwachte weersomstandigheden, blijkt dat bij knikken van de mast de rotor/gondel niet (direct) op de bodem zullen vallen. Dit scenario is daarmee niet relevant voor falen van gas- en elektriciteitsinfrastructuur.

Tabel 11: Faalfrequenties mastbreuk per jaar uit verschillende bronnen

Faalfrequenties windturbines			
	Handboek (2005)	Windkraftjournal	Caithness
	Verwachtingswaarde	Beperkte gegevens, totaal van Duitsland, Denemarken en Verenigd Koninkrijk	totaal van Duitsland, Denemarken en Verenigd Koninkrijk
Mastbreuk	$5{,}8 \times 10^{-5}$	$1{,}32 \times 10^{-5}$	$3{,}52 \times 10^{-5}$

De statistiek is gebaseerd op stalen masten. Er is te weinig betrouwbare faalinformatie bekend over windturbines met betonnen masten om enige statistiek op toe te passen.

De gevonden faalfrequenties zijn in lijn met de verwachtingswaarde voor mastbreuk uit het Handboek (2005). Ook voor moderne windturbines kan dus een faalkans van $5{,}8 \cdot 10^{-5}$ per jaar als verwachtingswaarde voor mastbreuk toegepast worden. Op basis van de verhouding in de Caithness Windfarm database, worden faalfrequenties voor respectievelijk volledig falen en knikken van het bovenste mastdeel afgeleid van $5{,}0 \cdot 10^{-5}$ per jaar en $8{,}3 \cdot 10^{-6}$ per jaar, zie Tabel 12:

Tabel 12: Faalfrequenties mastbreuk

Faalfrequenties windturbines per turbine per jaar		
	Handboek (2005)	DNV KEMA
	Verwachtingswaarde	Voorstel

CONCEPT

		verwachtingswaarde
Mastbreuk	$5{,}8 \times 10^{-5}$	$5{,}8 \times 10^{-5}$
Knikken van de Mast		$8{,}3 \times 10^{-6}$
Volledig falen		$5{,}0 \times 10^{-5}$

9.1.3.4 Gondel- en/of rotorafworp

De verwachtingswaarde die in het Handboek (2005) wordt weergegeven voor gondel- en rotorafworp betreft $2{,}0 \cdot 10^{-4}$ per turbine per jaar. Uit de faalgegevens van fabrikanten en uit de databases volgt een aanzienlijke lagere verwachtingswaarde. Tabel 13 biedt een overzicht van de faalfrequenties uit verschillende bronnen.

CONCEPT

Tabel 13: Faalfrequenties gondel- en rotorafworp uit verschillende bronnen per turbinejaar

Faalfrequenties windturbines per turbine per jaar			
	Handboek (2005)	Windkraftjournal	Caithness
	Verwachtingswaarde		
Afvallen van gondel en/of rotor	$2{,}0x10^{-4}$	0	$1{,}76x10^{-5}$

De faalfrequenties voor gondel/rotorbreuk, zoals blijkt uit Caithness database, is 10 keer lager dan in het Handboek (2005). Uit de gegevens van de fabrikanten en uit de Windkraft journals blijkt dat de verwachtingswaarde zelfs nihil is. De faalfrequentie kan worden vervangen door de (conservatieve) verwachtingswaarde van $1{,}8 \cdot 10^{-5}$ per jaar (zie Tabel 14).

Tabel 14: Faalfrequenties gondel en rotorbreuk

Faalfrequenties windturbines per turbine per jaar		
	Handboek (2005)	DNV KEMA
	Verwachtingswaarde	Voorstel verwachtingswaarde
Afvallen van gondel en/of rotor	$2{,}0x10^{-4}$	$1{,}8x10^{-5}$

9.1.3.5 Resultaat

Tabel 15 geeft concluderend de actuele faalfrequenties voor de drie faalscenario's, bladbreuk, mastbreuk en afworp gondel/rotor voor windturbines vanaf 1 MW tot en met 5 MW. DNV KEMA meent dat de faalstatistieken voldoende conservatisme bevatten om niet de 95% betrouwbaarheidspercentielen te hanteren, maar de verwachtingswaarde. Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft echter besloten dat ook voor de faalfrequenties van windturbines het 95% betrouwbaarheidspercentiel moet worden gehanteerd. Tabel 15 geeft de geactualiseerde faalfrequentie aan voor windturbines. De nieuwe rekenwaarde is gebaseerd op de 95% bovengrens.

Tabel 15: Overzicht van scenario's en faalfrequenties (per turbine per jaar)

Faalfrequenties windturbines per turbine per jaar		
	Verwachtingswaarde	95% betrouwbaarheidspercentiel
Bladbreuk	$6{,}3x10^{-4}$	$8{,}4x10^{-4}$
Normaal bedrijf	*$6{,}2x10^{-4}$*	*$8{,}4x10^{-4}$*
Tijdens overtoeren	*$<5{,}0x10^{-6}$*	*$5{,}0x10^{-6}$*
Mastbreuk	$5{,}8x10^{-5}$	$1{,}3x10^{-4}$
Falen gedeelte van de mast	*$8{,}3x10^{-6}$*	

CONCEPT

Volledig falen	*$5{,}0 \times 10^{-5}$*	
Afvallen van gondel en/of rotor	$1{,}8 \times 10^{-5}$	$4{,}0 \times 10^{-5}$

Voor bladbreuk wijzigen de faalfrequenties niet ten aanzien van het Handboek (2005), enkel de kans op bladbreuk bij verhoogd toerental tijdens remmen wordt niet meer beschouwd. Ook de faalfrequentie van mastbreuk blijft ongewijzigd. Hierbij is wel onderscheid gemaakt tussen volledig falen en knikken van het bovenste mastdeel. Uit de gegevens blijkt de kans op gondel- en/of rotorafworp beduidend lager te zijn, te weten een factor tien.

9.2 Generieke gegevens

9.2.1 Inleiding

Vaak komt het voor dat projectontwikkelaars in de beginfase van een project waarin de vergunningen aangevraagd worden, nog geen definitief besluit hebben genomen over het type turbine dat ze willen toepassen. Soms is alleen de maximaal toegestane masthoogte of de vermogensklasse bekend. Om in dit stadium toch een risicoanalyse te kunnen uitvoeren met als doel inzicht te verkrijgen in de mogelijkheden en de beperkingen ten gevolge van de optredende risico's, kan gebruik gemaakt worden van generieke windturbinegegevens.

De turbineparameters die van belang zijn voor de risicoanalyses, met name voor de trefkansberekening ten gevolge van bladbreuk zijn:

- ashoogte
- rotordiameter en lengte van het blad
- nominaal toerental
- ligging van het zwaartepunt van het blad
- bladoppervlak.

In de onderhavige versie van de handleiding zijn de bovenstaande parameters bepaald op basis van de hoofdkenmerken van 82 commercieel verkrijgbare windturbines in de range van 1 MW tot 5 MW (Paragraaf 7.2). Met deze parameters is een aantal analyses uitgevoerd op basis waarvan generieke conclusies zijn getrokken ten aanzien van de volgende aspecten:

- Maximale werpafstand bij bladbreuk als functie van het turbinevermogen en ashoogte.
- Ligging van de risicocontouren (PR = 10^{-5} per jaar en PR = 10^{-6} per jaar) voor bladbreuk, mastbreuk en vallende gondel of rotor als functie van het turbinevermogen en ashoogte.

CONCEPT

Dankzij de generieke conclusies kunnen gebruikers van het handboek in vele gevallen uitvoerig analysewerk achterwege laten. De generieke resultaten zijn geschikt om een eerste inschatting te maken van de optredende risico's en te beoordelen of en voor welk doel een risicoanalyse nodig is. Indien gewenst kan een risicoanalyse uitgevoerd worden die gebruik maakt van specifieke windturbinegegevens in plaats van generieke data.

