

Rekenmethode voor de externe veiligheid van mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen

Beschrijving rekenmethode	
Label	Rekenmethode voor de externe veiligheid van mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen d.d. 18 november 2014
Status	Vastgesteld door de directeur van de Directie Veiligheid en Risico's van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, en vooraf geaccepteerd door inhoudelijke deskundigen.
Verspreiding	Actief naar alle partijen die betrokken kunnen zijn bij risicoberekeningen voor mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen.
Disclaimer	Dit document beschrijft de rekenmethode voor de externe-veiligheidsrisico's van mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen. Deze rekenmethode is tot stand gekomen na overleg met inhoudelijk deskundigen. Deze rekenmethode is vastgesteld door de directeur IenM-V&R en zal in de Handleiding Risicoberekeningen Bevi versie 3.3 worden opgenomen zodra mijnbouwwerken zijn aangewezen in de Revi. Wij bevelen aan bij het uitvoeren van een QRA rekening te houden met de uitgangspunten van deze rekenmethode, ter voorkoming van knel- of aandachtspunten na aanwijzing van de rekenmethode.

10.	MIJNBOUWERKEN EN GASTRANSPORTINRICHTINGEN	4
10.1	INLEIDING REKENMETHODE MIJNBOUWERKEN EN GASTRANSPORTINRICHTINGEN	5
10.2	ALGEMENE UITGANGSPUNTEN	5
10.2.1	Inrichtingsgrens	5
10.2.2	Mengsels en voorbeeldstoffen	5
10.2.2.1	Toxiciteit en ontvlambaarheid	5
10.2.2.2	Voorbeeldstoffen voor ontvlambare mengsels	6
10.2.3	Voorwaarden voor het gebruik van de standaard uitstroomfrequenties	6
10.2.4	Additionele faaloorzaken	6
10.2.4.1	Runaway reacties	6
10.2.4.2	Externe beschadiging	6
10.2.4.3	Interne domino-effecten	7
10.2.4.4	Uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden	8
10.2.4.5	Moedwillige verstoring	8
10.2.5	Boringen	8
10.2.6	Insluitsystemen die buiten beschouwing mogen worden gelaten	8
10.2.7	Afkapgrens	8
10.2.8	Maatregelen en systeemreacties	9
10.2.9	Nalevering	9
10.2.10	Rapportageplicht	9
10.2.11	Installatieonderdelen, uitstroomscenario's en uitstroomfrequenties	10
10.3	GAS- EN OLIEPUTTEN	10
10.3.1	Definitie	10
10.3.2	Kenmerken	10
10.3.3	Uitstroomscenario's en - frequenties	11
10.3.3.1	Gasputten	11
10.3.3.2	Olieputten	12
10.4	LEIDINGEN	12
10.4.1	Definitie	12
10.4.2	Kenmerken	12
10.4.3	Uitstroomscenario's en -frequenties	12
10.4.3.1	Procesleidingen	12
10.4.3.2	Flexibele leidingen	12
10.4.3.3	Hogedruk gastransportleidingen	13
10.5	SEPARATOREN	13
10.5.1	Definitie	13
10.5.2	Kenmerken	13
10.5.3	Uitstroomscenario's en -frequenties	14
10.5.3.1	Vloeistofvangsers	14
10.5.3.2	Slokkenvangers	14
10.5.3.3	Gaswassers (inclusief adsorbers)	15
10.5.3.4	Filterseparatoren	15
10.5.3.5	Centrifugaalseparatoren	16
10.6	POMPEN EN COMPRESSOREN	16
10.6.1	Definitie	16
10.6.2	Kenmerken	16
10.6.3	Uitstroomscenario's en -frequenties	16
10.6.3.1	Verdringerpompen	17
10.6.3.2	Centrifugaalpompen	17
10.6.3.3	Verdringercompressoren	17
10.6.3.4	Centrifugaalcompressoren	17
10.6.3.5	Hogedruk centrifugaalcompressoren in gasleidingen	17
10.7	WARMTEWISSELAARS	17
10.7.1	Definitie	18
10.7.2	Kenmerken	18
10.7.3	Uitstroomscenario's en -frequenties	18
10.7.3.1	Koelerbanken	18
10.8	EFFECTMODELLERING	18
10.8.1	Uitstroomrichting	18
10.8.2	Afwijkende effectmodellering ten opzichte van Module B	18
10.8.2.1	Maatwerk voor snelsluitende kleppen	19

10.8.2.2	Vervolgeffecten	19
10.8.2.3	Kans op ontsteking	19
10.8.2.4	Aantal jets	20
10.8.2.5	Invloed van inbloksystemen	20
10.8.3	Blowout en lekkage van de put	20
10.9	INVOER VAN SCENARIO'S IN SAFETI-NL 6.54	21
10.9.1	Lek van de leiding en 10 mm lek	21
10.9.2	Vrijkomen van de inhoud van een installatie-onderdeel in tien minuten	21
10.9.3	Leidingbreuk en instantaan falen	21
10.9.4	Vereenvoudigde invoermethode voor leidingbreuk en instantaan falen	22
10.9.4.1	Inrichting verbonden met één inkomende leiding en één uitgaande leiding	22
10.9.4.2	Inrichting verbonden met meerdere inkomende en uitgaande leidingen	25
10.9.4.3	Inrichting verbonden met doorgaande leidingen	26
10.9.4.4	Inrichting met aftakleidingen naar doorgaande transportleidingen	27
10.9.4.5	Puttenlocatie	28
10.9.5	Ingeblokte installatieonderdelen	29
10.9.6	Blowout van de put tijdens productie of injectie	29
10.9.7	Blowout van de put tijdens onderhoudswerkzaamheden	30
10.9.8	Lekkage vanuit de put	30
10.10	VOORBEELDBEREKENING	30
10.10.1	Te hanteren uitstroomscenario's en -frequenties	31
10.10.2	Gebruik vereenvoudigde invoermethode	33
10.10.3	Effectmodellering	34
10.10.4	Uitkomsten	35
12.	BIJLAGE VERANTWOORDING	39
12.5	HOOFDSTUK 10 MIJNBOUWWERKEN EN GASTRANSPORTINRICHTINGEN	39
	REFERENTIES	74

10. Mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen

Lijst met afkortingen

Bevi	Besluit externe veiligheid inrichtingen
Bevb	Besluit externe veiligheid buisleidingen
Brzo	Besluit risico's zware ongevallen
CBOP	Casing blowout potential
CITHP	Closed-in tubing head pressure.
FBHP	Flowing bottom hole pressure
IeM	Het ministerie van Infrastructuur en Milieu
LoC	Loss of containment
Revi	Regeling externe veiligheid inrichtingen
NOGEPA	Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
TBOP	Tubing blowout potential

Begrippenlijst

Begrip	Omschrijving
Blowout	Een ongeplande en ongehinderde uitstroming van olie en/of gas vanuit de put ter hoogte van de putmond ('well head').
Casing	De buitenste leiding in een put.
Casing blowout potential	Hoeveelheid gas (debiet) die vrijkomt als de blowout preventor faalt en het gas ongehinderd uitstroomt vanuit de casing.
Closed-in tubing head pressure	Druk die boven in de put (ter hoogte van de 'upper master gate valve') heerst als de production valve en/of de master gate valves lange tijd gesloten zijn (limietwaarde).
Coiled-tubing	Putonderhoud waarbij een flexibele leiding vanaf een spoel in de tubing wordt aangebracht (met als doel chemicaliën te kunnen toevoegen aan de put). De 'production wing valve' die de put verbindt met de bovengrondse installatie is gesloten. De put zelf is gevuld met winningsproduct (aardgas/aardolie).
Completion	Laatste fase in het proces waarbij de put gereedgemaakt wordt voor productie.
Flowing bottom hole pressure	Druk die onderin de put (ter hoogte van de 'bottom hole valve') heerst tijdens regulier gebruik (productie of injectie).
Gastransport-inrichting	Inrichting bestemd voor het transport en de distributie van aardgas.
Mijnbouwwerk	Mijnbouwwerk als bedoeld in artikel 1, onderdeel n, van de Mijnbouwwet, bestemd voor de winning, opslag, bewerking en het gereedmaken voor transport van gevaarlijke stoffen, dat tevens een inrichting is op grond van de Wet milieubeheer, met uitzondering van mijnbouwinstallaties als bedoeld in artikel 1, onderdeel o, van de Mijnbouwwet.
Offgas	Verzamelnaam voor verschillende typen residugassen.
Snubbing	Putonderhoud waarbij onderdelen in de put worden gebracht door het tijdelijk verhogen van de druk bovenin de put. Deze techniek wordt naar verluidt niet in Nederland toegepast.
Tubing	De binnenste leiding in een put en tevens het deel waardoor de olie en/of het gas stroomt.
Tubing blowout potential	Hoeveelheid gas (debiet) die vrijkomt als de blowout preventor faalt en het gas ongehinderd uitstroomt vanuit de tubing.
Wireline	Putonderhoud waarbij onderdelen met behulp van een kabel in de put worden gebracht of uit de put worden verwijderd. De 'production wing valve' die de put verbindt met de bovengrondse installatie is gesloten. De put zelf is gevuld met winningsproduct (aardgas/aardolie).
Workover	Grootschalig onderhoud aan de put waarbij (doorgaans) delen van de tubing, verbindingstukken of andere leidingstukken worden vervangen. De 'production wing valve' die de put verbindt met de bovengrondse installatie (zie Figuur 10-1) is gesloten. De put zelf is ontdaan van winningsproduct.

10.1 Inleiding rekenmethode mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen

In dit hoofdstuk wordt de rekenmethode voor de externe veiligheid van mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen beschreven. De rekenmethode is alleen van toepassing op risicoberekeningen in het kader van het externe-veiligheidsbeleid dat is vastgelegd in het Bevi.

De berekeningen moeten worden uitgevoerd met het rekenpakket SAFETI-NL. De rekenmethode is een uitwerking van de in het Bevi gespecificeerde normen en daarmee heeft een berekende 10^{-6} contour consequenties voor de ruimtelijke omgeving. Om saneringssituaties te voorkomen, moet ook de bronkant van deze 10^{-6} contour via de Wet milieubeheer geborgd zijn. Een "Bevi-QRA" moet dus zoveel mogelijk uitgaan van de vergunde situatie en maximaal optredende drukken.

De rekenmethode is van toepassing op de volgende typen inrichtingen:

- Brzo-plichtige mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen. Deze zijn aangewezen via artikel 2.1, onderdeel a, van het Bevi.
- Inrichtingen waar aardgasdruk gereduceerd wordt of aardgashoeveelheid gemeten wordt, voor zover de gastoevoerleiding een grotere diameter heeft dan 20 inch. Deze zijn aangewezen via artikel 1b, onderdeel g, van de Revi.
- Mijnbouwwerken die in 2015 worden aangewezen via artikel 1b, onderdeel h, van de Revi.

De volgende activiteiten vallen binnen het toepassingsgebied van de rekenmethode:

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

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

Dit hoofdstuk is een aanvulling op de algemene uitgangspunten die beschreven zijn in Module B. Daar waar relevant zijn verwijzingen opgenomen naar de betreffende paragrafen van Module B.

10.2 Algemene uitgangspunten

10.2.1 Inrichtingsgrens

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

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

10.2.2 Mengsels en voorbeeldstoffen

Voor mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen zijn de belangrijkste producten:

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

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

10.2.2.1 Toxiciteit en ontvlambaarheid

Mengsels van aardgas en (aardgas)condensaat met minder dan 4,3 vol% toxische stoffen worden ingedeeld als alleen ontvlambaar. Voor mengsels met 4,3 vol% toxische stoffen of meer

moet op basis van de uitstroomcondities en de compositie van het mengsel worden afgewogen of toxische effecten relevant zijn voor het plaatsgebonden risico en/of het groepsrisico. De opsteller van de QRA dient een onderbouwing te geven van de gekozen risicomodellering. Aanbevolen wordt om de keuze voor de modelstof af te stemmen met de Helpdesk SAFETI-NL.

10.2.2.2 Voorbeeldstoffen voor ontvlambare mengsels

Pure componenten worden als zodanig ingevoerd in SAFETI-NL. Voor ontvlambare mengsels worden de gevaarscategorieën van Tabel 10-1 en de bijbehorende voorbeeldstoffen gebruikt. Voor ongestabiliseerde mengsels en voor gestabiliseerde mengsels categorie 1 is geen voorbeeldstof gedefinieerd. Voor deze mengsels moet de opsteller van de QRA zelf met een onderbouwd voorstel voor de risicoberekening komen. Aanbevolen wordt om de keuze voor de modelstof af te stemmen met de Helpdesk SAFETI-NL.

Tabel 10-1 Voorbeeldstoffen voor ontvlambare mengsels

Klasse	Definitie	Voorbeeldstof
Aardgas	Mengsel van hoofdzakelijk methaan en andere gasvormige producten met minder dan 80 m ³ condensaat per miljoen Nm ³ gas	Methaan
Ongestabiliseerde mengsels	Alle ontvlambare mengsels die meer dan 80 m ³ (aardgas)condensaat bevatten per miljoen Nm ³ gas, niet zijnde gestabiliseerde mengsels.	
Gestabiliseerde mengsels categorie 1	Mengsels met een vlampunt kleiner dan 23°C en een kookpunt ^a kleiner of gelijk aan 35°C.	
Gestabiliseerde mengsels categorie 2	Mengsels met een vlampunt kleiner dan 23°C en een kookpunt ^a groter dan 35°C.	n-Hexaan
Gestabiliseerde mengsels categorie 3	Mengsels met een vlampunt groter of gelijk aan 23°C en kleiner of gelijk aan 60°C.	n-Nonaan

10.2.3 Voorwaarden voor het gebruik van de standaard uitstroomfrequenties

Uitgangspunt voor de toepassing van de standaard uitstroomfrequenties in een QRA is dat het bedrijf voldoet aan de standaarden voor een goede bedrijfsvoering. Dit betekent onder andere dat het beleid ten aanzien van de beheersing van de risico's voldoet aan de eisen en dat er voldoende maatregelen zijn genomen tegen alle voorziene faalmechanismen. Zie ook paragraaf 3.2.3. In paragraaf 10.2.4 is beschreven welke additionele faaloorzaken beschouwd moeten worden. Voor het eventueel afwijken van de standaard uitstroomfrequenties is paragraaf 3.2.4 van toepassing.

10.2.4 Additionele faaloorzaken

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

10.2.4.1 Runaway reacties

Met betrekking tot de uitstroomfrequenties wordt verondersteld dat er geen runaway reacties mogelijk zijn. Als er wel runaway reacties mogelijk zijn, dan moeten daarvoor de uitgangspunten van paragraaf 3.2.1 worden aangehouden.

10.2.4.2 Externe beschadiging

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

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

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

Voor externe beschadiging door activiteiten van buiten de inrichting worden alleen vliegtuigen en windturbines beschouwd. Zie daarvoor paragraaf 3.2.2.

10.2.4.3 Interne domino-effecten

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

1. Interne domino-effecten worden *niet* additioneel in rekening gebracht:
 - a. voor delen van de inrichting waar een werkend brand- en gasdetectiesysteem aanwezig is;
 - b. voor delen van de inrichting waar ontwerpmaatregelen genomen zijn die domino-effecten als gevolg van een flenslekkage voorkomen;
 - c. voor ondergrondse gelegen (ontvangende) leidingen.
2. Indien op basis van punt 1 interne domino-effecten als gevolg van flenslekkages niet kunnen worden uitgesloten, moet worden bekeken hoeveel flenzen de naburige systemen bevatten. Voor een relevante bijdrage (> 10%) aan de uitstroombrequentie moet het aantal flenzen in naburige systemen groter zijn dan $0,6 \times$ de lengte van het ontvangende leidingdeel in meters. De bijdrage van domino-effecten is dan relevant en moet verder worden onderzocht (zie punt 3).
3. Indien uit punt 2 blijkt dat de bijdrage van domino-effecten niet zonder meer verwaarloosbaar is, moet de kans op een domino-effect in detail worden bepaald. Daarbij gelden de volgende uitgangspunten:
 - a. Een flenslekkage kan alleen een domino-effect geven op naastgelegen leidingen en installatie-onderdelen. Verder gelegen leidingen en installatie-onderdelen worden beschermd door de tussenliggende leidingen en installatie-onderdelen.
 - b. Alle flenzen in naastgelegen systemen, ook die bijhorend bij bijvoorbeeld een vat, worden meegenomen in de beschouwing. Overige uitstroombesluitingen (zoals lekkage vanuit een vat) worden niet meegenomen.
 - c. Een flenslekkage vanuit een naburig systeem kan alleen leiden tot een domino-effect als de warmtestraling ter plaatse van de ontvangende leiding op enig punt groter is (of kan zijn) dan 35 kW/m^2 . Deze effectafstanden kunnen worden afgelezen uit Tabel 10-2. Voor het flenslek wordt een diameter aangehouden van 10% van de leidingdiameter, met een maximum van 50 mm.
 - d. Voor elke flens die een domino-effect kan veroorzaken, wordt de uitstroombrequentie voor breuk van het ontvangende leidingdeel met $9,3 \times 10^{-10}$ per jaar verhoogd. Deze verhoging wordt verdeeld over het hele ontvangende leidingdeel.

Tabel 10-2 Effectafstanden voor domino-effecten (35 kW/m^2 warmtestraling horend bij de fakkelbrand bij weertype D9)

Diameter lek Overdruk	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	50 mm
16 bar	5 m	10 m	15 m	20 m	35 m
25 bar	10 m	15 m	20 m	20 m	40 m
40 bar	10 m	15 m	20 m	25 m	50 m
60 bar	15 m	20 m	25 m	30 m	60 m
80 bar	15 m	20 m	30 m	35 m	65 m
100 bar	20 m	25 m	35 m	40 m	75 m
140 bar	20 m	30 m	40 m	50 m	85 m
200 bar	25 m	35 m	50 m	60 m	100 m
300 bar	30 m	45 m	55 m	70 m	115 m

10.2.4.4 Uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden

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

10.2.4.5 Moedwillige verstoring

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

10.2.5 Boringen

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

10.2.6 Insluitsystemen die buiten beschouwing mogen worden gelaten

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

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

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

1. Glycolopslag en regeneratiesysteem voor zover de procestemperatuur lager is dan het vlammpunt en de operationele druk lager is dan 10 bar (overdruk);
2. Brandstofdistributiesystemen (fuel gas systems) met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
3. Offgas-systemen met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
4. Afdekgas (blanket gas) systemen met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
5. Afgas- en fakkelsystemen met een operationele druk lager dan 10 bar (overdruk);
6. Systemen voor het schoonmaken van leidingen (ragerinstallaties).
7. Open en gesloten drainagesystemen;
8. Systemen voor chemicaliën- en methanolinjectie.

10.2.7 Afkapgrens

In de QRA hoeven alleen uitstroombereikscenario's te worden meegenomen als de frequentie van het scenario groter is of gelijk aan 1×10^{-9} per jaar. Scenario's waarbij de effectafstand kleiner is dan de afstand tot de terreingrens hoeven ook niet te worden meegenomen. Dat is het geval voor (alle) lekkages van leidingen met verticale uitstroombereikrichting, voor sommige lekkages met horizontale uitstroombereikrichting (zie Tabel 10-3^b) en voor sommige leidingbreuken met verticale uitstroombereikrichting (zie Tabel 10-4).

Tabel 10-3 Maximale effectafstand (10 kW/m²) voor een lekkage met horizontale uitstroombereikrichting

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

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

Tabel 10-4 Maximale effectafstand (10 kW/m²) voor breuk van een hogedruk aardgasleiding met verticale uitstroombichting

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

10.2.8 Maatregelen en systeemreacties

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

- Ongevallen kennen soms een aanloop. Daarbij kunnen afblaas- en inbloksystemen worden aangesproken die reageren voordat de LoC optreedt. In de QRA wordt geen rekening gehouden met het vooraf inblokken van het systeem^c. Inbloksystemen die reageren nadat de LoC optreedt, worden meegenomen in de berekening van het uitstroomdebiet en de bijbehorende effecten. Voor hogedruk gasinstallaties wordt het effect van inbloksystemen beschreven in paragraaf 10.8.2. Als het effect van inbloksystemen wordt meegenomen in de QRA, dan dient de gebruikte sluittijd van de kleppen en de faalkans van het inblokken ('probability of failure on demand') door de opsteller van de QRA te worden verantwoord. Hiervoor zijn de voorwaarden van paragraaf 4.2.2.2 van kracht. Dat betekent dat de feitelijke situatie maatgevend is, in het bijzonder wanneer faalkansen en reactietijden significant afwijken van de in paragraaf 4.2.2.2 vermelde standaardwaarden.
- De invloed van pompen en compressoren op de uitstroming aan de perszijde wordt bepaald aan de hand van de pomp-/compressorkarakteristieken. Als deze niet bekend zijn, mag worden uitgegaan van 150% van de nominale doorzet (zoals vastgelegd in de *Process Flow Diagram* of massa- & energiebalans).

De uitstroombichting scenario's voor het falen van de put (blowout en lekkage) zijn afgeleid voor de put inclusief aanwezige beveiligingen in de put. Daarom mogen putbeveiligingen voor deze uitstroombichting scenario's niet als extra veiligheidsmaatregel verdisconteerd worden in de QRA.

10.2.9 Nalevering

In overeenstemming met paragraaf 3.2 van Module B moet er rekening gehouden worden met nalevering als de nageleverde hoeveelheid significant is (zie in het bijzonder opmerking 2 in de genoemde paragraaf). In aanvulling hierop zijn de volgende afspraken gemaakt:

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

10.2.10 Rapportageplicht

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

- de lengte en diameter van de tubing en de casing;
- de flowing bottom hole pressure (FBHP);
- het productiedebiet;
- de 'closed-in tubing head pressure' (CITHP);
- de 'casing blowout potential' (CBOP);
- de 'tubing blowout potential' (TBOP);
- indien van toepassing de gehanteerde tijdsfracties voor productie en injectie;

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

- de gebruikte frequenties voor onderhoudswerkzaamheden.

Als voor de scenario's instantaan falen en breuk van de leiding maatwerk is verricht (zie paragraaf 10.9) dan moeten de uitgangspunten in het QRA rapport op een herleidbare manier beschreven worden.

10.2.11 Installatieonderdelen, uitstroomscenario's en uitstroomfrequenties

In Tabel 10-5 wordt een overzicht gegeven van de verschillende onderdelen waarvoor specifieke uitstroomscenario's en/of uitstroomfrequenties zijn opgesteld. Voor de overige onderdelen worden de scenario's en frequenties van Brzo-bedrijven (Hoofdstuk 3) of PGS-15 opslagen (Hoofdstuk 8) gebruikt.

Tabel 10-5 Installatieonderdelen waarvoor nieuwe scenario's en frequenties zijn vastgesteld

Onderdeel	Verwijzing
Olie- en gasputten a. Injectieputten b. Productieputten	Paragraaf 10.3
Leidingen a. Flexibele leidingen b. Procesleidingen c. Hogedruk gastransportleidingen	Paragraaf 10.4
Separatoren a. Vloeistofvangers b. Slokkenvangers c. Gaswassers (incl. adsorbers) d. Filter- en centrifugaalseparatoren	Paragraaf 10.5
Pompen en compressoren a. Verdringerpomp b. Centrifugaalpomp c. Verdringercompressor d. Centrifugaalcompressor e. Hogedruk centrifugaalcompressor	Paragraaf 10.6
Warmtewisselaars a. koelerbanken	Paragraaf 10.7

10.3 Gas- en olieputten

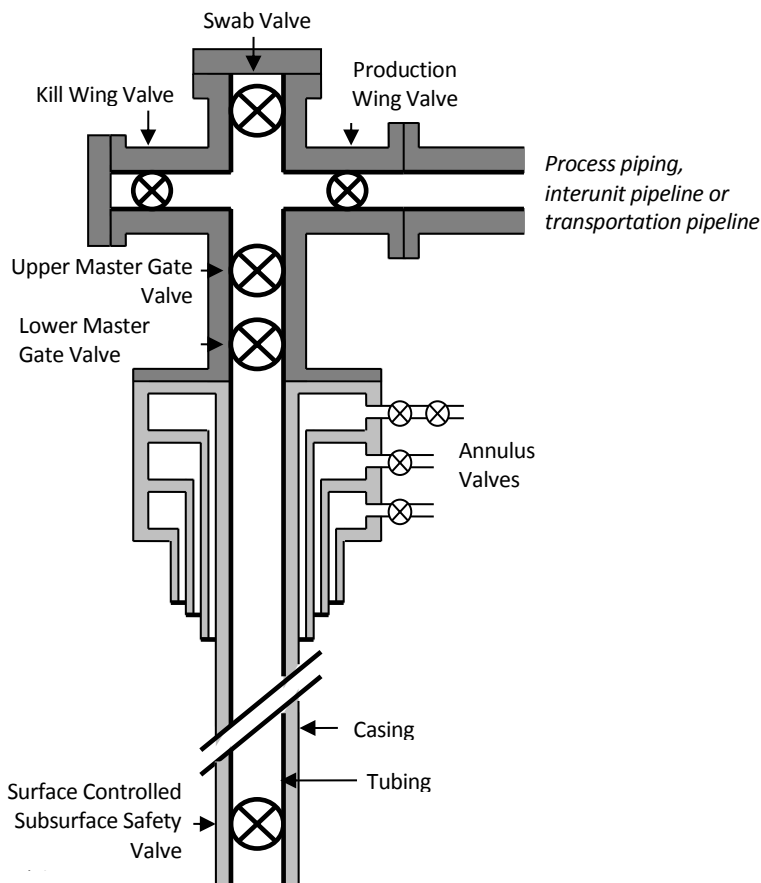
10.3.1 Definitie

Een gas- of olieput bestaat uit een bovengronds afsluiterblok ('christmas tree') die met een ondergronds olie- of gasreservoir verbonden is via een systeem van een of meerdere leidingen. Voor de QRA worden olie- en gasputten begrensd door de 'wing valve' (zie Figuur 10-1). Leidingen en installatieonderdelen vanaf de 'production wing valve' moeten afzonderlijk worden beschouwd.

10.3.2 Kenmerken

De volgende elementen zijn standaard aanwezig bij een gas- of olieput:

- Diverse afsluiters, zoals een 'Surface Controlled Subsurface Safety Valve' (SCSSV), een 'Lower Master Gate' valve, een 'Surface Safety Valve' (SSV, ook 'Upper master gate valve'), een of meerdere 'Wing Valves' (FWV) en een 'Swab valve' (zie Figuur 10-1).
- Afsluiters voor het drukvrij maken van verschillende behuizingen.
- 'Flow meters' en druk- en temperatuursensoren op het afsluiterblok.



Figuur 10-1 Weergave van de put (inclusief 'christmas tree')

10.3.3 Uitstroomscenario's en -frequenties

In Tabel 10-6 en Tabel 10-7 zijn de uitstroomscenario's en -frequenties voor gasputten vermeld en in Tabel 10-8 en Tabel 10-9 de gegevens voor olieputten. Voor gasputten is de 'gas oil ratio'^d groter dan 1000, de overige putten zijn olieputten.

Opmerkingen:

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

10.3.3.1 Gasputten

Tabel 10-6 Uitstroomscenario's en -frequenties voor productie en injectie van/naar gasputten

Scenario	Frequentie (per jaar)			
	Casing blowout	Tubing blowout	Verticaal lek	Horizontaal lek
Productie	-	$3,3 \times 10^{-5}$	$5,2 \times 10^{-5}$	$9,4 \times 10^{-6}$
Injectie	-	$3,3 \times 10^{-5}$	$5,2 \times 10^{-5}$	$9,4 \times 10^{-6}$

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

Tabel 10-7 Uitstroomscenario's en -frequenties voor onderhoud aan gasputten

Scenario	Frequentie (per activiteit)			
	Casing blowout	Tubing blowout	Verticaal lek	Horizontaal lek
Wireline	-	$8,9 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-6}$
Coiled-tubing	-	$1,9 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$3,3 \times 10^{-5}$
Snubbing	-	$4,2 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-4}$	$7,6 \times 10^{-5}$
Workover	$6,1 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$2,7 \times 10^{-4}$	$6,4 \times 10^{-5}$

10.3.3.2 Olieputten

Tabel 10-8 Uitstroomscenario's en -frequenties voor productie en injectie van/naar olieputten

Scenario	Frequentie (per jaar)			
	Casing blowout	Tubing blowout	Verticaal lek	Horizontaal lek
Productie	-	$7,4 \times 10^{-6}$	$8,7 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-6}$
Injectie	-	$7,4 \times 10^{-6}$	$8,7 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-6}$

Tabel 10-9 Uitstroomscenario's en -frequenties voor onderhoud aan olieputten

Scenario	Frequentie (per activiteit)			
	Casing blowout	Tubing blowout	Verticaal lek	Horizontaal lek
Wireline	-	$5,0 \times 10^{-6}$	$7,8 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-6}$
Coiled-tubing	-	$1,1 \times 10^{-4}$	$6,0 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$
Snubbing	-	$2,3 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$4,2 \times 10^{-5}$
Workover	$3,4 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-5}$

10.4 Leidingen

10.4.1 Definitie

Voor flexibele leidingen en procesleidingen zijn geen aparte uitstroomscenario's gedefinieerd voor de toebehoren van een leiding, zoals flenzen, stompen, appendages en instrumentatie. Voor deze leidingen is de uitstroming vanuit deze toebehoren onderdeel van de generieke scenario's en frequenties voor leidingen. Voor hogedruk gastransportleidingen is wel een specifiek uitstroomscenario voor flenzen gedefinieerd. De overige toebehoren van hogedruk gastransportleidingen vallen onder de generieke scenario's en frequenties. Voor kleppen in de verschillende typen leidingen worden ook geen afzonderlijke uitstroomscenario's gedefinieerd. De werking van kleppen wordt wel verdisconteerd in de berekening van de uitstroming.