In paragraaf 7.3 zijn generieke afstanden afgeleid voor de ligging van de risicocontouren PR = 10^{-5} per jaar en PR = 10^{-6} per jaar. De trefkans van objecten kunnen worden bepaald zoals beschreven in Hoofdstuk 2, 3 en 4. Het bepalen van de trefkans van leidingen staat beschreven in Hoofdstuk 5.

9.2.2 Turbineparameters als functie van het nominale vermogen

In Nederland worden drie windklassen onderscheiden. De hoofdparameters van de turbine zoals de diameter, ashoogte en rotortoerental zijn bij gelijkblijvend vermogen afhankelijk van de windklasse waarvoor de turbine is geoptimaliseerd. Het windklimaat in het binnenland is in overeenstemming met windklasse 3 (ook wel IEC klasse 3 genoemd). Het windklimaat op zee en op grote hoogte aan de kust komt overeen met windklasse 1 (IEC klasse 1). Turbines in het binnenland hebben over het algemeen een grotere diameter, een grotere ashoogte en een lager nominaal toerental. Voor het toepassen van generieke windturbinegegevens tijdens het uitvoeren van risicoanalyses zijn in deze bijlage turbines opgenomen die vallen in IEC klasse 1, 2, en 3.

De kenmerken van 82 commercieel verkrijgbare driebladige turbines zijn weergegeven in Tabel 18. Veel windturbine modellen zijn verkrijgbaar met verschillende ashoogtes. Door de grote variatie in ashoogtes waarin een individueel windturbine model kan worden uitgevoerd is er voor gekozen om in Tabel 18 de minimale en maximale ashoogte waarin de turbine uitgevoerd kan worden weer te geven.

Tabel 18: Hoofdparameter van commercieel verkrijgbare driebladige turbines met een vermogen in de range tot 5 MW. NB.: sommige gegevens ontbreken.

Turbine type	Vermogen [MW]	Diameter [m]	Toerental [RPM]	Masthoogte minimaal [m]	Masthoogte maximaal [m]
Leitwind LTW77-1000	1	77	18	65	*
Fuhrlander FL 1250/62	1,25	62	18,9	50	70
Acciona AW-70/1500	1,5	70	20,2	60	80
Acciona AW-77/1500	1,5	77	18,3	60	80
Acciona AW-82/1500	1,5	82	16,7	60	80
Fuhrlander FL 1500/70	1,5	70	22	65	100

CONCEPT

Fuhrlander FL 1500/77	1,5	77	19	65	100
Fuhrlander FL MD/70	1,5	70	21	65	114,5
Fuhrlander FL MD/77	1,5	77	19	61,5	114,5
Leitwind LTW77-1500	1,5	76,8	17,8	61,5	80
Leitwind LTW80-1500	1,5	80,3	17,8	60	100
Leitwind LTW86-1500	1,5	86	15,8	80	100
STX Windpower STX82 1.5 MW	1,5	82,7	17	65	101
Vensys 70	1,5	70	19	65	85
Vensys 77	1,5	77	17,3	61,5	100
Vensys 82	1,5	82,3	17,3	85	100
M Torres MT TWT 70/1650	1,65	70	17	71	
M Torres MT TWT 77/1650	1,65	77	20	71	81
M Torres MT TWT 82/1650	1,65	82	18	71	81
Alstom Power 80	1,67	80	18,4	80	*
Alstom Power 86	1,67	85,5	17,21	80	*
Leitwind LTW80-1800	1,8	80,3	17,8	60	80
Repower MM100	1,8	100	13,9	80	100
Vestas V90/1800	1,8	90	14,5	80	105
Dewind D8.2	2	80	18,6	80	*
Dewind D9	2	93	16	80	100
Dewind D9.1	2	93	16	80	100
Dewind D9.2	2	93	16,3	80	100
Enercon E82/2000	2	82	18	78	138
EWT Directwind 2000/90	2	90,5	15,75	85	105
Gamesa G80/2000	2	80	19	60	100
Gamesa G87/2000	2	87	19	67	100
Gamesa G90/2000	2	90	19	67	100
Gamesa G97/2000	2	97	17,8	78	120
Leitwind LTW70-2000	2	70	20,8	60	*
STX Windpower STX72	2	70	22,5	65	100
STX Windpower STX82 2.0	2	83	18,5	80	88
STX Windpower STX92 2.0	2	92	16,5	60	88
Vestas V80/2000	2	80	16,7	60	100
Vestas V90/2000	2	90	14,5	80	125
Eviag ev2.93	2,05	93	17,7	85	140
Repower MM82/2050	2,05	82	17,1	59	100
Repower MM92/2050	2,05	92	15	68,5	100
Avantis AV 1010	2,3	101	14,3	99	*
Enercon E70/2300	2,3	71	21,5	57	113

CONCEPT

Enercon E82/2300	2,3	82	18	78	138
Siemens SWT-2.3-82 VS	2,3	82	18	80	*
Siemens SWT-2.3-93	2,3	93	16	63,3	78,3
Siemens SWT-2.3-101	2,3	101	16	73,5	78,3
Siemens SWT-2.3-108	2,3	108	16	96	115
Siemens SWT-3.0-101	3	101	16	74,5	99,5
Siemens SWT-3.2-101	3,2	101	16	74,5	94
Siemens SWT-3.0-108	3	108	16	74,5	94
Siemens SWT-3.2-108	3,2	108	15,5	74,5	94
Siemens SWT-3.0-113	3	113	14,3	83,5	142,5
Siemens SWT-3.2-113	3,2	113	14,4	83,5	142,5
Siemens SWT-3.3-130	3,3	130	12,2	85	150
Siemens SWT-3.6-120	3,6	120	13,4	89,5	*
Siemens SWT-4.0-130	4	130	13,4	100	*
Nordex N117/2400	2,4	117	13,2	91	140
Avantis AV 928	2,5	93	16	80	*
Clipper Liberty C89	2,5	89	15,5	80	*
Clipper Liberty C93	2,5	93	15,5	80	*
Clipper Liberty C96	2,5	96	15,5	80	*
Eviag ev100	2,5	100	16,5	85	100
Eviag ev90	2,5	90	18,1	85	160
Fuhrlander FL 2500/100	2,5	100	17,1	85	160
Fuhrlander FL 2500/104	2,5	104	17,1	85	161
Fuhrlander FL 2500/90	2,5	90	18,1	85	160
M Torres MT TWT 100/2500	2,5	100	17	103	*
M Torres MT TWT 109/2500	2,5	109	17	103	*
M Torres MT TWT 90/2500	2,5	90	17	103	*
Nordex N100/2500	2,5	100	14,8	75	100
Nordex N80/2500	2,5	80	18,9	60	*
Nordex N90/2500	2,5	90	18,1	65	80
PowerWind 100	2,5	100	14	80	100
PowerWind 90	2,5	90	15,5	80	98
Vensys 100	2,5	100	14,5	100	*
Vensys 90	2,5	90	16	80	*
Vestas V100/2600	2,6	100	13,4	80	*
Acciona AW3000-100	3	100	14,2	100	120
Acciona AW3000-109	3	109	13,2	100	120
Acciona AW3000-116	3	116	12,3	100	120
Alstom Power 100	3	101	14,2	75	100
Alstom Power 110	3	110	13,6	75	101