10.4.2 Kenmerken

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

- flexibele leidingen;
- procesleidingen;
- hogedruk gastransportleidingen.

10.4.3 Uitstroomscenario's en -frequenties

10.4.3.1 Procesleidingen

Procesleidingen zijn de leidingen die niet vallen onder de definities van flexibele leidingen en hogedruk gastransportleidingen. Voor procesleidingen (gas, 2-fase en vloeistof) gelden de scenario's en frequenties die zijn afgeleid voor Brzo-inrichtingen (paragraaf 3.8, Tabel 27).

10.4.3.2 Flexibele leidingen

Een flexibele leiding is een leiding waarvan de wand is samengesteld uit een matrix van lagen van metaal en kunststof (composiet materialen) die de leiding de gewenste sterkte en flexibiliteit geeft. Het ontwerp, de productie, de installatie en het gebruik van de flexibele leiding vindt plaats volgens de specificaties van API 17J^e of API 17K^f of vergelijkbare normen.

Voor flexibele leidingen (gas, 2-fase en vloeistof) gelden de scenario's en frequenties van Tabel 10-10. Voor de breuk van de leidingen wordt uitgegaan van een gat ter grootte van de

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

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

inwendige diameter. Het lek is een gat met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van de leiding, met een maximum van 50 mm.

Tabel 10-10 Uitstroomscenario's en -frequenties voor flexibele leidingen

Scenario	Frequentie (per meter per jaar)		
	$\varnothing < 75 \text{ mm}$	$75 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 150 \text{ mm}$	$150 \text{ mm} < \varnothing$
Breuk van de leiding	5×10^{-6}	$1,5 \times 10^{-6}$	5×10^{-7}
Lek van de leiding	$2,5 \times 10^{-5}$	1×10^{-5}	$2,5 \times 10^{-6}$

10.4.3.3 Hogedruk gastransportleidingen

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

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

Voor hogedruk gastransportleidingen gelden de scenario's en frequenties van Tabel 10-11. Voor de breuk van de leidingen wordt uitgegaan van een gat ter grootte van de inwendige diameter. De twee lekscenario's betreffen een gat met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van de leiding, met een maximum van 50 mm. Er wordt met betrekking tot de uitstroomfrequenties geen onderscheid gemaakt naar bovengrondse- en ondergrondse leidingen.

Tabel 10-11 Uitstroomscenario's en -frequenties voor hogedruk gastransportleidingen

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

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

Voor overige transportleidingen binnen de inrichting gelden de scenario's en frequenties van Brzo-inrichtingen (paragraaf 3.8).

10.5 Separatoren

10.5.1 Definitie

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

10.5.2 Kenmerken

Separatoren kunnen de volgende elementen bevatten:

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

De scenario's en uitstroomfrequenties gelden voor de separator inclusief de gelaste stempelen, montageplaten, instrumentatieleidingen en leidingaansluitingen tot aan de eerste flens. De

toevoer- en afvoerleidingen vanaf de eerste flens moeten afzonderlijk worden beschouwd. Hetzelfde geldt voor de eventueel aanwezige drukveiligheid.

10.5.3 Uitstroomscenario's en -frequenties

10.5.3.1 Vloeistofvangers

In een vloeistofvanger worden vloeibare componenten in een productstroom (water en/of condensaat) verwijderd door ze neer te slaan in een vat. De scheiding vindt plaats door gebruik te maken van inertie en zwaartekracht. In sommige gevallen wordt de scheiding bevorderd door 'internals' zoals roosters van schoepen en vinnen. Deze 'internals' dienen enkel als mistvangers. In tegenstelling tot slokkenvangers (zie 10.5.3.2) is de vloeistof tamelijk gelijkmatig over de productstroom verdeeld. In tegenstelling tot gaswassers (zie 10.5.3.3) wordt de vloeistof niet geadsorbeerd of opgelost. In tegenstelling tot centrifugaalseparatoren (10.5.3.5) kan de productstroom nog aanzienlijke hoeveelheden verontreinigingen bevatten.

De uitstroomscenario's en -frequenties voor vloeistofvangers zonder complexe internals zijn weergegeven in Tabel 10-12. Het betreft onder meer buffer- en zuigvaten, refluxvaten en knock-out-vaten. Voor vloeistofvangers met complexe 'internals' zijn de scenario's en frequenties van Tabel 10-13 van toepassing. Het betreft onder meer schoepentoeters, 'vane packs' en 'swirl decks'. Een vloeistofvanger met complexe 'internals' verschilt van een filterseparator door de intensiteit: de inkomende productstroom is minder schoon.

Tabel 10-12 *Uitstroomscenario's en -frequenties voor een vloeistofvanger zonder complexe internals*

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

Tabel 10-13 *Uitstroomscenario's en -frequenties voor een vloeistofvanger met complexe internals*

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

Opmerkingen:

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

10.5.3.2 Slokkenvangers

Slokkenvangers worden gebruikt om grote 'slokken' vloeistof te verwijderen uit een productstroom. De scheiding gebeurt op basis van inertie en zwaartekracht zonder verdere internals. Slokkenvangers kunnen bestaan uit een vat ('vessel type' slokkenvangers) of uit een of meerdere onderling verbonden buizen ('finger type' slokkenvangers). De uitstroomscenario's voor een slokkenvanger met buizen zijn gegeven in Tabel 10-14. De uitstroomfrequenties gelden per buis. De scenario's voor een slokkenvanger met een vat zijn gegeven in Tabel 10-15.

Tabel 10-14 *Uitstroomscenario's en -frequenties voor een slokkenvanger met buizen*

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

Tabel 10-15 *Uitstroomscenario's en -frequenties voor een slokkenvanger met een vat*

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

Opmerkingen:

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

10.5.3.3 Gaswassers (inclusief adsorbers)

In een gaswasser (ook wel scrubber) worden componenten in een productstroom van elkaar gescheiden door de productstroom door een medium te leiden. Het medium kan gasvormig, vloeibaar of vast zijn en de te verwijderen componenten kunnen daarin oplossen of adsorberen of daarmee reageren. Ook deluge-systemen waarbij in een vat een reactant in de gasstroom wordt gespreid, vallen onder de categorie gaswassers. Een voorbeeld van een veelvoorkomend type gaswasser is een adsorber waarbij een gasstroom wordt ontdaan van water door het door een bed met silicakorrels te leiden waarbij de silicakorrels het water opnemen.

In Tabel 10-16 zijn de uitstroomscenario's en -frequenties vermeld die voor gaswassers moeten worden gebruikt.

Tabel 10-16 *Uitstroomscenario's en -frequenties voor een gaswasser (inclusief adsorbers)*

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

Opmerkingen:

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

10.5.3.4 Filterseparatoren

In een filterseparator wordt een restverontreiniging uit een gasstroom gehaald door het gas door een mechanisch obstakel (bv. filterdoek, metalen filter) te leiden. Het gaat daarbij om relatief schoon gas, waarbij de hoeveelheid condensaat in de inkomende stroom kleiner is dan 80 m³ per miljoen Nm³ gas. Filters kunnen ook uitgevoerd worden in combinatie met een centrifugaalseparator zoals een cycloon.

Een filterseparator wordt als opslagvat onder druk gezien. De bijbehorende scenario's zijn weergegeven in Tabel 10-17. In specifieke omstandigheden kan een filterseparator na afstemming met het bevoegd gezag gemodelleerd worden als leiding (zie daarvoor Tabel 10-18). Minimale eisen waaraan de filterseparator dan moet voldoen zijn:

- De filterseparator is intrinsiek veilig ontworpen, dat wil zeggen dat een blokkade leidt tot falen van het filter zelf voordat een LoC kan optreden.

- Er zijn maatregelen genomen en geborgd om een LoC bij ingebruikname van de filterseparator (ook na onderhoud) te voorkomen.

Tabel 10-17 *Uitstroomscenario's en -frequenties voor filterseparatoren*

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

Opmerkingen:

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

10.5.3.5 Centrifugaalseparatoren

In een centrifugaalseparator wordt een restverontreiniging uit de gasstroom gehaald door het gas door een stationaire spiraal (cycloon) of elleboog te sturen waarbij de zwaardere deeltjes naar buiten worden geslingerd en worden afgevangen. Het gaat daarbij om relatief schoon gas, waarbij de hoeveelheid condensaat in de inkomende stroom kleiner is dan 80 m^3 per miljoen Nm^3 gas. Centrifugaalseparatoren die een filter bevatten worden beschouwd als filterseparator (zie vorige paragraaf).

Een centrifugaalseparator wordt als leiding gemodelleerd. De uitstroomscenario's en -frequenties zijn weergegeven in Tabel 10-18. Deze frequenties zijn afkomstig van hogedruk gastransportleidingen en het gebruik van deze waarden is daarom onder voorbehoud dat de ontwerpdruk minimaal 16 bar (overdruk) bedraagt en de uitwendige diameter van de aansluiting op de inkomende gasstroom minimaal 2 inch (0,051 m) is. De uitstroomfrequenties voor breuk en lek hangen af van de lengte (c.q. hoogte) van de separator.

Tabel 10-18 *Uitstroomscenario's en -frequenties voor centrifugaalseparatoren*

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

Opmerkingen:

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

10.6 Pompen en compressoren

10.6.1 Definitie

Pompen en compressoren zijn apparaten voor het verplaatsen van vloeistof of gas. Er wordt onderscheid gemaakt naar pompen die dienen voor het verplaatsen van (voornamelijk) vloeistof en compressoren voor het verplaatsen van (voornamelijk) gas. Hierbij zijn twee typen te onderscheiden, namelijk het verdringertype en het centrifugaaltype.

10.6.2 Kenmerken

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

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

10.6.3 Uitstroomscenario's en -frequenties

De uitstroomscenario's en -frequenties voor pompsystemen zijn vermeld in Tabel 10-19 (verdringerpompen) en Tabel 10-20 (centrifugaalpompen). Voor deze typen pompen wordt

alleen een breuk gemodelleerd. De scenario's voor compressorsystemen zijn gegeven in Tabel 10-21 (verdringercompressoren) en Tabel 10-22 (centrifugaalcompressoren).

Voor de breuk van de toevoerleiding wordt uitgegaan van een gat ter grootte van de inwendige diameter. Eventuele nalevering vanuit het downstream deel wordt niet meegenomen. Het lek is een gat met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van de leiding met een maximum van 50 mm. De scenario's gelden voor het hele systeem inclusief de leidingaansluitingen tot aan de eerste flens. De toevoer- en afvoerleidingen zijn geen onderdeel van het systeem en moeten afzonderlijk worden beschouwd.

10.6.3.1 Verdringerpompen

Tabel 10-19 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een verdringerpomp

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

10.6.3.2 Centrifugaalpompen

Tabel 10-20 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een centrifugaalpomp

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

10.6.3.3 Verdringercompressoren

Tabel 10-21 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een verdringercompressor

Scenario	Frequentie (per jaar)
Breuk van de toevoerleiding	$2,9 \times 10^{-4}$
Lek van de toevoerleiding (10% van de diameter van de toevoerleiding, maximaal 50 mm)	$1,2 \times 10^{-3}$

10.6.3.4 Centrifugaalcompressoren

Tabel 10-22 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een centrifugaalcompressor

Scenario	Frequentie (per jaar)
Breuk van de toevoerleiding	$2,2 \times 10^{-4}$
Lek van de toevoerleiding (10% van de diameter van de toevoerleiding, maximaal 50 mm)	$1,2 \times 10^{-3}$

10.6.3.5 Hogedruk centrifugaalcompressoren in gasleidingen

Voor hogedruk centrifugaalcompressoren wordt het onwaarschijnlijk geacht dat het compressorhuis faalt. Daarom worden er geen specifieke uitstroomscenario's meegenomen voor dit type compressor. Het mogelijke falen van leidingen vanaf de flens op het compressorhuis moet wel worden meegenomen (zie paragraaf 10.4).

Hogedruk centrifugaalcompressoren voldoen aan de volgende voorwaarden:

- De druk aan de perszijde is hoger dan 16 bar (overdruk).
- De uitwendige diameter van de toevoerleiding is minimaal 2 inch (0,051 m).
- De hoeveelheid condensaat in de productstroom is minder dan 80 m^3 per miljoen Nm^3 .

10.7 Warmtewisselaars

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

10.7.1 Definitie

Een koelerbank is een warmtewisselaar waarin gassen of vloeistoffen in pijpleidingen worden gekoeld aan de (buiten)lucht. Een of meer ventilatoren bevorderen de luchtstroming langs de pijpleidingen. Om de warmteoverdracht te bevorderen kunnen op de pijpleidingen ribben (vinnen) zijn aangebracht.

10.7.2 Kenmerken

Het kan voorkomen dat meerdere koelerbanken achter elkaar staan (in serie) of naast elkaar staan (parallel). Een koelerbank betreft in dat geval het complex van gekoppelde koelerbanken die als één unit bedreven worden.

De volgende elementen kunnen aanwezig zijn bij een koelerbank:

- een of meerdere toe- en afvoerleidingen;
- een beveiliging tegen overdruk.

10.7.3 Uitstroomscenario's en -frequenties

De uitstroomscenario's en -frequenties voor koelerbanken zijn weergegeven in Tabel 10-23. De scenario's en frequenties gelden voor de koelerbank inclusief de gelaste stompen, montageplaten, instrumentatieleidingen en leidingaansluitingen tot aan de eerste flens. De toevoerleidingen en afvoerleidingen maken geen deel uit van de koelerbank.

10.7.3.1 Koelerbanken

Tabel 10-23 Uitstroomscenario's en -frequenties voor een koelerbank

Scenario	Frequentie (per jaar)
1. Breuk van 10 pijpen tegelijkertijd	1×10^{-5}
2. Breuk van 1 pijp	1×10^{-3}

Opmerkingen:

1. Bij breuk van 10 pijpen tegelijkertijd dient gerekend te worden met een effectieve leidingdiameter gebaseerd op het totale uitstroomoppervlak.

10.8 Effectmodellering

Voor de effectberekening gelden in het algemeen de voorwaarden van paragraaf 3.4.6 van Module B. In paragraaf 10.8.2 worden voor de voorschriften beschreven die afwijken van Module B. In paragraaf 10.8.3 worden aanvullende uitgangspunten voor blowout en lekkage van de put beschreven.

10.8.1 Uitstroomrichting

De uitstroomrichting is standaard horizontaal. Op deze regel gelden de volgende uitzonderingen:

- De blowout van de put is verticaal. Voor lekkage van de putmond is een deel verticaal (zie paragraaf 10.3).
- Voor ondergrondse leidingen is de uitstroomrichting verticaal indien de leidingen minimaal 40 cm onder het maaiveld liggen (gemeten vanaf de bovenkant van de leiding).
- Voor leidingen in een leidinggoot en voor (deels) ingeterpte installatie-onderdelen is de uitstroomrichting in principe horizontaal tenzij een verticale richting door de constructie en/of het ontwerp is geborgd en voor de modelleerwijze toestemming is verleend door het bevoegd gezag.

10.8.2 Afwijkende effectmodellering ten opzichte van Module B

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

- Het insluitsysteem bevat ontvlambare gassen of een ongestabiliseerd mengsel van ontvlambare gassen en vloeistoffen.
- De operationele druk in het insluitsysteem is 16 bar (overdruk) of hoger.
- Het aandeel toxische componenten, in het bijzonder H₂S, is 4,3 vol% of kleiner.

De afwijking heeft betrekking op:

- de vervolgeffecten;
- het aantal jets bij een fakkelbrand.

Voor situaties die niet voldoen aan de genoemde voorwaarden, zijn de uitgangspunten van Module B van toepassing. Het betreft onder meer insluitsystemen met gestabiliseerde vloeistoffen en insluitsystemen met een operationele druk lager dan 16 bar.

Hieronder wordt de *afwijkende* modellering beschreven.

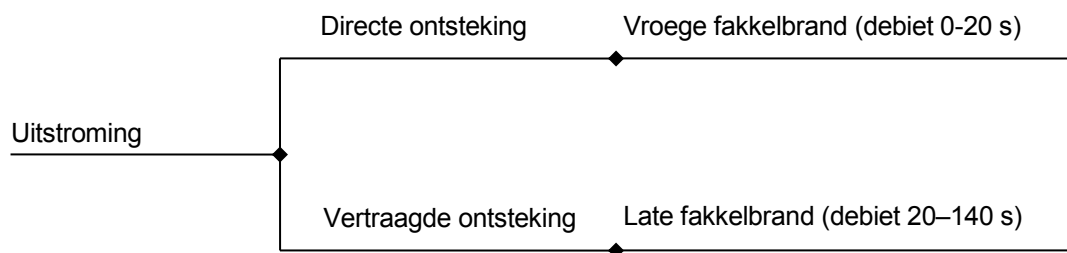
10.8.2.1 Maatwerk voor snelsluitende kleppen

Er wordt onderscheid gemaakt naar scenario's met snelsluitende kleppen⁹ en scenario's zonder snelsluitende kleppen. Voor scenario's met snelsluitende kleppen moet maatwerk verricht worden. Het initiatief daarvoor ligt bij de opsteller van de QRA.

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

10.8.2.2 Vervolgeffecten

Voor scenario's zonder snelsluitende kleppen ligt de modellering vast. Er wordt onderscheid gemaakt naar directe ontsteking en vertraagde ontsteking. De effecten van de directe ontsteking zijn gebaseerd op het gemiddelde uitstroomdebiet tussen 0 en 20 s. De effecten van de vertraagde ontsteking zijn gebaseerd op het gemiddelde uitstroomdebiet tussen 20 en 140 s. Beide gebeurtenissen leiden tot een fakkelbrand (zie Figuur 10-2).



Figuur 10-2 Gebeurtenissenboom voor hogedruk gassystemen met een uitstroomduur groter of gelijk aan 20 s

Opmerkingen:

- Voor breuk van een leiding en voor het instantaan falen van een vat wordt aangenomen dat de uitstroming vanuit toevoer- en afvoerleidingen bepalend is voor (de ontwikkeling van) het uitstroomdebiet. Deze is in het algemeen sterk tijdsafhankelijk.
- Voor het vrijkomen van de gehele inhoud van een vat in 10 minuten wordt een constant uitstroomdebiet verondersteld. Voor dit scenario zijn de effecten van de vroege en late fakkelbrand dus identiek zodat beide scenario's kunnen worden samengenomen (zie ook paragraaf 10.9.2).
- Voor een lek van 10 mm wordt aangenomen dat de afname van het uitstroomdebiet gedurende de eerste 140 s verwaarloosbaar is. Voor het 10 mm lek kunnen de vroege en late fakkelbrand dus ook worden samengenomen (zie paragraaf 10.9.1).

10.8.2.3 Kans op ontsteking

De kans op directe ontsteking (P_{dir}) is weergegeven in Tabel 10-24. Voor de kans op vertraagde ontsteking moet worden nagegaan of de LFL contour van het tweede segment (20-140 s) deels buiten de inrichting ligt^h. In dat geval treedt er altijd vertraagde ontsteking op. De kans op vertraagde ontsteking is dan $1 - P_{dir}$. Als de LFL contour niet buiten de inrichting komt, dan wordt er geen vertraagde ontsteking gemodelleerd.

⁹ Snelsluitende kleppen sluiten in vijf seconden of minder na aanvang van de uitstroming.

^h Dit wordt getoetst op de gemodelleerde uitstroomhoogte.

Tabel 10-24 Kans op directe ontsteking (P_{dir})

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

Opmerkingen:

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

10.8.2.4 Aantal jets

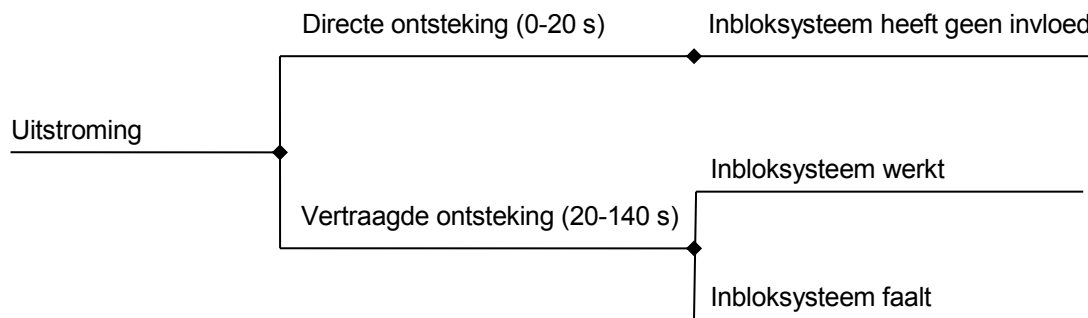
Voor breuk van een bovengrondse leiding en instantaan falen van een bovengronds vat met aangesloten leidingen wordt verondersteld dat de jets vanuit de stroomopwaartse richting en vanuit de stroomafwaartse richting geen interactie hebben. Deze twee jets worden daarom afzonderlijk ingevoerd. Voor beide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

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

10.8.2.5 Invloed van inbloksystemen

Inbloksystemen kunnen gebruik maken van snelsluitende kleppen en van reguliere kleppen^j. Voor inbloksystemen met snelsluitende kleppen moet conform paragraaf 10.8.2.1 maatwerk worden verricht. Voor situaties zonder snelsluitende kleppen worden conform paragraaf 10.8.2.2 twee release segmenten beschouwd: 0-20 s en 20-140 s.

Als er een inbloksysteem is (met reguliere kleppen) dan wordt de invloed ervan voor het eerste segment (0-20 s) niet meegenomen. Voor het tweede segment (20-140 s) worden twee deelscenario's onderscheiden: één waarin het inblokken slaagt, en één waarin het inblokken faalt. In totaal moeten er dus drie scenario's worden beschouwd (zie Figuur 10-3).



Figuur 10-3 Deelscenario's voor een inbloksysteem met reguliere kleppen

10.8.3 Blowout en lekkage van de put

Bij een blowout van een put komt er gas en/of olie vrij vanuit de put en tijdens productie of injectie ook vanuit de inrichting.

- De gatgrootte voor de blowout is afhankelijk van het scenario gelijk aan de diameter van de tubing of de casing, zie paragraaf 10.3.3.

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

^j Kleppen die niet binnen 5 s gesloten zijn.

- In geval van productie of injectie is er naast de toevoer vanuit de put (via de wing valve) ook terugstroming vanuit de installaties. De gecombineerde uitstroming wordt op basis van maatwerk bepaald en resulteert in één verticale jet.
- Voor blowouts tijdens onderhoudswerkzaamheden staat de put bij aanvang van de uitstroming onder druk. Er vindt geen terugstroming vanuit de inrichting plaats. De uitstroomrichting is verticaal. Voor de 'casing blowout' tijdens werkzaamheden geldt de 'casing blowout potential' als minimumwaarde voor het uitstroomdebiet. Evenzo is de 'tubing blowout potential' de minimumwaarde voor het uitstroomdebiet van de tubing blowout tijdens werkzaamheden.
- Voor de blowouts scenario's worden de vervolgeffecten (vroeg en late fakkelbrand) van paragraaf 10.8.2.2 gebruikt en de ontstekingskansen van paragraaf 10.8.2.3.
- Eventueel aanwezige putbeveiligingen worden niet verdisconteerd in de QRA (zie paragraaf 10.2.8).

Voor lekkages wordt verondersteld dat de drukafname tijdens het incident beperkt zal zijn. De uitstroming hangt alleen af van de gatgrootte en de initiële druk. Voor de vervolgeffecten worden de uitgangspunten van paragraaf 10.8.2.2 gebruikt (fakkelbrand) en voor de ontstekingskansen paragraaf 10.8.2.3.

10.9 Invoer van scenario's in SAFETI-NL 6.54

Standaard is paragraaf 3.2 van Module B van toepassing. In deze paragraaf wordt de invoer beschreven voor installatie-onderdelen waarvoor op basis van paragraaf 10.8.2 een afwijkende modellering wordt gebruikt, mits het installatie-onderdeel voldoet aan de volgende voorwaarden:

- Het insluitsysteem bevat ontvlambare gassen of een (ongestabiliseerd) mengsel van ontvlambare gassen en vloeistoffen.
- De operationele druk in het insluitsysteem is 16 bar (overdruk) of hoger.
- Het aandeel toxische componenten, in het bijzonder H₂S, is 4,3 vol% of kleiner.

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

10.9.1 Lek van de leiding en 10 mm lek

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

- Gebruik het Leak model.
- De 'probability of immediate ignition' wordt gelijk gesteld aan 1 (zodat SAFETI-NL een fakkelbrand in rekening brengt).
- Als alleen directe ontsteking kan optreden, dan wordt de kans op directe ontsteking (zie Tabel 10-24) verdisconteerd in de 'event frequency' (in het geval van een route 'event probability').

10.9.2 Vrijkomen van de inhoud van een installatie-onderdeel in tien minuten

Voor het tien minuten scenario hoeft geen nalevering te worden meegenomen. Het uitstroomdebiet is daardoor constant en er hoeven geen aparte scenario's voor de vroeg en late fakkelbrand gebruikt te worden. De invoerwaarden in SAFETI-NL zijn als volgt:

- Gebruik het scenario 'Fixed duration release' met waarde 600 s.
- De 'probability of immediate ignition' wordt gelijk gesteld aan 1 zodat SAFETI-NL een fakkelbrand in rekening brengt.
- Als alleen directe ontsteking kan optreden, dan wordt de kans op directe ontsteking (zie Tabel 10-24) verdisconteerd in de 'event frequency' (in het geval van een route 'event probability').

10.9.3 Leidingbreuk en instantaan falen

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

- In paragraaf 10.9.4 is een 'vereenvoudigde invoermethode' beschreven die veel minder tijdsintensief is en hoofdzakelijk conservatieve uitkomsten geeft. Deze invoermethode geldt als 'default' rekenwijze mits de druk in de toevoer- en/of afvoerleidingen niet beduidend lager is dan de druk in het falende installatie-onderdeel.

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

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

10.9.4 Vereenvoudigde invoermethode voor leidingbreuk en instantaan falen

In paragraaf 10.9.3 is beschreven dat de effecten van de scenario's 'instantaan falen van een installatieonderdeel' en van 'breuk van een leiding' default berekend worden met de onderstaande 'vereenvoudigde invoermethode'. In paragraaf 10.9.3 is ook aangegeven dat deze vereenvoudigde invoermethode niet gebruikt mag worden als de druk in de toevoer- en/of afvoerleidingen beduidend lager is dan die van het falende installatie-onderdeel.

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

- De inrichting en de omgeving worden beschouwd als één systeem dat gemodelleerd wordt met het Long Pipeline model.
- Voor bovengrondse installatie-onderdelen wordt de nalevering vanuit stroomopwaartse en vanuit stroomafwaartse richting afzonderlijk beschouwd. Dit resulteert in twee verschillende Long Pipeline scenario's met eigen invoerwaarden. Voor ondergrondse installaties worden de twee bijdragen gecombineerd in één Long Pipeline scenario.
- De karakteristieken van de Long Pipeline hangen af van de eigenschappen van de toevoer- en afvoerleidingen. Afgezien van de aanwezigheid van eventuele inbloksystemen, is de verdere layout van de inrichting een 'black box'.
- De invoerwaarden voor het Long Pipeline model verschillen voor ondergronds/bovengronds, en hangen verder alleen af van de gatgrootte^l. Daarom kunnen voorafgaand aan het invoeren van scenario's tabellen worden opgesteld waarin de invoerwaarden voor het Long Pipeline model vermeld worden als functie van de gatgrootte. Er zijn drie tabellen nodig: twee voor bovengrondse installatie-onderdelen (nalevering vanuit stroomopwaartse en vanuit stroomafwaartse delen van de inrichting) en één voor ondergrondse (gecombineerde nalevering).
- De invloed van inbloksystemen mag meegenomen worden voor het tweede segment van de uitstroming (20 -140 s). De afstand tot de kleppen is ook scenario-specifiek.