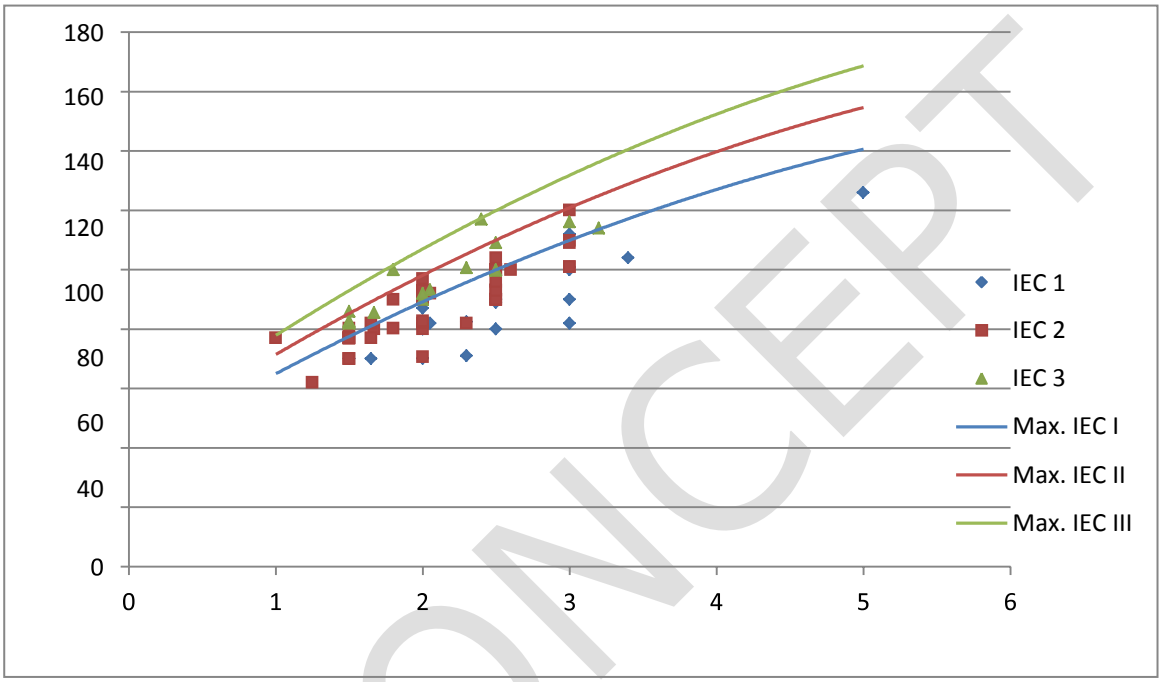
CONCEPT

Enercon E101/3000	3	101	14,5	99	135
Enercon E82/3000	3	82	18,5	78	138
Fuhrlander FL 3000/120	3	120	14,8	90	140
Leitwind LTW101-3000	3	101	14,5	97	*
Vestas V112/3000	3	112	12,8	84	94
Vestas V90/3000	3	90	16,1	65	80
Repower 3.2M114	3,2	114	12,1	93	123
Repower 3.4M104	3,4	104	13,8	90	128
Repower 5M	5	126	12,1	117	*

**gegevens ontbreken*

CONCEPT

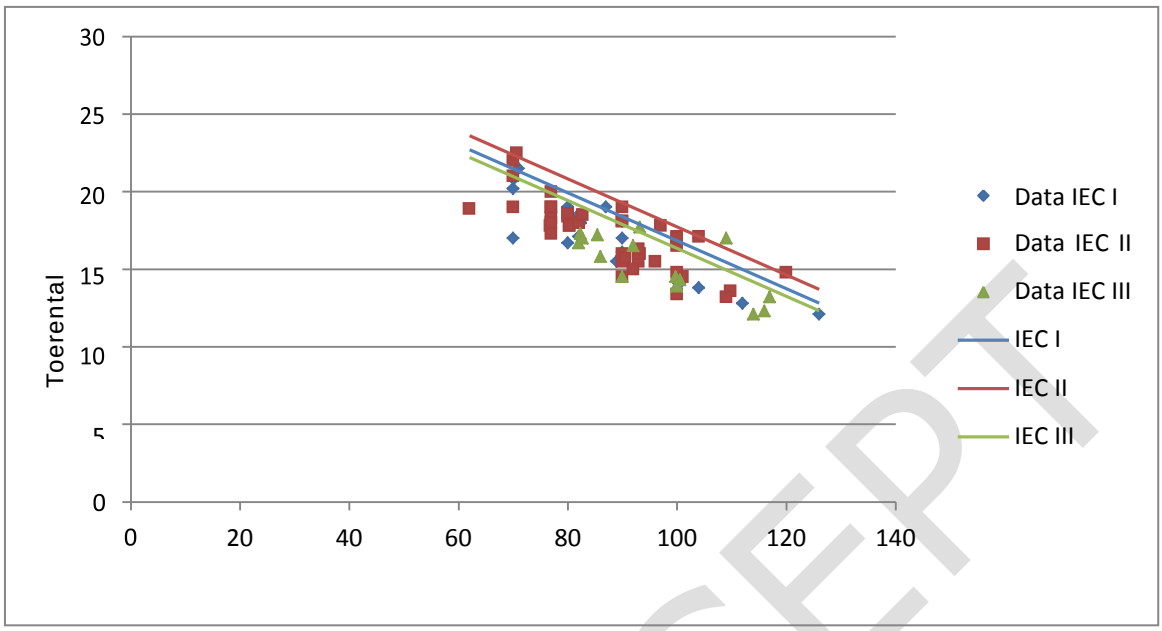
In Figuur 21 is de rotordiameter weergegeven als functie van het nominaal vermogen. De data punten zijn de turbine specifieke gegevens zoals deze in Tabel 18 staan beschreven. Naast de turbine specifieke data zijn er 3 functies weergegeven in Figuur 21. Deze functies geven de maximale waarden weer van de rotordiameter van turbine met een IEC 1, 2 en 3 klasse. Deze functies zijn bepaald door gebruik te maken van vergelijking 7.1 en de constante waardes zoals weergegeven in Tabel 19.



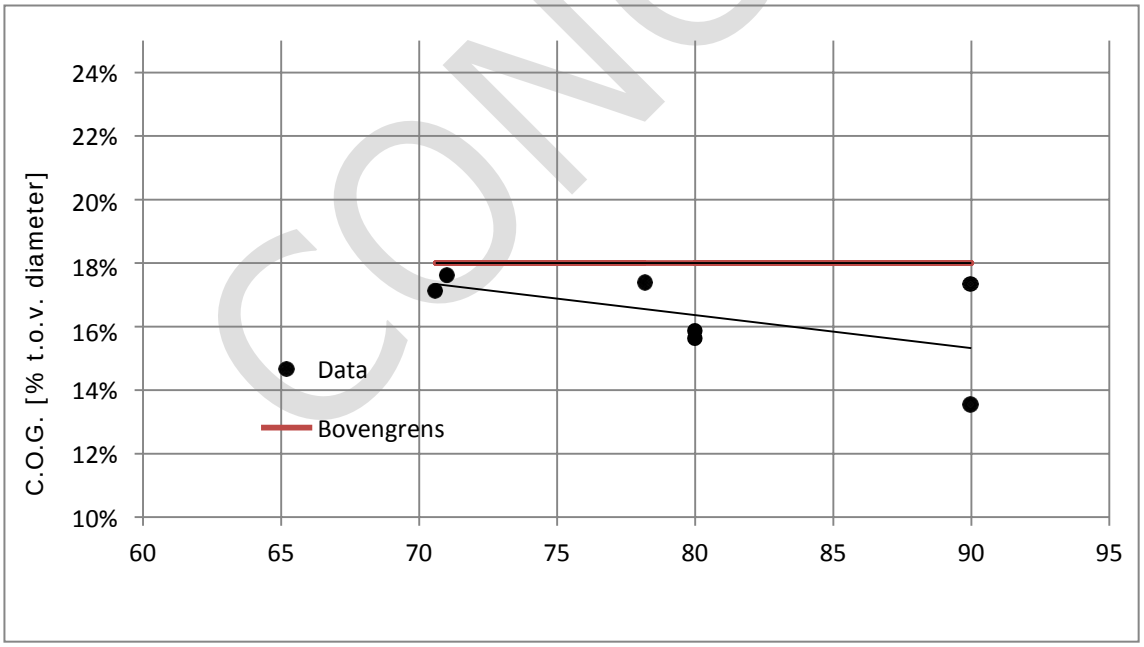
Figuur 21: Diameter als functie van het nominaal vermogen.