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

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

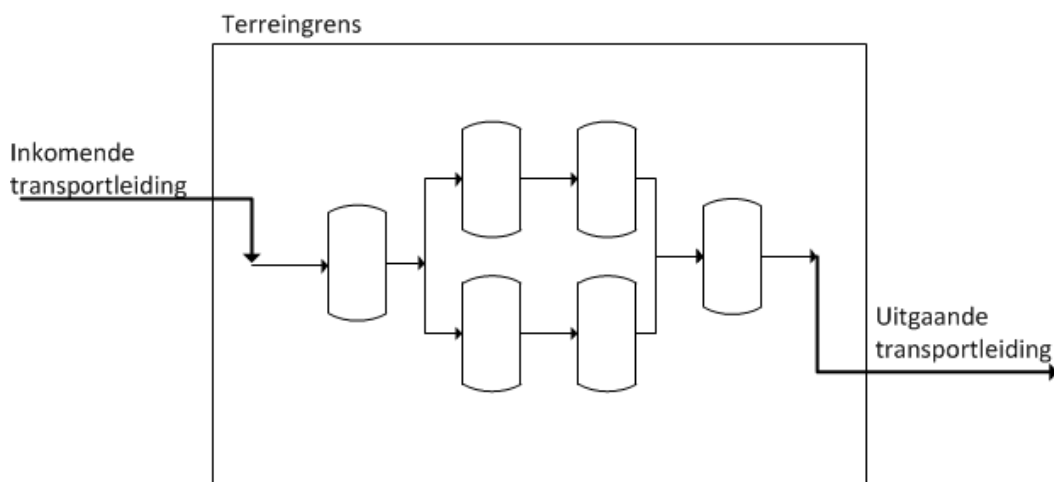
Deze situaties worden per stuk besproken.

10.9.4.1 Inrichting verbonden met één inkomende leiding en één uitgaande leiding

Figuur 10-4 geeft een voorbeeld van een inrichting die verbonden is met één ingaande en één uitgaande leiding. De invoerwaarden voor het **stroomopwaartse deelscenario** zijn weergegeven in Tabel 10-25.

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

^l In detail is ook de eventuele aanwezigheid van kleppen nog scenario-specifiek.



Figuur 10-4 Voorbeeld van een inrichting verbonden met één inkomende en één uitgaande transportleiding

Tabel 10-25 Invoerwaarden voor bovengrondse installaties verbonden met één inkomende transportleiding: uitstroming vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting

Parameter	Invoerwaarde
Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van de inkomende transportleiding.
Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van de inkomende leiding ^m .
Event frequency ⁿ	De 'event frequency' is gelijk aan de uitstroombrequentie voor het betreffende scenario, vermenigvuldigd met de ontstekingskans.
Prob. imm. ignition Scenario	Specify directly, waarde is 1.
Pipe length	Default: 32 km (zie opmerking 1).
Internal diameter	In principe de inwendige diameter van de inkomende transportleiding (zie opmerkingen 2 en 3).
Distance to break	Aan het eind van de leiding, dus gelijk aan de pipe length (zie hierboven).
Relative aperture	Default: d^2/D^2 , met d de veronderstelde diameter van het gat en D de invoerwaarde voor de leidingdiameter (zie opmerkingen 2 en 3).
Pumped inflow	Default: 0 kg/s (zie opmerking 4).
Valves	Voor het tweede tijdsegment mag de invloed van inbloksystemen worden meegenomen. Hiervoor wordt de optie 'valves close' gebruikt. Voor de tijd wordt het tijdstip gebruikt waarop de kleppen volledig gesloten zijn. Een typische waarde voor het sluiten van kleppen is 2 s reactietijd plus 1 s per inch diameter sluittijd. De 'valve distance' wordt zodanig gekozen dat het leidingvolume tussen de klep en de breuklocatie ^o niet kleiner is dan het daadwerkelijk ingeblokte volume stroomopwaarts van de uitstroomblocatie.
Time Averaging	Er wordt gekozen voor een 'rate between two times'. Voor het eerste tijdsegment is het 0-20 s, voor het tweede tijdsegment 20-140 s. Als gebruik is gemaakt van de optie 'valves close' dan moet de gebruiker in SAFETI-NL verifiëren of de uitkomsten correct zijn (zie opmerking 5).
Elevation	Default: 1 m (zie opmerking 6).
Release direction	Horizontaal

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

ⁿ In geval van een route heet dit 'event probability'.

^o Voor de afstand, L , tussen de gemodelleerde klep en de gemodelleerde breuklocatie, geldt dan $L \geq 4V_u n^{-1}D^{-2}$, met V_u het daadwerkelijk ingeblokte volume stroomopwaarts van de breuklocatie, $n \approx 3,14$ en D de ingevoerde inwendige diameter van het Long Pipeline model.

Opmerkingen:

1. Voor leidingen langer dan 10 km is de lengte nauwelijks relevant voor het uitstroomdebiet. Standaard wordt de waarde 32 km gebruikt. Als de inkomende leiding 10 km is of korter, dan mag de werkelijke waarde worden gebruikt. Dit is niet verplicht. Als de inkomende leiding een compressor bevat, dan is dit het begin van de leiding.
2. In principe is de leidingdiameter gelijk aan de inwendige diameter en wordt de 'relative aperture' zo gekozen dat de juiste gatgrootte verkregen wordt ('relative aperture' = d^2/D^2). Echter, SAFETI-NL hanteert een minimum waarde voor de relative aperture van 0,2. Als $d^2/D^2 < 0,2$, dan moet de diameter van de Long Pipeline kunstmatig worden verkleind om de juiste gatgrootte te krijgen (met 'relative aperture' gelijk aan de minimum waarde van 0,2). Voor de aangepaste diameter D' geldt dan $D' = \sqrt{5d}$.
3. Als de gatgrootte groter is dan de diameter van de toevoerleiding ($d > D$) dan wordt in het Long Pipeline model nog steeds de diameter van de toevoerleiding gebruikt. De 'relative aperture' is gelijk aan 1.
4. Voor leidingen van 10 km of korter waarbij de daadwerkelijke lengte is gebruikt (zie voorgaande opmerking), moet de werkelijke 'pumped inflow' worden ingevoerd. Deze is gelijk aan het debiet (de 'flow') tijdens operationele omstandigheden. Als de inkomende leiding een compressor bevat dan is de 'pumped inflow' gelijk aan het compressordebiet. Voor een inkomende leiding die verbonden is met een of meerdere putten, is de 'pumped inflow' gelijk aan het productiedebiet.
5. Een scenario waarin kleppen sluiten binnen 140 s, kan drukloos raken voordat het eind van het tweede tijdsegment (140 s) bereikt is. In dat geval berekent SAFETI-NL een te laag gemiddeld debiet. Dit euvel kan alleen verholpen worden door het scenario om te zetten naar een 'user defined source' en het gemiddelde debiet tussen 20 s en 140 s handmatig te berekenen op basis van de gerapporteerde 'expelled mass'.
6. In principe mag de gebruiker uitgaan van de werkelijke hoogte van de leiding of het vat (met een minimum van 1 m). De invloed van de hoogte is echter zeer beperkt.

De invoerwaarden voor het **stroomafwaartse deelscenario** zijn grotendeels analoog aan de invoerwaarden voor het stroomopwaartse deelscenario (Tabel 10-25). Ter vergroting van de leesbaarheid zijn in Tabel 10-26 alleen de wijzigingen aangegeven. In het bijzonder wordt de breuklocatie nog altijd aan het eind van de leiding gemodelleerd (dus niet aan het begin) en geldt de eventuele aanwezige compressor nog steeds als begin van de leiding (dus niet als eind). De stroomrichting is als het ware omgekeerd. Dit is om te voorkomen dat het uitstroomdebiet in SAFETI-NL onnauwkeurig wordt berekend.

Tabel 10-26 Invoerwaarden voor bovengrondse installaties verbonden met één uitgaande transportleiding: uitstroming vanuit het stroomafwaartse deel van de inrichting

Parameter	Invoerwaarde
Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van de <i>uitgaande</i> transportleiding.
Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van de <i>uitgaande</i> leiding.
Internal diameter	De inwendige diameter van de <i>uitgaande</i> transportleiding.
Pumped inflow	Default: 0 kg/s (zie opmerking 1).
Valves	(...) De 'valve distance' wordt zodanig gekozen dat het leidingvolume tussen de klep en de breuklocatie niet kleiner is dan het ingeblokke volume <i>downstream</i> van de uitstroomlocatie.

Opmerkingen:

1. Als de leidinglengte 10 km is of korter, dan wordt 0,1 kg/s gebruikt om verkeerde tijdmiddeling voor het tweede tijdsegment te voorkomen.

Voor **ondergrondse leidingen** wordt nalevering vanuit stroomopwaartse en stroomafwaartse leidingdelen gecombineerd. Eerst wordt bepaald welk deelscenario de grootste gemiddelde uitstroming geeft tussen 0 en 20 s. Daarbij wordt de uitstroming uit het stroomopwaartse leidingdeel doorgerekend met de aannames van Tabel 10-25 en de uitstroming uit het stroomafwaartse leidingdeel op basis van Tabel 10-26 (als ware het bovengrondse leidingen). In beide gevallen wordt de 'relative aperture' gelijk gesteld aan 1 (namelijk de situatie waarbij de drukafname in de leiding het snelst verloopt). Het leidingdeel met het grootste gemiddelde uitstroomdebiet tussen 0 en 20 s is het 'bepalende leidingdeel' en fungeert als basis voor de

invoer van het Long Pipeline model. Alleen de lengte wordt aangepast om de invloed van het tweede leidingdeel te verdisconteren.

De invoerwaarden voor ondergrondse installatie-onderdelen zijn weergegeven in Tabel 10-27. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de gewijzigde waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 10-25.

Tabel 10-27 Invoerwaarden voor ondergrondse installaties verbonden met één inkomende en één uitgaande transportleiding

Parameter	Invoerwaarde
Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
Pipe length	Default: 64 km (zie opmerking 1).
Internal diameter	De inwendige diameter van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
Distance to break	Default: 32 km (zie opmerking 2).
Valves	Voor een gangbaar inbloksysteem zijn twee kleppen nodig (één vóór de breuklocatie en één áchter de breuklocatie). De 'valve distance' wordt zodanig gekozen dat de gemodelleerde volumes voor en áchter de breuklocaties niet kleiner zijn dan het ingeblokte volume stroomopwaarts danwel stroomafwaarts van de uitstroomlocatie.
Elevation	0 m.
Release direction	Verticaal.

Opmerkingen:

1. De leidinglengte is de som van de lengtes van de inkomende leiding en de uitgaande leiding. Voor leidingen langer dan 10 km is de lengte nauwelijks relevant voor het uitstroomdebiet. Standaard wordt de waarde 64 km gebruikt. Als de lengte van de inkomende leiding en/of de uitgaande leiding 10 km is of korter, dan mag de werkelijke waarde worden gebruikt. Dit is niet verplicht.
2. Standaard wordt een breuklocatie halverwege de leiding genomen. Indien is uitgegaan van werkelijke lengtes van leidingdelen dan wordt de 'distance to break' aan het eind van de bepalende leiding gekozen.

10.9.4.2 Inrichting verbonden met meerdere inkomende en uitgaande leidingen

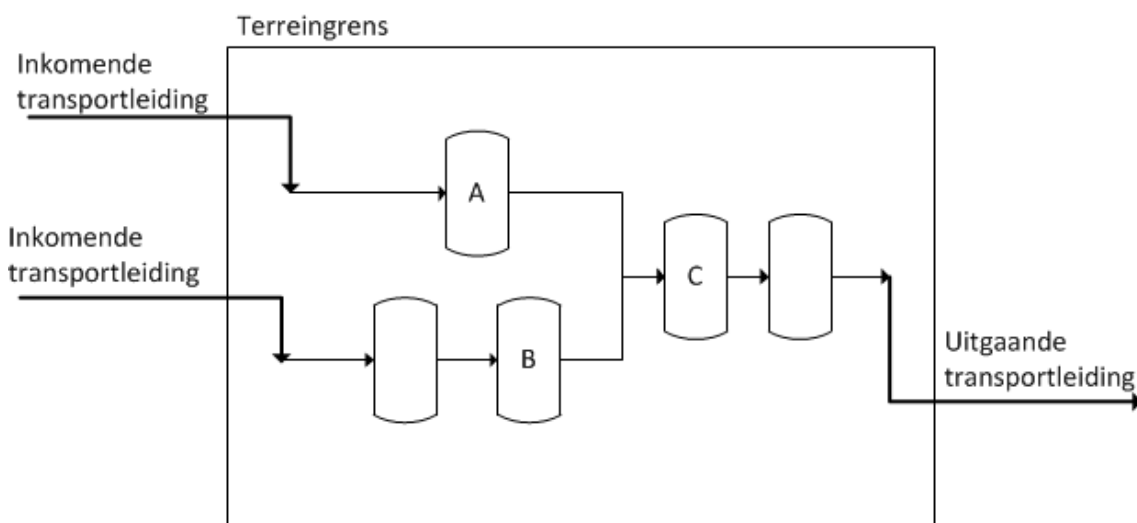
Figuur 10-5 geeft een voorbeeld van een inrichting die verbonden is met meerdere ingaande en uitgaande leidingen. Ook voor deze situatie wordt een Long Pipeline model gebruikt. Omdat er meerdere leidingen zijn, is er 'guidance' nodig over de invoerwaarden voor druk, temperatuur, diameter, enz.

Strikt genomen zijn de inkomende leidingen voor de uitstroming vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting verschillend voor de installatie-onderdelen A, B en C in Figuur 10-5. In de vereenvoudigde aanpak wordt hiermee geen rekening gehouden. De vereenvoudigde aanpak blijft een eenvoudige aanpak die over het geheel genomen robuuste uitkomsten oplevert. In het bijzonder is de modellering voor de installatie-onderdelen A, B en C dus identiek als de diameter van de aansluitingen gelijk is. De inrichting zelf is een 'black box'.

De enige uitzondering^p hierop is een inrichting met volledig gescheiden productstromen. Volledig gescheiden productstromen worden los van elkaar ingevoerd en gemodelleerd.

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

^p Het is natuurlijk ook toegestaan om maatwerk te leveren.



Figuur 10-5 Voorbeeld van een inrichting verbonden met meerdere inkomende en uitgaande transportleidingen

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

Eerst wordt voor elk van de inkomende leidingen afzonderlijk het uitstroomdebiet tussen 0 en 20 s bepaald op basis van de uitgangspunten van Tabel 10-25. Alleen de 'relative aperture' wijkt af en wordt gelijk gesteld aan 1 (de situatie waarbij de drukafname in de leiding het snelst verloopt). De inkomende transportleiding die het grootste gemiddelde uitstroomdebiet geeft tussen 0 en 20 s, geldt als het 'bepalende leidingdeel' en fungeert als basis voor de verdere invoer. De invloed van de overige leidingen wordt verdisconteerd door de diameter in het Long Pipeline model te vergroten (de inkomende transportleiding wordt als het ware verbreed).