In Figuur 22 is het toerental als functie van de rotordiameter weergegeven. De datapunten zijn de turbine specifieke gegevens zoals deze in Tabel 18 zijn beschreven. Naast de turbine specifieke data zijn er 3 functies weergegeven in Figuur 22. Deze functies geven de maximale waarden weer van de rotordiameter van turbine met een IEC 1, 2 en 3 klasse. Deze functies zijn bepaald door gebruik te maken van vergelijking 7.2 en de constante waardes zoals weergegeven in Tabel 19.

CONCEPT



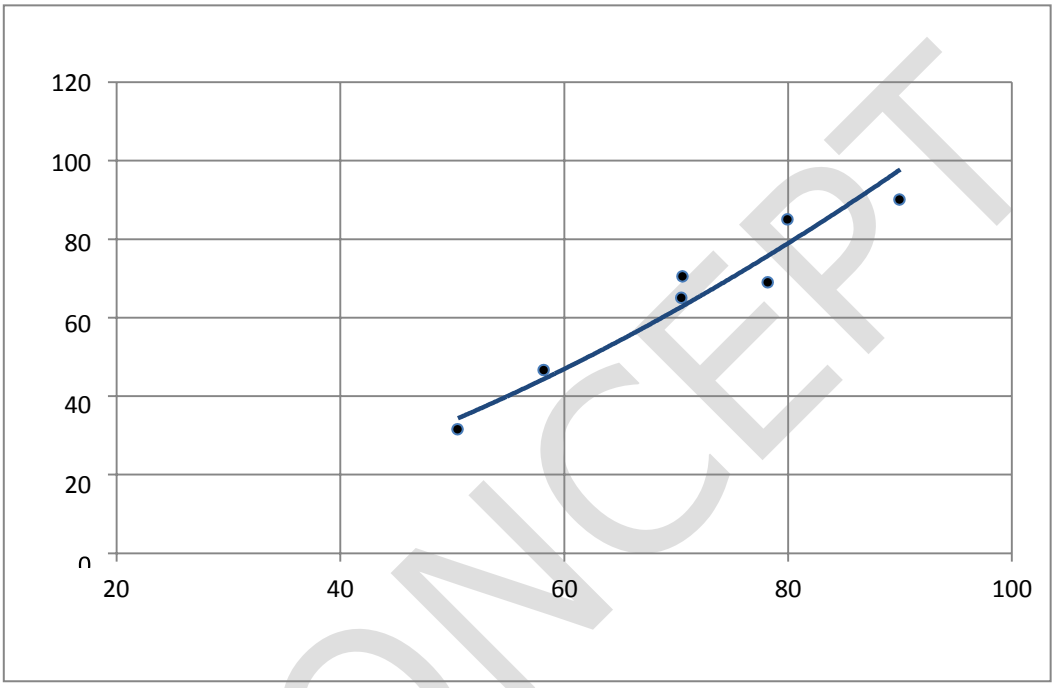
Figuur 22: Toerental als functie van rotordiameter



Figuur 23: Ligging van het zwaartepunt van een rotorblad als functie van de diameter

CONCEPT

Voor de parameters zwaartepunt van het blad en bladoppervlak van het blad zijn de kenmerken van een aantal turbinebladen geanalyseerd. De ligging van het zwaartepunt is in Figuur 23 gegeven als functie van de diameter. Het blijkt dat bij met name de grotere turbines de ligging van het zwaartepunt een grote spreiding vertoont. Als conservatieve waarde wordt de getoonde bovengrens van 18% van de rotordiameter aangehouden. Deze waarde is weergegeven met vergelijking 7.3 en de constante uit Tabel 19.



Het oppervlak van het blad is in Figuur 24 gegeven als functie van de diameter. Deze gegevens zijn gefit met vergelijking 7.4. De lengte van het blad kan worden berekend met vergelijking 7.5.

Figuur 24: Bladoppervlak als functie van de diameter

De vergelijkingen van boven beschreven parameters zijn gegeven in vergelijking 7.1 t/m 7.5. De bijbehorende constanten zijn gegeven in Tabel 19.

Bladoppervlak [m^2]

Diameter [m]

(7.1)

CONCEPT

Nominaal Toerental [rpm]

(7.2)

Zwaartepunt t.o.v. rotorcentrum [m]

(7.3)

Kritiek bladoppervlak [m^2]

(7.4)

Lengte blad [m]

(7.5)

Tabel 19: Constanten voor de vgl. 2.1 t/m 2.5 per IEC klasse

Constante	**IEC-3**	**IEC-2**	**IEC-1**
C1	2,4	2,2	2
C2	1250	1250	1250
C3	3,7	5,1	4,2
C4	0,18	0,18	0,18
C5	0,029	0,029	0,029
C6	1,81	1,81	1,81
C7	0,0132	0,0132	0,0132

9.2.3 Generieke risicocontouren

Met de paragraaf 7.2 berekende generieke windturbinegegevens en op basis van de faalgegevens in Hoofdstuk 6, de rekenmethode in Hoofdstuk 2 tot en met 4 (kogelbaanmodel), en de van toepassing zijnde risicocriteria zijn in dit hoofdstuk een aantal generieke resultaten en conclusies uitgewerkt.

Het gaat uitsluitend om 3-bladige turbines, geoptimaliseerd voor IEC klasse 1 en voor IEC klasse 2, met bladhoekverstelling (dus zonder remtippen), in de vermogensklasse van 1000 kW tot 5000 kW. De hoofdkenmerken zijn afgeleid uit de vergelijkingen 7.1 t/m 7.5 en

CONCEPT

gegeven in Tabel 20 en 21 voor IEC klasse 1 en 2 turbines respectievelijk.

Tabel 20: Hoofdkenmerken van generieke turbines (IEC klasse 1)

Turbine type	WT1000	WT2000	WT3000	WT4000	WT5000
Vermogen [kW]	1000	2000	3000	4000	5000
Diameter [m]	63	89	110	126	141
Afstand zwaartepunt afgebroken bladdeel tot rotor centrum [m]	11,4	16,1	19,7	22,8	25,5
Nominaal toerental	24,0	18,2	15,6	14,1	13,0
Lengte afgebroken bladdeel [m]	30,8	43,5	53,3	61,6	68,8
Kritiek bladoppervlak afgebroken bladdeel [m^2]	58	109	157	203	249

Tabel 21: Hoofdkenmerken van generieke turbines (IEC klasse 2)

Turbine type	WT1000	WT2000	WT3000	WT4000	WT5000
Vermogen [kW]	1000	2000	3000	4000	5000
Diameter [m]	70	98	120	139	156
Afstand zwaartepunt afgebroken bladdeel tot rotor centrum [m]	12,5	17,7	21,7	25,0	28,0
Nominaal toerental	23,1	17,8	15,5	14,1	13,1
Lengte afgebroken bladdeel [m]	33,9	47,9	58,7	67,7	75,7
Kritiek bladoppervlak afgebroken bladdeel [m^2]	69	129	186	242	296

In de analyses zijn de scenario's en faalkansen meegenomen zoals gegeven in Hoofdstuk 6.

Allereerst zijn de maximale werpafstanden bij bladbreuk berekend. De resultaten voor IEC klasse 1 windturbines zijn weergegeven in Tabel 22 en Figuur 25. Voor IEC 2 klasse turbines zijn de maximale werpafstanden weergegeven in Tabel 23 en Figuur 26. In zowel Figuur 25 als Figuur 26 zijn ook de maximale werpafstanden van bladen van de

CONCEPT

turbines uit Tabel 18 weergegeven. Door de conservatieve benadering van de generieke turbinegegevens liggen de turbine specifiek werpafstanden lager dan de generieke werpafstanden uit Tabel 22.

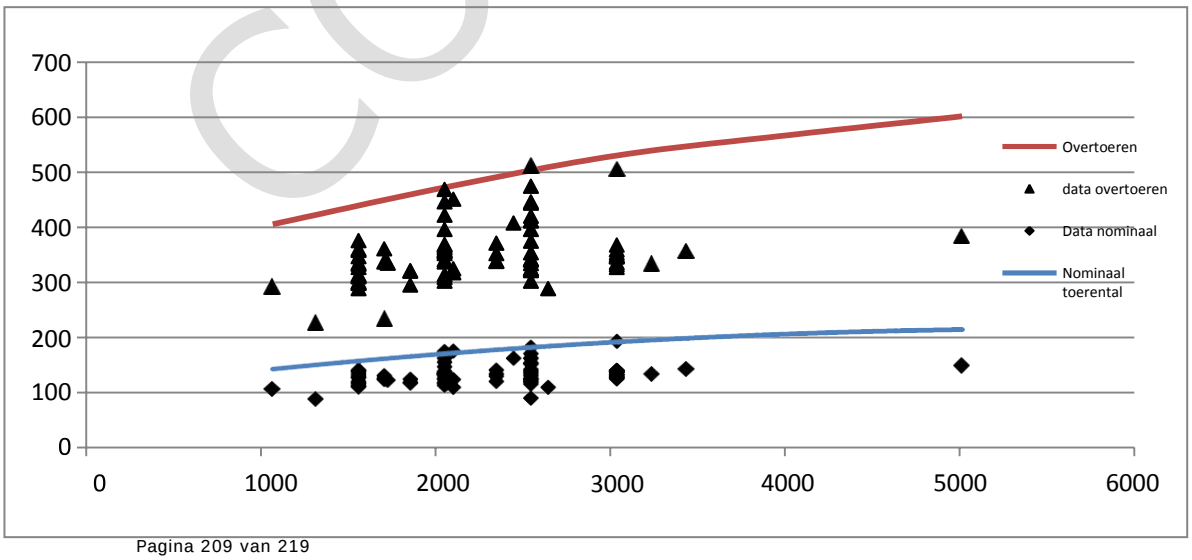
Tabel 22: Generieke waarden voor werpafstanden

IEC1

Turbine type	**WT1000**		**WT2000**		**WT3000**		**WT4000**		**WT5000**	
Vermogen [kW]	1000		2000		3000		4000		5000	
Ashoogte [m]	60	80	80	100	90	120	90	120	100	120
Max Werpafstand [m]										
Bij nominaal toerental	131	143	158	170	176	193	186	204	202	214
Bij overtoeren	389	406	457	473	507	531	543	568	585	602

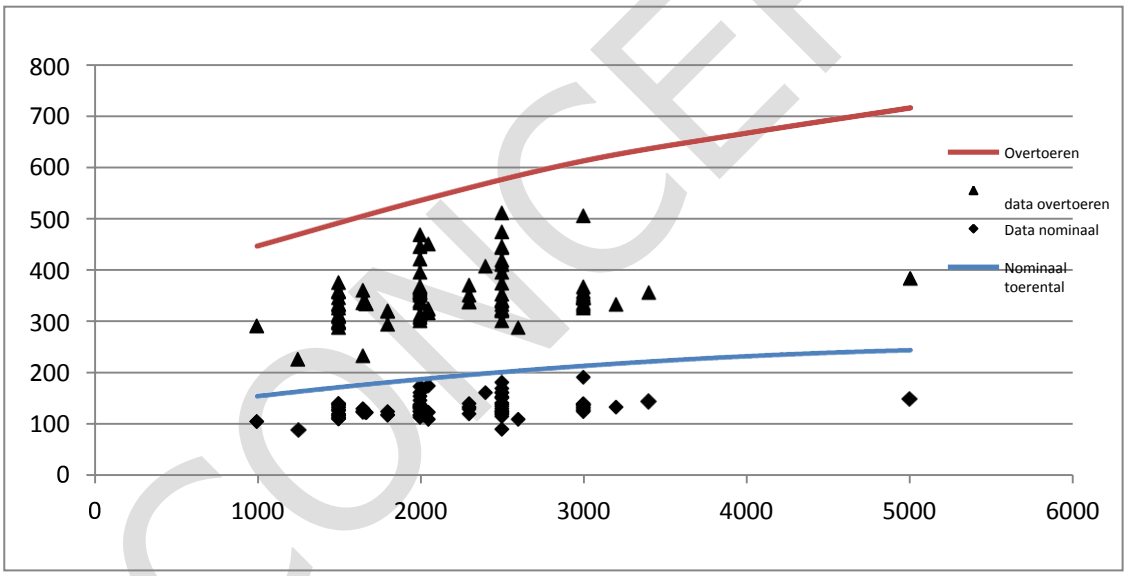
IEC2

Turbine type	**WT1000**		**WT2000**		**WT3000**		**WT4000**		**WT5000**	
Vermogen [kW]	1000		2000		3000		4000		5000	
Ashoogte [m]	60	80	80	100	90	120	90	120	100	120
Max Werpafstand [m]										
Bij nominaal toerental	142	155	175	187	198	216	213	231	233	245
Bij overtoeren	430	447	519	536	588	613	641	667	699	716



CONCEPT

Figuur 25: Maximale werpafstanden van bladen, per vermogensklasse (IEC I)



Figuur 26: Maximale werpafstanden van bladen, per vermogensklasse (IECII)

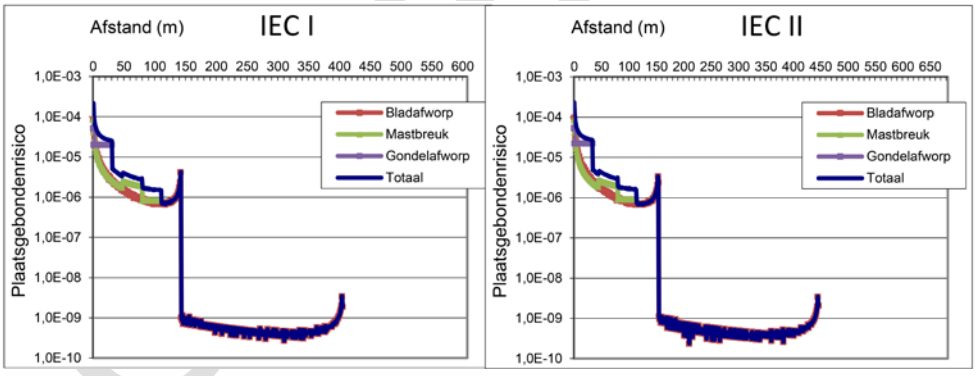
CONCEPT

Het risico van mastbreuk voor de omgeving beperkt zich tot een afstand die gelijk is aan de ashoogte plus de halve rotordiameter. Voor het naar beneden vallen van de gondel of rotor is deze afstand gelijk aan de halve diameter. Aanvullende turbinekenmerken voor het berekenen van het PR bij mastbreuk zijn gegeven in Tabel 23