De invoerwaarden voor bovengrondse installatie-onderdelen zijn weergegeven in Tabel 10-28. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de gewijzigde waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 10-25.

Tabel 10-28 Invoerwaarden voor toevoer vanuit meerdere inkomende transportleidingen

Parameter	Invoerwaarde
Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van het <i>bepalende</i> leidingdeel.
Internal diameter	De equivalente diameter voor alle inkomende leidingen (zie opmerking 1), met een maximum van 2 m. Als deze waarde groter is dan $\sqrt{5} \times$ de gatgrootte, dan wordt $\sqrt{5} \times$ gatgrootte gebruikt.
Pumped inflow	Default: 0 kg/s (zie opmerking 2).

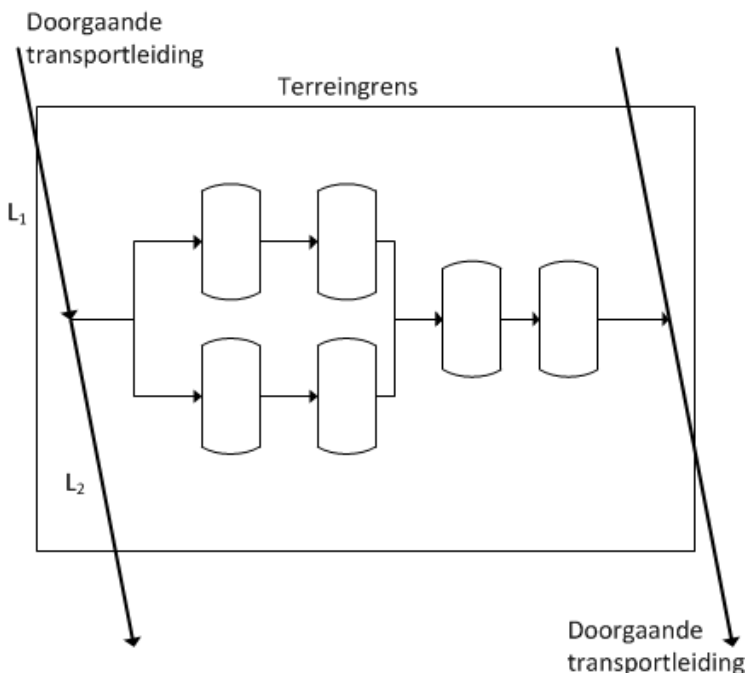
Opmerkingen:

1. De equivalente diameter wordt bepaald door voor elke inkomende leiding afzonderlijk de diameter te kwadrateren, deze waarden te sommeren en daar de wortel van te nemen. In formulevorm: $D_{eq} = (D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_N^2)^{1/2}$.
2. Met de default instelling voor de leidinglengte (32 km voor bovengronds en 64 km voor ondergronds) hoeft 'pumped inflow' niet meegenomen te worden. 'Pumped inflow' wordt alleen ingevoerd als de leidinglengte 10 km of kleiner is. In dat geval is het 'pumped inflow' gelijk aan het gesommeerde compressordebiet van alle inkomende transportleidingen of de som van het productiedebiet van inkomende productieleidingen.

10.9.4.3 Inrichting verbonden met doorgaande leidingen

Figuur 10-6 geeft een voorbeeld van een inrichting die verbonden is met doorgaande transportleidingen. De berekeningswijze lijkt sterk op die voor inrichtingen met inkomende en uitgaande transportleidingen (paragraaf 10.9.4.1). L_1 is de lengte van de doorgaande leiding voorafgaand

aan de aftakking naar de inrichting en L_2 is de lengte van de doorgaande leiding voorbij de aftakking naar de inrichting.



Figuur 10-6 Voorbeeld van een inrichting verbonden met doorgaande transportleidingen

De (eenzijdige) uitstroming uit een bovengronds installatie-onderdeel met nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting wordt wederom als voorbeeld genomen. De invoerwaarden voor zijn weergegeven in Tabel 10-29. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de afwijkende waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 10-25.

Tabel 10-29 Invoerwaarden voor toevoer vanuit doorgaande transportleidingen

Parameter	Invoerwaarde
Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van de <i>doorgaande</i> transportleiding.
Pressure	De druk is gelijk aan de maximale werkdruk van de <i>doorgaande</i> transportleiding.
Pipe length	Default: 32 km. Anders de <i>totale</i> lengte van de <i>doorgaande</i> transportleiding, L_1+L_2 (zie Figuur 10-6).
Distance to break	Gelijk aan de 'pipe length' (zie opmerking 1).

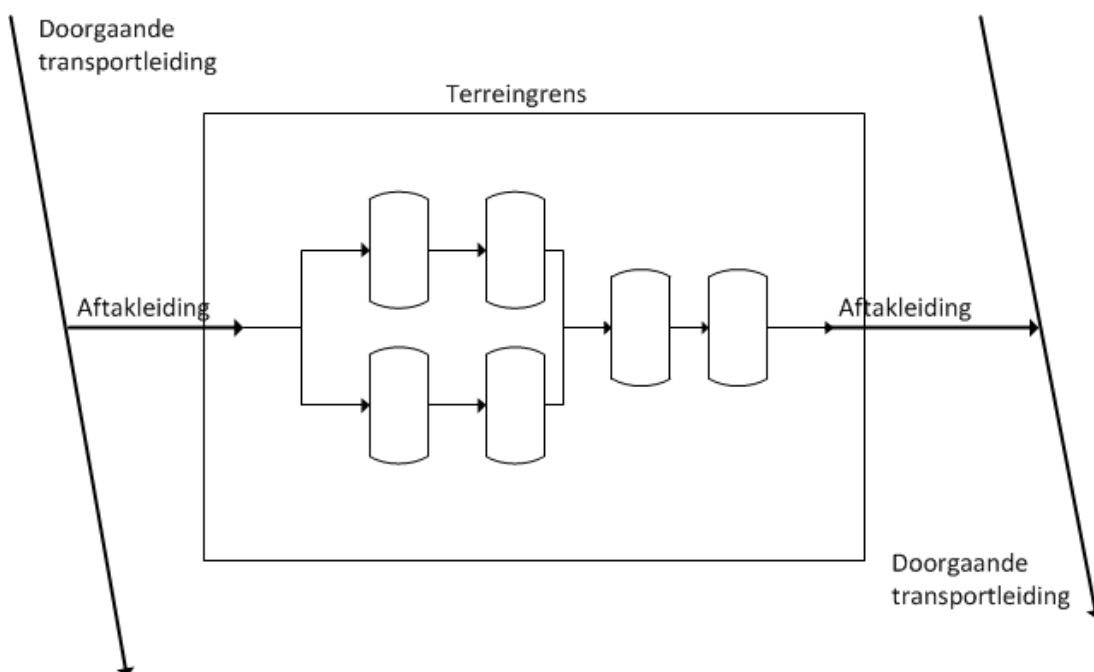
Opmerkingen:

1. De breuklocatie wordt dus aan het *eind* van de leiding geplaatst. Dit is toegelicht in paragraaf 12.5.

10.9.4.4 Inrichting met aftakleidingen naar doorgaande transportleidingen

Figuur 10-7 geeft een voorbeeld van een inrichting die via aftakleidingen verbonden is met doorgaande transportleidingen. Voor deze inrichting geldt:

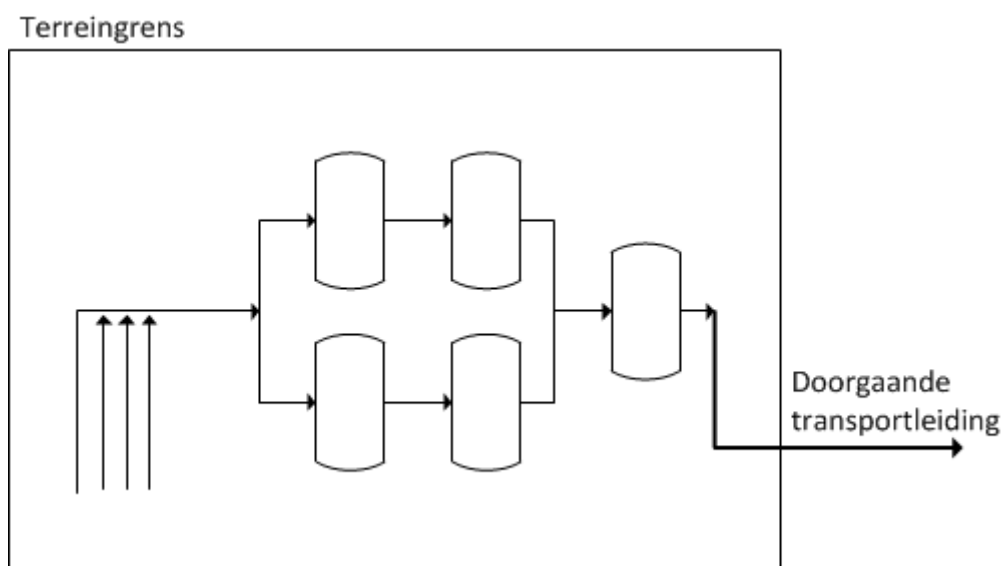
- Als de lengte van de aftakleiding kleiner is dan 10 km, dan wordt de doorgaande transportleiding gebruikt om de invoerwaarden voor het Long Pipeline model te bepalen.
- Als de aftakleiding zelf voldoende lang is (10 km of meer), dan worden de eigenschappen van de aftakleiding gebruikt om de invoerwaarden voor het Long Pipeline model te bepalen. Hiervoor zijn de regels van paragraaf 10.9.4.1 van toepassing.



Figuur 10-7 Voorbeeld van een inrichting die via aftakleidingen is verbonden met doorgaande transportleidingen

10.9.4.5 Puttenlocatie

Figuur 10-8 geeft een voorbeeld van een productielocatie. De belangrijkste invoerwaarden voor de toevoer vanaf de productieput zijn weergegeven in Tabel 10-30. Ter vergroting van de leesbaarheid, zijn alleen de afwijkende waarden opgenomen in de tabel. De overige invoerwaarden zijn gelijk aan die van Tabel 10-25.



Figuur 10-8 Voorbeeld van een productielocatie

Tabel 10-30 Invoerwaarden voor toevoer vanuit de productieputten

Parameter	Invoerwaarde
Temperature	De temperatuur is gelijk aan de temperatuur van het reservoir.
Pressure	Productie: flowing bottom hole pressure. Injectie: compressordruk.
Pipe length	Afstand tot het reservoir (zie opmerking 1).
Internal diameter	Equivalent tubing diameter van de aangesloten productieputten.
Distance to break	Aan het eind van de leiding, dus gelijk aan de pipe length (zie hierboven).
Relative aperture	Default: d^2/D^2 , met d de veronderstelde diameter van het gat en D de invoerwaarde voor de leidingdiameter.
Pumped inflow	Productie: gesommeerd productiedebiet (representatieve waarden). Injectie: 0 kg/s.

Opmerkingen:

1. Als er meerdere putten zijn dan betreft het de gemiddelde afstand tot het reservoir (de gewogen gemiddelde afstand als de diameters van de putten sterk variëren).

10.9.5 Ingeblokte installatieonderdelen

Bij mijnbouwwerken kunnen installatieonderdelen gedurende een deel van het jaar ingeblokt zijn. Het inblokken draagt bij aan de veiligheid en kan gewaardeerd worden in de QRA mits deze realistisch, aantoonbaar en voldoende geborgd is in de vergunning.

De default manier voor het invoeren van een scenario is:

- Bepaal het volume van het ingeblokte systeem.
- Bepaal de gatgrootte voor het betreffende scenario.
- Definieer in SAFETI-NL een Leak scenario en gebruik de optie 'time-varying release'.
- De jets uit stroomopwaartse en stroomafwaartse richting zijn identiek (gatgrootte en druk is gelijk). Er kan met één scenario worden volstaan, waarbij de uitstroombrequentie vermenigvuldigd wordt met een factor twee.

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

- Bepaal het volume van het ingeblokte systeem.
- Bepaal de diameter van de leiding ter plaatse van de gemodelleerde breuk.
- Bepaal – afzonderlijk voor het scenario met nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting en het scenario met nalevering vanuit het stroomafwaartse deel van de inrichting – de afstand tot de meest nabije verbreding in de leiding of het meest nabije vat. Deze afstand is de 'line length'.
- Definieer in SAFETI-NL een Line Rupture scenario en gebruik daarbij de optie 'time-varying release'.

10.9.6 Blowout van de put tijdens productie of injectie

De gatgrootte is gelijk aan de diameter van de casing of de tubing. Zoals beschreven is in paragraaf 10.8.3, vindt nalevering plaats vanuit de put (Q_A) en vanuit de installaties die via de 'wing valve' met de put verbonden zijn (Q_B).

Voor de toevoer vanuit de put (Q_A) gelden de volgende uitgangspunten:

- De uitstroming wordt berekend met het Long Pipeline model.
- De lengte van de leiding is gelijk aan de afstand van de putmond tot het reservoir.
- De afstand tot de breuk ('distance to break') is gelijk aan de lengte van de leiding.
- De diameter van de leiding is gelijk aan de diameter van de tubing.
- De druk betreft de 'flowing bottom hole pressure' (FBHP) als er sprake is van productie. Voor injectie is de druk gelijk aan de compressordruk.
- Bij de 'pumped inflow' wordt een representatief productiedebiet ingevoerd als er sprake is van productie. Als er sprake is van injectie dan wordt er geen pumped inflow ingevoerd.

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

10.9.7 Blowout van de put tijdens onderhoudswerkzaamheden

De gatgrootte is gelijk aan de diameter van de casing of de tubing. Bij aanvang van de uitstroming staat de put onder druk. Nalevering vindt uitsluitend plaats vanuit de put (10.8.3). Voor de modellering in SAFETI-NL gelden de volgende voorwaarden.

- De uitstroming wordt berekend met het Long Pipeline model.
- De lengte van de leiding is gelijk aan de afstand van de putmond tot het reservoir.
- De afstand tot de breuk ('distance to break') is gelijk aan de lengte van de leiding.
- De diameter van de leiding is gelijk aan de diameter van de tubing of casing (zie Tabel 10-7 en Tabel 10-9).
- De druk betreft de 'closed in tubing head pressure' (CITHP).
- De 'pumped inflow' is gelijk aan nul (ingesloten put).