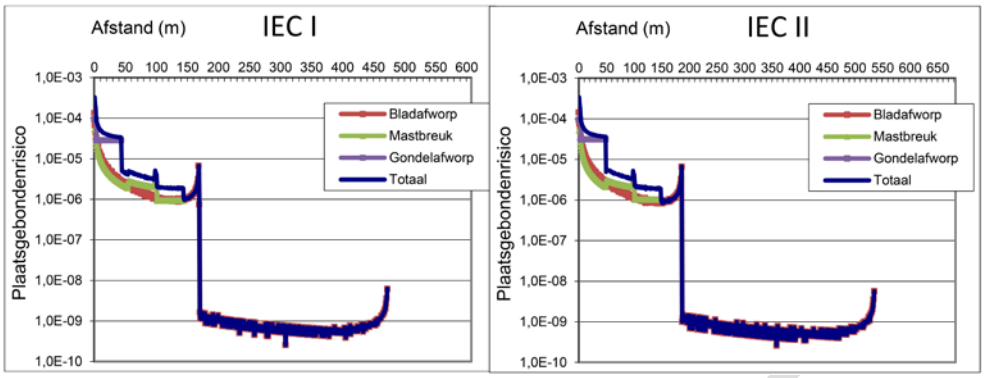
Tabel 23: Aanvullende generieke turbinekenmerken voor berekenen van het PR t.g.v. mastbreuk en gondelafworp

Turbine type	WT1000	WT2000	WT3000	WT4000	WT5000
Vermogen [kW]	1000	2000	3000	4000	5000
diameter mast [m]	4	5	5	7,5	10
Max lengte gondel [m]	5	10	15	17	18
Hoogte gondel [m]	2	4	5	5	6
solidity	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

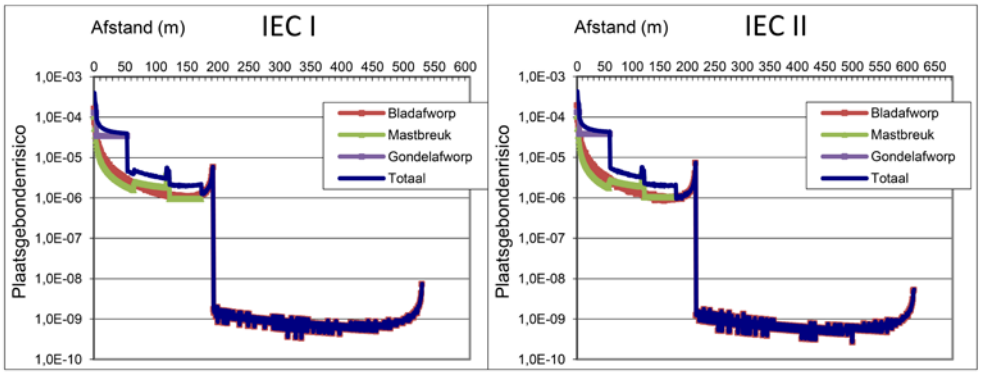
Op basis van de generieke gegevens van windturbines met een vermogen van 1000 kW, 2000 kW, 3000 kW, 4000 kW en 5000 kW en de faalfrequenties uit Tabel 5, is het PR berekend als functie van de afstand tot de turbine. Beschouwd zijn het falen van de bladen, de mast en de gondel of rotor afzonderlijk en het totale PR van deze drie faalmechanismen gezamenlijk. De resultaten zijn weergegeven voor zowel IEC klasse 1 als klasse 2 turbines in de Figuur 27 t/m Figuur 31.



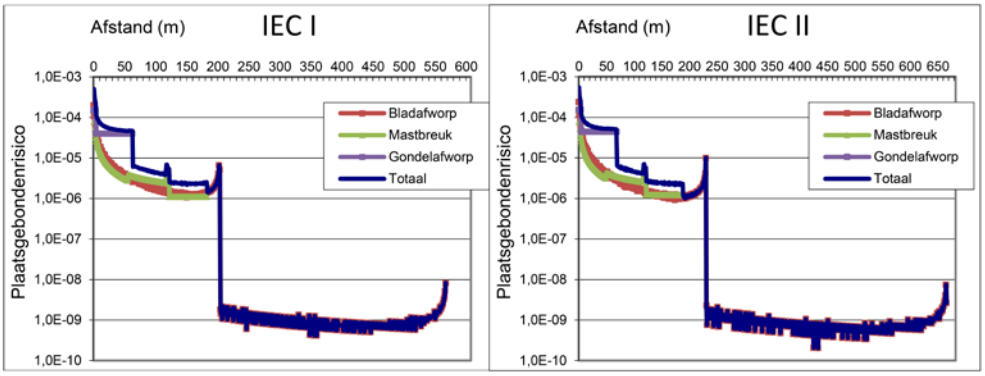
Figuur 27: PR als functie van de afstand tot de windturbine (1000 kW)



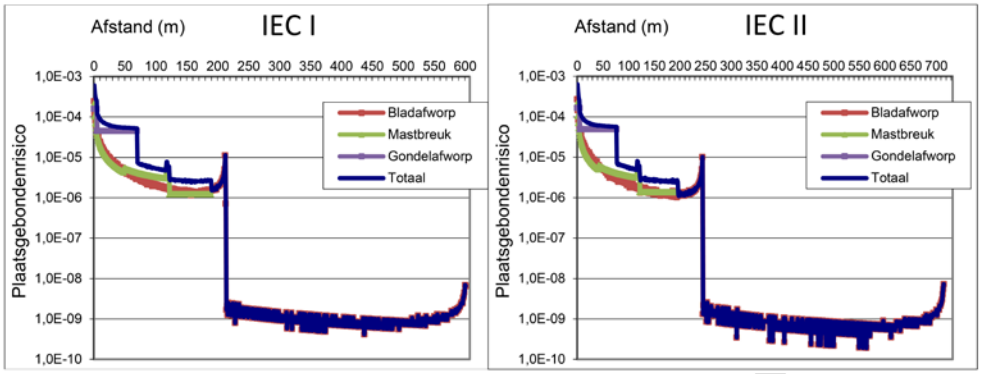
Figuur 28: PR als functie van de afstand tot de windturbine (2000 kW)



Figuur 29: PR als functie van de afstand tot de windturbine (3000 kW)



Figuur 30: PR als functie van de afstand tot de windturbine (4000 kW)



Figuur 31: PR als functie van de afstand tot de windturbine (5000 kW)

Zoals in Hoofdstuk 2 tot en met 4 is uiteengezet treden scherpe pieken op bij de maximale werpafstanden voor de gebeurtenissen 'normaal bedrijf' en 'overtoeren'. Deze zijn een gevolg van het gebruikte rekenmodel. Bij het kogelbaanmodel wordt er van uitgegaan dat het toerental voor de gebeurtenissen waarbij bladbreuk optreedt een constante waarde is. In werkelijkheid zal het toerental niet constant zijn, maar variëren met als gevolg dat de pieken zullen afvlakken.

Als generiek uitgangspunt voor een risicoanalyse kan worden gesteld dat de afstand van de PR = 10^{-6} contour tot de turbine gelijk is aan het maximum van ashoogte plus halve rotordiameter en de maximale werpafstand bij 'normaal bedrijf'.

Verder blijkt dat de afstand van de PR = 10^{-5} contour tot de turbine gelijk is aan de halve rotordiameter.
De volgende generieke conclusies kunnen worden getrokken:

1 de PR = 10^{-6} contour is gelijk aan het maximum van ashoogte plus halve rotordiameter en
maximale werpafstand bij nominaal rotortoerental
2 de PR = 10^{-5} contour is gelijk aan de halve rotordiameter

De waarden voor de verschillende vermogensklassen zijn gegeven in Tabel 24. Merk op dat deze generieke conclusies geldig zijn voor:

- driebladige turbines met een maximaal vermogen van 5000 kW
- met stalen mast
- met kunststof bladen (geen stalen bladwortel)
- gecertificeerde turbines.

CONCEPT

Tabel 24: Afstand [m] PR = 10^{-6} en PR = 10^{-5} contouren

IEC 1

Turbine type	**WT1000**		**WT2000**		**WT3000**		**WT4000**		**WT5000**	
Vermogen [kW]	1000		2000		3000		4000		5000	
Ashoogte [m]	60	80	80	100	90	120	90	120	100	120
PR = 10^{-6}	131	143	158	170	176	193	186	204	202	214
PR = 10^{-5}	32	32	45	45	55	55	63	63	71	71

IEC 2

Turbine type	**WT1000**		**WT2000**		**WT3000**		**WT4000**		**WT5000**	
Vermogen [kW]	1000		2000		3000		4000		5000	
Ashoogte [m]	60	80	80	100	90	120	90	120	100	120
PR = 10^{-6}	142	155	175	187	198	216	213	231	233	245
PR = 10^{-5}	35	35	49	49	60	60	70	70	78	78

9.2.4 Conclusies

De volgende generieke conclusies kunnen worden getrokken:

- de PR = 10^{-6} contour is gelijk aan het maximum van ashoogte plus halve rotordiameter en maximale werpafstand bij nominaal rotortoerental
- de PR = 10^{-5} contour is gelijk aan de halve rotordiameter.

De generieke windturbinegegevens zijn op conservatieve wijze bepaald, zodat er wezenlijke verschillen mogelijk zijn met een bepaald type windturbine uit dezelfde vermogensklasse. Er wordt dan ook aanbevolen om een risicoanalyse ten behoeve van de vergunningsaanvraag te baseren op specifieke windturbinegegevens in plaats van generieke data. De generieke resultaten zijn met name geschikt om een eerste inschatting te maken ten aanzien van de optredende risico's en zodoende te beoordelen of en voor welk doel een risicoanalyse nodig is.

CONCEPT

10 Referenties

[1] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 3. Guidelines for Quantitative Risk Assessment (‘Paarse boek’). Ministerie van VROM, 2005

[2] Commissie Preventie Rampen. Methoden voor het berekenen van fysische effecten, tweede druk. CPR 14 (“Gele Boek”). Voorburg: Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1988.

[3] Instrument Domino-effecten. www.rivm.nl

[4] P.A.M. Uijt de Haag, J.G. Post. Risicoanalyse brandstofpontons. RIVM rapport 610066013, 2001.

[5] Lees FP. Loss Prevention in the Process Industries. 4th edition. 2012.

[6] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1. Deel 1A en 1B. 2003.

[7] HSL. Review of HSE Building Ignition Criteria. HSL/2006/33.2006.

[8] WS Atkins Consultants Ltd WS Atkins Consultants Ltd. Effects of flashfires on building occupants. Prepared by for the Health and Safety Executive. Research Report 084. 2003.

[9] WS Atkins Consultants Ltd for the Health and Safety Executive. Thermal radiation criteria for vulnerable populations. Contract Research Report 285/2000. 2000.

[10] National Transportation Safety Board. Addendum (Reconsideration Request to: Texas Eastern Transmission Corporation Natural Gas Pipeline Explosion and Fire, Edison, New Jersey March 23, 1994. Washington, D.C. 20594. PAR-95- 01, adopted on 1/18/1995. PB95-916501.

[11] http://www.safety-sc.com/862_Gasramp%20Gellingen.pdf

[12] AVIV. Veiligheid Vervoer over de Weg. Eindrapport deelnota 1. Basisgegevens en kerncijfers zwaar verkeer, 1996.

[13] E.S. Kooi, M.B. Spoelstra, P.A.M Uijt de Haag. Evaluation of the Dutch QRA directives for storage and transportation of flammable liquids. RIVM rapport 620550001, 2010

[14] Untersuchung der versagensgrenzen eines mit Flussiggas gefullten Eisenbahnkesselwagens bei Unterfeuerung. Abschluszbericht van 13/9/99

[15] J.M. Ham, A.W.T. van Blanken. Invloed systeemreacties LPG-tankinstallatie op risico LPG-tankstation (ligging PR-contour). TNO rapprt R 2004/107, 2004

[16] KNMI. Klimaatatlas van Nederland – normaalperiode 1971 - 2000. Elmar B.V., Rijswijk, 2002. ISBN 90389 1191 2.

[17] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1. Methoden voor het bepalen van mogelijke schade (‘Groene boek’). Ministerie van VROM, 2005

[18] Hoek Loos IJmuiden. Veiligheidsrapport BRZO ’99, 2001.

[19] DNV. Veiligheidsrapportage LNG-installatie Maasvlakte, april 2003.

[20] Tebodin. Veiligheidsrapport Air Products Nederland B.V. locatie Rotterdam (Botlek), 2001.

CONCEPT

[21] A. Kruithof, K. Ham. Schadecriteria zuurstof en stikstof. TNO rapport R 2004/458, 2004 (vertrouwelijk).
[22] Regeling Externe Veiligheid Inrichtingen.
[23] http://www.rivm.nl/Onderwerpen/P/Probitrelaties
[24] http://www.rivm.nl/Onderwerpen/S/SAFETI_NL
[25] Atkinson, Adams. Ammonium nitrate: toxic fume risk from fires in storage. International Fertiliser Society Proceedings No. 496, 3 October 2002
[26] Vlaamse Overheid, Departement LNE, Afdeling Milieu, natuur- en energiebeleid, Dienst Veiligheidsrapportering, Handboek Faalfrequenties, 2009
[27] CBS Statistisch jaarboek 2001
[28] H. Kiiski. Self-sustaining decomposition of NPK fertilisers containing ammonium nitrate. The International Fertiliser Society Proceeding no 450
[29] K.D. Shah en D.C. Thompson. Safety aspects of blended and granulated compound fertilisers based on ammonium nitrate. International Fertiliser Society Proceedings No. 448, 6 april 2000
[30] Zuid Chemie B.V. Veiligheidsrapport, Sas van Gent, 2001
[31] RIVM, Handleiding Risicoberekeningen Bevi versie 3.3. http://www.rivm.nl/Documenten_en_publicaties/Professioneel_Praktisch/Richtlijnen/Milieu_Leefomgeving/Handleiding_Risicoberekeningen_Bevi
[32] Database FACTS. Selectie op 2-2-2002 met de zoektermen "ammonium nitrate (liquid)" or "ammonium nitrate (solid)" or "ammonium nitrate fertilizer"
[33] Richtlijn nr. 2003/2003/EEG van 13 oktober 2003. (Publicatieblad EG L 304)
[34] DSM Agro IJmuiden. Veiligheidsrapport deel 3 uitgave mei 2001
[35] Hydro Agri Sluiskil. Extern veiligheidsrapport
[36] Atkinson, Adams. Ammonium nitrate: toxic fume risk from fires in storage. International Fertiliser Society Proceedings No. 496, 3 October 2002.
[37] W.D. Adams. Paper 'The toxic effects from a fire involving ammonium nitrate' presented at the EU Workshop on Ammonium Nitrate, 30 January to 1 February 2002, Ispra, Italy.
[38] K.D. Shah. Safety of ammonium nitrate fertilisers. The International Fertiliser Society Proceeding no 384, 1996
[39] G.T. Atkinson. Further Results on Ammonium nitrate fires. Health & Safety Laboratory, Buxton, 2000
[40] Hadden 2009, Investigation of the fertilizer fire aboard the Ostedijk, Fire Safety Science 9: pp. 1091-1101
[41] RIVM , Aanpassing afstandentabel CPR-1 opslagen, brief kenmerk 209/07 CEV Rie/am-163 d.d. 6 augustus 2007

[42] RIVM, Aanpassing afstandentabel CPR-1 opslagen, brief kenmerk 209/07 CEV Rie/am-163 d.d. 6 augustus 2007

CONCEPT

[43] Publicatiereeks gevaarlijke stoffen 13: Ammoniak als koudemiddel in koelinstallaties en warmtepompen, 2009. Beschikbaar via http://www.publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/PGS13.html

[44] Brighton PWM. Pressure produced by instantaneous chlorine releases inside buildings, SRD/HSE/R467, 1989

[45] Uijt de Haag, PAM. Afstandentabel ammoniakkoelinstallaties, RIVM rapport 620100003, 2005

[46] RIVM, QRA berekening LPG-tankstations, versie 1.2, d.d. 16 augustus 2013.