Als de modellering van de tubing blowout een uitstroomdebiet geeft die lager is dan de 'tubing blowout potential' (TBOP), dan wordt de modellering aangepast zodanig dat het uitstroomdebiet gelijk is aan de TBOP. Als de modellering van de casing blowout een uitstroomdebiet geeft die lager is dan de 'casing blowout potential' (CBOP), dan wordt de modellering aangepast zodanig dat het uitstroomdebiet gelijk is aan de CBOP.

10.9.8 Lekkage vanuit de put

De modellering is gelijk aan die voor de overige lekscenario's, zie paragraaf 10.9.1.

10.10 Voorbeeldberekening

In deze paragraaf wordt een rekenvoorbeeld uitgewerkt voor een denkbeeldige inrichting. Het betreft een inrichting waarbij het gas dat toestroomt vanuit twee productieputten, wordt ontdaan van condensaat en water en daarna in een doorgaande transportleiding wordt geïnjecteerd (zie Figuur 10-9). De dikgedrukte (en van letter voorziene) doorgetrokken lijnen in deze figuur stellen de gasleidingen voor en de dingedrukte doorgetrokken lijnen de condensaatleidingen. Waterleidingen en gasleidingen met een kleine diameter zijn niet in de figuur weergegeven.

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

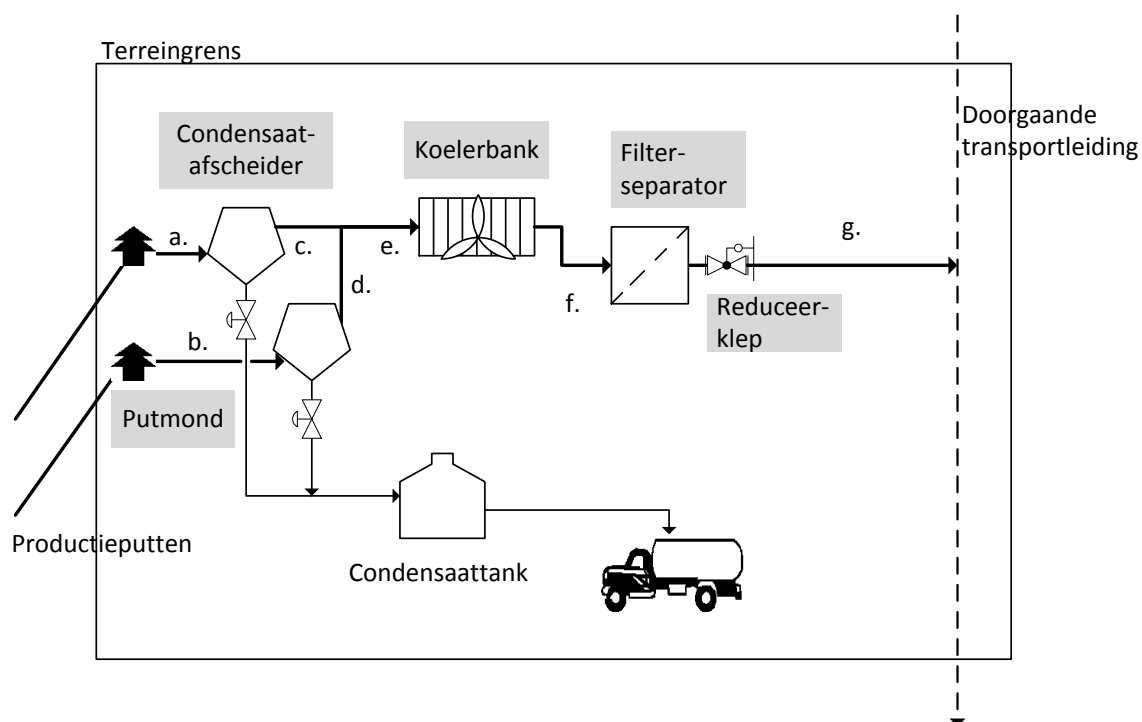
De belangrijkste eigenschappen van de installatieonderdelen worden hieronder beschreven.

De productieputten voeren gas vanaf het reservoir naar twee **putmonden** binnen de inrichting. De putmonden worden meegenomen in de risicoanalyse. De achterliggende productieleidingen hebben de volgende eigenschappen:

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

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

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



Figuur 10-9 Layout van de inrichting van het rekenvoorbeeld

De **gasleidingen a en b** verbinden de putmondten met de condensaatafscheiders. Beide leidingen hebben een lengte van 10 m en een inwendige diameter van 5¼ inch (0,133 m). De **condensaatafscheiders** zijn 'knockout' vaten zonder complexe 'internals'. De operationele druk is 60 bar(g) en de operationele temperatuur 70°C. De aansluitingen met de gasleidingen hebben een diameter van 5¼ inch (0,133 m). De inhoud van de vaten is 20 m³ (elk). De afvoer van condensaat wordt in dit rekenvoorbeeld niet besproken.

De **gasleidingen c en d** vanaf de condensaatafscheiders komen voor de koelerbank samen en gaan dan over in **leiding e**. De diameter van de leidingdelen c en d is 5¼ inch (0,133 m), en die van leidingdeel e 7 inch (0,178 m). De lengte van alle drie de leidingdelen is 10 m (per stuk). De operationele druk en temperatuur zijn gelijk aan die van de binnenkomende productieleidingen (60 bar en 70°C). De **koelerbank** bestaat uit een honderdtal pijpen met een diameter van ¾ inch (0,019 m) per pijp. Voorbij de koelerbank is de operationele temperatuur gedaald tot omgevingstemperatuur.

De **gasleiding e** van de koelerbank naar de filterseparator heeft een diameter van 7 inch (0,178 m) en een lengte van 10 m. De **filterseparator** heeft een volume van 15 m³. De aansluiting met de inkomende en uitgaande gasleidingen is 7 inch (0,178 m). Voorbij de filterseparator wordt de operationele druk met een reduceerklep verlaagd van 60 bar(g) naar 40 bar(g). Voorbij de klep heeft **verbindingleiding g** een diameter van 8,5 inch (0,216 m) en een lengte van 20 m tot aan de doorgaande gastransportleiding. Leidingdeel g heeft een geflensde verbinding met de filterseparator en een gelaste verbinding met de transportleiding.

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

10.10.1 Te hanteren uitstroomscenario's en -frequenties

In Tabel 10-31 zijn de te hanteren uitstroomscenario's en -frequenties weergegeven, met de volgende opmerkingen:

- Leiding g is onderdeel van een systeem van hogedruk gasleidingen met een lengte van meer dan 25 m en voldoet aan de definitie van hogedruk gastransportleidingen (paragraaf 10.4.3.3). Hiervoor moet worden nagegaan of domino-effecten door flenslekkages vanuit andere installaties relevant zijn (zie paragraaf 10.2.4.3).

- Omdat er geen brand- en gasdetectiesysteem is en in het onderwerp niet expliciet is rekening gehouden met het voorkomen van domino-effecten, moeten worden nagegaan hoeveel flenzen de ontvangende leiding g kunnen aanstralen. Deze flenzen zijn relevant voor de uitstroombrequentie als het totale aantal groter is dan 0,6 maal de leidinglengte van leidingdeel g (20 m), oftewel 12.
- De doorgaande (ondergrondse) leiding heeft geen geflensde verbindingen.
- De overige leidingen binnen de inrichting, en de verbindingen van leidingen en vaten, hebben een diameter van 7 inch of minder. De gatgrootte voor relevante flenslekkages is daarom 0,7 inch (18 mm) of minder. De maximale afstand waarop de stralingsintensiteit 35 kW/m² of hoger kan zijn, is volgens Tabel 10-2 gelijk aan 25 m^q. Op basis van deze afstand hoeven alleen de flenzen in de filterseparator en de koelerbank te worden beschouwd.
- De filterseparator bevat naast de verbinding met leiding g nog twee flenzen die leiding g kunnen aanstralen. Gezien vanuit de koelerbank wordt leiding g afgeschermd door de filterseparator. De flenzen op de koelerbank hoeven daarom niet meegenomen te worden voor domino-effecten naar leiding g.^r
- Het aantal flenzen dat een domino-effect kan veroorzaken (2) is kleiner dan 12. Daarmee is de bijdrage van domino-effecten niet relevant en hoeft op basis van paragraaf 10.2.4.3 niet verder te worden onderzocht.^s

Tabel 10-31 Te hanteren uitstroombesluitingen en -frequenties voor de installatieonderdelen van het rekenvoorbeeld

Installatieonderdeel	Activiteit	Scenario	Tabel	Vervolgfactor	Frequentie (per jaar)
Putmond A Putmond B	Productie	Tubing blowout	Tabel 10-6	1	$3,3 \times 10^{-5}$
		Verticaal lek		1	$5,2 \times 10^{-5}$
		Horizontaal lek		1	$9,4 \times 10^{-6}$
	Wireline	Tubing blowout	Tabel 10-7	1	$8,9 \times 10^{-6}$
		Verticaal lek		1	$1,4 \times 10^{-5}$
		Horizontaal lek		1	$2,6 \times 10^{-6}$
	Coiled-tubing	Tubing blowout	Tabel 10-7	0,03	$5,7 \times 10^{-6}$
		Verticaal lek		0,03	$3,3 \times 10^{-6}$
		Horizontaal lek		0,03	$9,9 \times 10^{-7}$
	Workover	Casing blowout	Tabel 10-7	0,125	$7,6 \times 10^{-6}$
		Tubing blowout		0,125	$3,0 \times 10^{-5}$
		Verticaal lek		0,125	$3,4 \times 10^{-5}$
		Horizontaal lek		0,125	$8,0 \times 10^{-6}$
Leidingen a, b, c en d		Breuk van de leiding	Tabel 27	10	$3,0 \times 10^{-6}$
		Lek van de leiding		10	$2,0 \times 10^{-5}$
Knockout vat		Instantaan falen	Tabel 10-12	1	$5,0 \times 10^{-7}$
		Vrijkomen in 10 minuten		1	$5,0 \times 10^{-7}$
		Lekkage 10 mm		1	$1,0 \times 10^{-5}$
Leiding e en f		Breuk van de leiding	Tabel 27	10	$1,0 \times 10^{-6}$
		Lek van de leiding		10	$5,0 \times 10^{-6}$
Koelerbank		Breuk 10 pijpen tegelijk	Tabel 10-23	1	$1,0 \times 10^{-5}$
		Breuk 1 pijp		1	$1,0 \times 10^{-3}$
Filterseparator		Instantaan falen	Tabel 10-17	1	$5,0 \times 10^{-7}$
		Vrijkomen in 10 minuten		1	$5,0 \times 10^{-7}$
		Lekkage 10 mm		1	$1,0 \times 10^{-5}$
Leiding g		Breuk van de leiding	Tabel 10-11	20	$1,1 \times 10^{-7}$
		Lek van de leiding		20	$4,0 \times 10^{-7}$
		Flenslekkage		1	$9,3 \times 10^{-7}$

^q Druk 60 bar, gatgrootte 20 mm.

^r Volgens paragraaf 10.2.4.3 hoeven alleen naastgelegen systemen te worden beschouwd.

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

- De leidingen a en b maken geen onderdeel uit van een systeem van hogedruk gasleidingen met een lengte van meer dan 25 m omdat de putmond als begrenzing van het systeem wordt gezien. Als gevolg hiervan gelden voor deze leidingen de scenario's en frequenties van procesleidingen (Tabel 27 uit paragraaf 3.8).
- Ook voor de overige leidingen, die verschillende typen vaten verbinden, is de lengte van het systeem van leidingen steeds kleiner dan 25 m en zijn de scenario's en frequenties van procesleidingen van toepassing.
- De doorgaande transportleiding is geen onderdeel van de inrichting.

10.10.2 Gebruik vereenvoudigde invoermethode

Volgens paragraaf 10.9.3 worden de scenario's 'instantaan falen van een installatieonderdeel' en 'breuk van een leiding' standaard gemodelleerd met de 'vereenvoudigde invoermethode', op voorwaarde dat de operationele druk in het systeem 16 bar of hoger is, het insluitsysteem een mengsel van ontvlambare gassen bevat of een (ongestabiliseerd) mengsel van ontvlambare gassen en vloeistoffen, en de druk in de toe- en afvoerleidingen niet beduidend lager is dan de druk in het falende insluitsysteem. Deze criteria zijn van toepassing op alle installatieonderdelen behalve de condensaatleidingen, de condensaat tank en de tankauto.^t Voor de blowout scenario's van de putten wordt de vereenvoudigde invoermethode conform paragraaf 10.9.6 en 10.9.7 ook niet gebruikt.

In Tabel 10-32 is aangegeven voor welke scenario's de vereenvoudigde invoermethode wordt gebruikt en wat de bijbehorende gatgrootte is (diameter van het gat).

Tabel 10-32 Scenario's die berekend worden met de vereenvoudigde invoermethode en bijbehorende gatgrootte (diameter)

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

In de vereenvoudigde invoermethode wordt het uitstroomdebiet bepaald aan de hand van de eigenschappen van de inkomende en uitgaande transportleidingen. Voor de modellering wordt het Long Pipeline model in SAFETI-NL gebruikt. Als er meerdere (inkomende of uitgaande) leidingen zijn, dan wordt een equivalente leiding gedefinieerd. Dit is in het rekenvoorbeeld alleen het geval voor de twee inkomende leidingen vanaf de productieputten. De equivalente diameter van de twee putten is 0,189 m ($\sqrt{2} \times 5\frac{1}{4}$ inch). Voor de doorgaande (uitgaande) leiding is de diameter gelijk aan de feitelijke diameter, zie paragraaf 10.9.4.3. In Tabel 10-33 zijn alle relevante invoerwaarden voor Long Pipeline A en Long Pipeline B weergegeven.

Tabel 10-33 Invoerwaarden voor het Long Pipeline model

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

Opmerkingen:

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

1. De weergegeven diameter betreft de maximale waarde omdat de 'relative aperture' in het Long Pipeline model niet kleiner mag zijn dan 0,2 (zie opmerking 1 onder Tabel 10-25). In Tabel 10-34 staat de werkelijke invoerwaarde voor de diameter.

Uit Tabel 10-32 blijkt dat er vijf scenario's zijn die met de vereenvoudigde invoermethode worden berekend. Er zijn maar drie verschillende lekgrootten, namelijk 5¼ inch (0,133 m), 7 inch (0,178 m) en 8½ inch (0,216 m). Voor deze lekgrootten moeten de resterende invoerwaarden voor het Long Pipeline model worden bepaald, te weten de 'aperture area' en de inwendige diameter. De uitkomsten staan in Tabel 10-34.