[47] VVG en VROM, Convenant LPG-autogas, d.d. 22 juni 2005.

[48] RIVM, brief Consequenties van LPG studies voor PR en GR, kenmerk 210/06 CEV Mah/mva-10009, d.d . 26 juni 2006.

[49] RIVM, brief Onderbouwing van effectiviteit van hittewerende coating - Invloed coating op ligging van plaatsgebonden risicocontour, kenmerk 452/06 CEV Mah/sij-1329, d.d. 20 dec 2006.

[50] TNO, Onderzoek naar de faalfrequentie van propaanlosslangen, rapportnummer TNO-060-UT-2012-00594, d.d. 26 april 2012.

[51] RIVM, brief Reductie faalfrequenties propaanlosslangen en risicoafstanden, kenmerk 20130046 VLH JK SM fvds, d.d 20 februari 2013.

[52] TNO, Reductie BLEVE-frequentie van een LPG-tankauto op een autotankstation, rapportnummer 85-01237, d.d. 28 februari 1985.

[53] TNO, Kwantitatieve Risico-analyse generiek voor LPG-tankstations (Hoofdrapport), rapportnummer R2001/435a, 2001.

[54] RIVM, brief Afstandentabel propaanreservoir, kenmerk 263/06 CEV, d.d. 24 juli 2006.

[55] Ministerie van VROM - Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 15. Opslag van verpakte gevaarlijke stoffen, richtlijn voor brandveiligheid, arbeidsveiligheid en milieuveiligheid, 2005.

[56] Molag M. en Blom-Bruggeman J.M. Onderzoek naar de gevaren van de opslag van bestrijdingsmiddelen, , TNO rapport 90-424, september 1991.

[57] VROM. Risico-analyse methodiek CPR-15 bedrijven, 1997

[58] HSL. Failure Rate and Event Data for Use in Risk Assessment (FRED), issue 1, RAS/99/20, 1999 en HSL. New Failure Rates for Land Use Planning QRA Update RAS/00/22, 2000

[59] AMINAL. Richtlijn betreffende de aanpak van magazijnbranden in veiligheidsrapporten, Aminal 22 december 2004.

[60] Verslag CPR-RE vergadering van 18 september 2001

[61] Purser DA, The relationship of small scale toxicity test data to full scale fire hazard. Fire Research Station, UK 1991

[62] Noordende van 't. Voorkomen 1,5% stikstof in opslagvoorzieningen met gevaarlijke stoffen, Tebodin rapport 35898 d.d. 1 september 2006

[63] G. Laheij. Studie naar de gevormde hoeveelheid stikstofoxiden bij brand in opslagen van chemicaliën of bestrijdingsmiddelen, RIVM rapport 610066003, december 1995

CONCEPT

[64] A. Matthijsen. Omzettingspercentage van stikstofhoudende verbindingen naar NOx en HCN bij brand, RIVM notitie d.d. 25 juli 2007 (kenmerk 191/07 CEV Rie/sij – 1145)
[65] Atkinson GT, Jagger SF. Exposure of organophosphorus pesticides to turbulent diffusion flames, J. Loss Prev. Process Ind. Vol 5, No 5 (1992) p271-277.
[66] Atkinson GT, Jagger SF. Assessment of hazards from warehouse fires involving toxic materials, Fire Safety Journal Vol 22 (1994) p107-123
[67] Atkinson GT, Jagger SF et al. Plume Seeding Mechanisms in Warehouse Fires, EC Industrial Fires workhop, Cadarche May 17-18th 1994.
[68] HSE. Safety Report Assessment Guide: Chemical Warehouses – Hazards, HSE version 6 June 26th 2002 (http://www.hse.gov.uk/comah/sragcwh/index.htm).
[69] D. Riedstra. Consequentieonderzoek rekenmethodiek PGS15 bedrijven, RIVM notitie d.d. 15 april 2008
[70] PGS 1 Methoden voor het bepalen van mogelijke schade.
[71] RIVM, Concept rekenmethode voor inrichtingen met cyanidehoudende baden. Versie 7 augustus 2009.
[72] Ministerie van VROM. Externe Veiligheid bij galvaniseren - een onderzoek van de VROM-Inspectie naar de externe veiligheid bij galvaniseerbedrijven. Artikelcode 5059. 2005
[73] RIVM. Notitie “Externe Veiligheid van chroom(VI)zuurbaden/-opslagen. Versie 4 februari 2008.
[74] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley & Sons. 2009.
[75] Picinini, N. et al. Risk of hydrocyanic acid release in the electroplating industry, Journal of Hazardous Materials 71 (2000) p. 395-407.
[76] AVIV en Royal Haskoning, 1994. Risico-analyse stuwadoorsbedrijven. Rapport nr. 9331
[77] AVIV, 2010. Incidenten met containers bij stuwadoorsbedrijven. Rapport nr.071183 gedateerd 30 maart 2010
[78] VROM, 2005. Guidelines for quantitative risk assessment. PGS 3.
[79] Staatstoezicht op de Mijnen. Interim handleiding risicoberekeningen. Versie 1.0. 2010. Brief van dhr. ir. M. van Pinxteren (SodM) d.d. 2 juli 2010. Kenmerk 10097961.
[80] Verordening (EG) Nr. 1272/2008 Van het Europees Parlement en de Raad van 16 december 2008 betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels tot wijziging en intrekking van de Richtlijnen 67/548/EEG en 1999/45/EG en tot Wijziging van Verordening (EG) nr. 1907/2006.
[81] B.J. Lowesmith, G. Hankinson, M.R. Acton and G. Chamberlain. An overview of the nature of hydrocarbon jet fire hazards in the oil and gas industry and a simplified approach to assessing the hazards. Process Safety and Environmental Protection. Volume 83. Issue 3 (pp 207-220). 2007.

CONCEPT

[82] N.E. Burke, C.K. Chea, R.D. Hobbs and H.T. Tran. Extended analysis of live reservoir oils by gas chromotography. Proceedings of the SPE International Symposium of Oilfield Chemistry in 1991. 1991.
[83] RIVM. Evaluation of the Dutch QRA directives for storage and transportation of flammable liquids. Report 620550001. 2010.
[84] RIVM. On-site natural gas piping: scenarios and failure frequencies. Report 620550004. 2011.
[85] RIVM, brief Afstandentabel propaanreservoir, kenmerk 263/06 CEV, d.d. 24 juli 2006.
[86] G. Hankinson, B.J. Lowesmith, J.A. Evans and L.C. Shirvill. Jet fires involving releases of crude oil, gas and water. Process Safety and Environmental Protection. Volume 83. Issue 3 (pp 221-229). 2007.
[87] RIVM. Protocol aanpassing rekenmethodieken externe veiligheid. Rapport 620550009. 2012.
[88] SCANDPOWER. Blowout and well release frequencies – based on SINTEF offshore blowout database (2007). Kenmerk 80.005.003/2008/R3. 2008.
[89] P. Holand. Offshore blowouts – causes and control. Gulf Professional Publishing. ISBN: 978-0-88415-514-0. 1997.
[90] HSE. Offshore hydrocarbon releases - statistics 1999. OTO 1999 079. 2000.
[91] Ministerie van VROM. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen – Deel 6: Aanwijzingen voor implementatie van Brzo 1999. 2006.
[92] RIVM memorandum. Recommended failure rates for pumps and compressors (beschikbaar op aanvraag).
[93] LNE. Handboek uitstroomfrequenties 2009 – voor het opstellen van een veiligheidsrapport.2009.
[94] N.V. Nederlandse Gasunie. Risicoanalyse aardgastransportleidingen. DEI 2008.R.0939. 2008.
[95] Energy Institute. Ignition probability review, model development and look-up correlations. IP research report. 2006.
[96] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Protocol voor aanpassing van de rekenmethodieken risicoanalyse, 2012

CONCEPT