Tabel 10-34 Invoerwaarden voor de diameter en aperture area in het Long Pipeline model, gegeven de gatgrootte

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

In Tabel 10-34 komen drie bijzondere situaties voor:

- i. De 5¼ inch leidingen (leidingen a t/m d) worden pas na de condensaatafscidders met elkaar verbonden (bij leiding d). Realistisch gezien vindt de toevoer vanuit de put voor deze leidingdelen dus plaats vanuit een leiding met een diameter van 5¼ inch (0,133 m) en niet vanuit een leiding met een diameter van 0,189 m (D_A). Echter, zoals in paragraaf 10.9.4.2 is aangegeven, is de inrichting zelf een black box en daarom wordt voor de toevoerleiding (Long Pipeline A) toch een diameter van 0,189 m ingevoerd. Hetzelfde geldt voor het instantaan falen van een condensaatafscieder.
- ii. Voor lekgrootte 5¼ inch en nalevering vanuit de doorgaande transportleiding (Long Pipeline B) is d^2/D_B^2 gelijk aan 0,141 en dus kleiner dan 0,2. Omdat de minimale relative aperture in het Long Pipeline model gelijk is aan 0,2 moet de inwendige diameter van het model voor deze gatgrootte verkleind worden tot 0,298 (i.p.v. 0,356), zodanig dat $d^2/D_B'^2 = 0,2$. Deze waarde wordt dus gebruikt voor breuk van de leidingen a t/m d en voor het instantaan falen van de condensaatafscidders.
- iii. Voor lekgrootte 8,5 inch en nalevering vanaf putzijde (Long Pipeline A) is d^2/D_A^2 gelijk aan 1,311 en dus groter dan 1. Anders gezegd: de diameter van leiding g (0,216 m) is groter dan de equivalente leidingdiameter voor de productieputten (0,189 m).^u De eigenschappen van de toevoerleiding zijn volgens de vereenvoudigde invoermethode bepalend. De te gebruiken invoerwaarden voor het Long Pipeline model zijn diameter 0,189 m, druk 60 bar, en relative aperture 1.

10.10.3 Effectmodellering

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

- **Putmonden.** De 'blowouts' vanuit de putten worden op basis van paragraaf 10.9.6 en 10.9.7 niet berekend met de vereenvoudigde invoermethode maar op basis van maatwerk. Tijdens productie is de wing valve geopend en is nalevering (terugstroming) vanaf de inrichting mogelijk. De gatgrootte voor de uitstroming is gelijk aan de tubing diameter (5¼ inch). De levering vanaf de inrichting is vanwege de grotere diameters en langere leidinglengtes groter dan de levering vanuit de put. Op basis van een uitgebreide analyse (zie toelichting in paragraaf 12.5) is gekozen om de uitstroming te berekenen met een Long Pipeline met een diameter van 11,74 inch (0,298 m), relative aperture 0,2 (c.q. gatgrootte 5¼ inch), leidinglengte 32 km, 'pumped inflow' 0 kg/s en 'distance to break' gelijk aan de leidinglengte (32 km). Tijdens onderhoudswerkzaamheden (wireline, coiled-tubing en workover) is de put ingesloten maar wel onder druk (130 bar). Voor deze scenario's is de blowout gemodelleerd

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

met een Long Pipeline met een diameter ter grootte van de tubing (5¼ inch) of de casing (7 inch) en een lengte gelijk aan de afstand tot het reservoir (3 km).

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

- **Leidingen a t/m d** Voor breuk van de leiding is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario breuk is 5¼ inch (0,133 m). Long Pipeline A (toevoer vanaf putzijde) heeft dus een diameter 0,189 m en een relative aperture van 0,5 (zie Tabel 10-34). Long Pipeline B (toevoer vanaf landzijde) heeft een diameter 0,298 m en een relative aperture van 0,2. Lek van de leiding is gemodelleerd met het Leak model en een gatgrootte van 0,53 inch (0,013 m).
- **Condensaatafscheiders.** Voor het instantaan falen is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario breuk is 5¼ inch (0,133 m). De modellering stemt daarom overeen met breuk van leiding a (zie aldaar). Voor het vrijkomen van de gehele inhoud in tien minuten is het Fixed Duration model gebruikt en voor het 10 mm lek het Leak model.
- **Leidingen e en f** Voor breuk van de leiding is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario breuk is 7 inch (0,178 m). Long Pipeline A (toevoer vanaf putzijde) heeft dus een diameter 0,189 m en een relative aperture van 0,889 (zie Tabel 10-34). Long Pipeline B (toevoer vanaf landzijde) heeft een diameter 0,356 m en een relative aperture van 0,25. Lek van de leiding is gemodelleerd met het Leak model en een gatgrootte van 0,7 inch (0,018 m).
- **Koelerbank.** Het scenario breuk van 10 pijpen is gemodelleerd met het Leak model op basis van een equivalente diameter van 10 pijpen bij constante druk (geen 'time-varying release'). Breuk van één pijp hoeft vanwege de kleine diameter niet te worden meegenomen (zie Tabel 10-3).
- **Filterseparator.** Voor het instantaan falen is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario instantaan falen is 7 inch (0,178 m). De modellering stemt daarom overeen met breuk van leiding e (zie aldaar). Voor het vrijkomen van de gehele inhoud in tien minuten is het Fixed Duration model gebruikt en voor het 10 mm lek het Leak model.
- **Leiding g.** Voor breuk van de leiding is de vereenvoudigde invoermethode gebruikt. De gatgrootte die hoort bij het scenario breuk van leiding g is 8,5 inch (0,216 m). Long Pipeline A (toevoer vanaf putzijde) heeft een diameter 0,189 m en een relative aperture van 1 (zie Tabel 10-34). Long Pipeline B (toevoer vanaf landzijde) heeft een diameter 0,356 m en een relative aperture van 0,369. Lek van de leiding (inclusief flenslek) is gemodelleerd met het Leak model en een gatgrootte van 0,85 inch (0,022 m).

10.10.4 Uitkomsten

In Tabel 10-35 zijn voor alle scenario's de ingevoerde uitstroombrequentie, de bronterm en de 1% letaliteitsafstanden voor weertype D5 weergegeven. De maximale effectafstand is (afgerond) 160 m en treedt op bij een breuk in leiding g met ontsteking gedurende de eerste 20 s en toevoer vanuit de transportleiding.

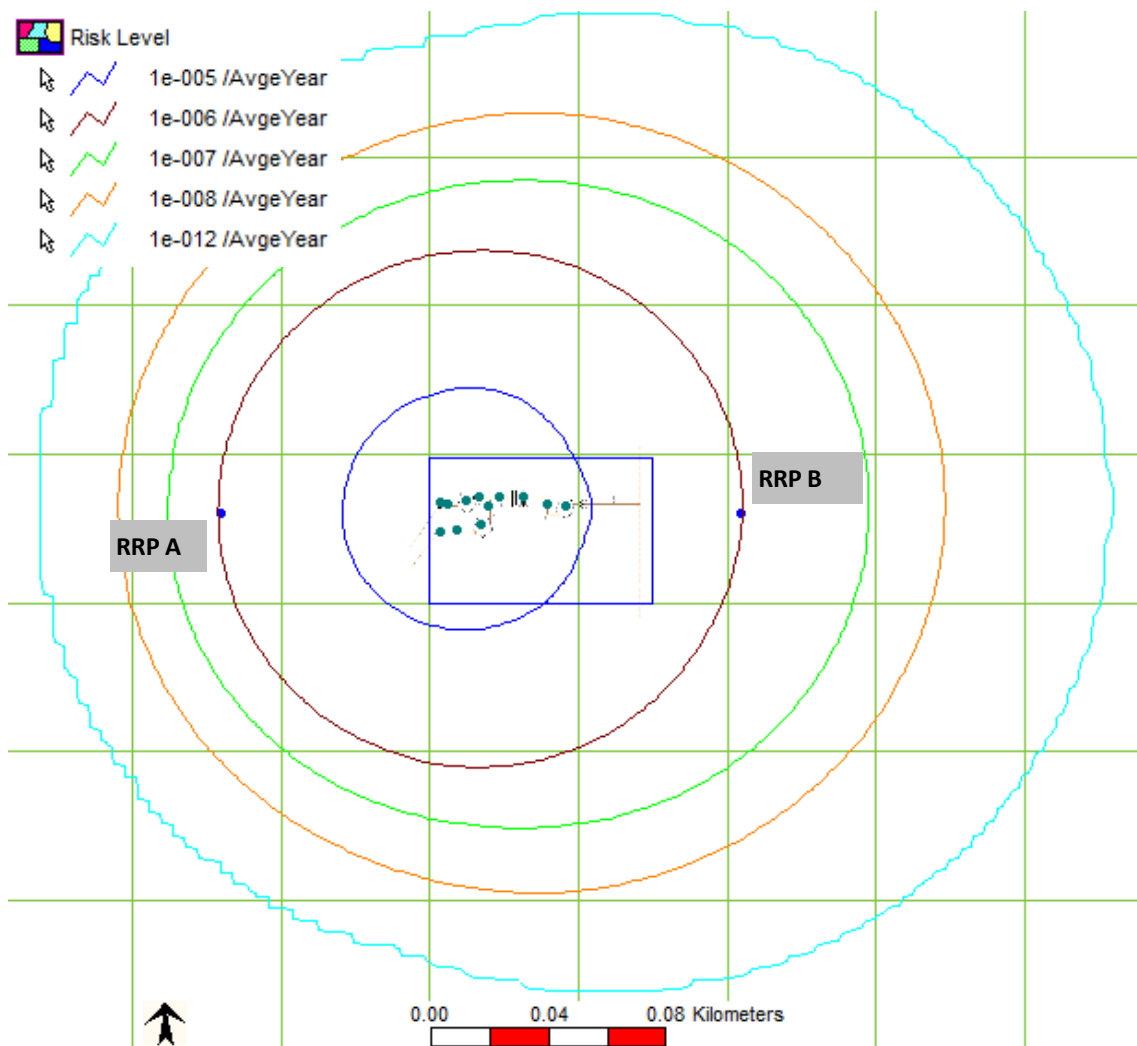
In Figuur 10-10 zijn de resulterende risicocontouren weergegeven. Afhankelijk van de locatie ligt de PR 10^{-6} -contour op 35 tot 70 m afstand van de inrichtingsgrens. Het invloedsgebied reikt tot 150 m afstand van de inrichtingsgrens. In Tabel 10-36 zijn de bepalende scenario's weergegeven voor 'risk ranking point' A (RRP A) dat 70 m ten oosten van de inrichtingsgrens ligt. In Tabel 10-37 zijn de bepalende scenario's weergegeven voor 'risk ranking point' B (RRP B) dat 40 m ten westen van de inrichtingsgrens ligt. De ligging van de PR 10^{-6} -contour wordt in dit rekenvoorbeeld vooral bepaald door leidingbreuken met terugstroming vanaf 'landzijde' (vanuit de doorgaande transportleiding).

Tabel 10-35 Overzicht van de scenario's en de meest relevante uitkomsten

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

Opmerkingen:

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



Figuur 10-10 Plaatsgebonden-risicocontouren van het rekenvoorbeeld

Tabel 10-36 Bepalende scenario's in IRRP A ($PR = 1,1 \times 10^{-6}$ /jaar)

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

Tabel 10-37 Bepalende scenario's in IRRP B ($PR = 9,7 \times 10^{-7}$ /jaar)

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

12. Bijlage Verantwoording

12.5 Hoofdstuk 10 Mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen

De rekenmethode is van toepassing op de volgende typen inrichtingen:

- Brzo-plichtige mijnbouw- en gastransportinrichtingen. Deze zijn aangewezen via artikel 2.1, onderdeel a, van het Bevi [1].
- Inrichtingen waar aardgasdruk gereduceerd wordt of aardgashoeveelheid gemeten wordt, voor zover de gastoevoerleiding een grotere diameter heeft dan 20 inch. Deze zijn aangewezen via artikel 1b, onderdeel g, van de Revi [2].
- Niet Brzo-plichtige mijnbouwwerken, niet zijnde (offshore) mijnbouwinstallaties. Deze worden in 2015 aangewezen via artikel 1b, onderdeel h, van de Revi [2].

Hoofdstuk 10 is tot stand gekomen in de periode tussen 2008 en 2014 door een projectgroep bestaande uit vertegenwoordigers van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM), het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM), het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) de 'Nederlandse Olie en Gas Exploratie en Productie Associatie' (NOGEPa) en de N.V. Nederlandse Gasunie. De huidige versie is een actualisatie en verdieping van de 'interim-methodiek' die in 2010 door SodM is uitgegeven [4].

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

De verantwoording van dit hoofdstuk gebeurt verder per paragraaf.

Verantwoording van paragraaf 10.1 Inleiding rekenmethode mijnbouwwerken en gastransportinrichtingen

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.

Verantwoording van paragraaf 10.2 Algemene uitgangspunten

Inrichtingsgrens (paragraaf 10.2.1)

Met betrekking tot doorgaande transportleidingen moet duidelijk zijn waar de doorgaande transportleiding die valt onder het Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb) [5] eindigt, en waar de leiding die hoort tot de inrichting begint. Gaat het om (i) het punt waar de leiding die producten naar de inrichting voert, aftakt van de doorgaande transportleiding, (ii) het punt waar de leiding die producten naar de inrichting voert bovengronds komt, of (iii) de eerste flens in de leiding die producten naar de inrichting voert binnen de inrichting? In het Bevb wordt niet beschreven waar doorgaande transportleidingen beginnen en eindigen. Om te voorkomen dat leidingen 'tussen wal en schip komen te vallen' is er voor gekozen om de keuze over te laten aan bevoegd gezag.

Mengsels en voorbeeldstoffen (paragraaf 10.2.2)

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

Toxiciteit en ontvlambaarheid (paragraaf 10.2.2.1)

Voor wat betreft de toxiciteit is het criterium van 4,3 vol% H₂S overgenomen van het Bevb. Omdat H₂S de meest toxische component in aardgas is, kan deze ondergrens ook voor andere toxische stoffen gebruikt worden. De relevantie van de toxiciteit van mengsels met meer dan 4,3 vol% is niet onderzocht en in het bijzonder is de invloed van uitstroomcondities (zoals temperatuur, druk, uitstroomduur en afname van het debiet in de tijd) niet bekend. Daarom is in de rekenmethode nog geen voorschrift voor de risicoberekening opgenomen.

De relevantie van de toxiciteit kan (onder andere) op de volgende manier worden ingeschat:

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

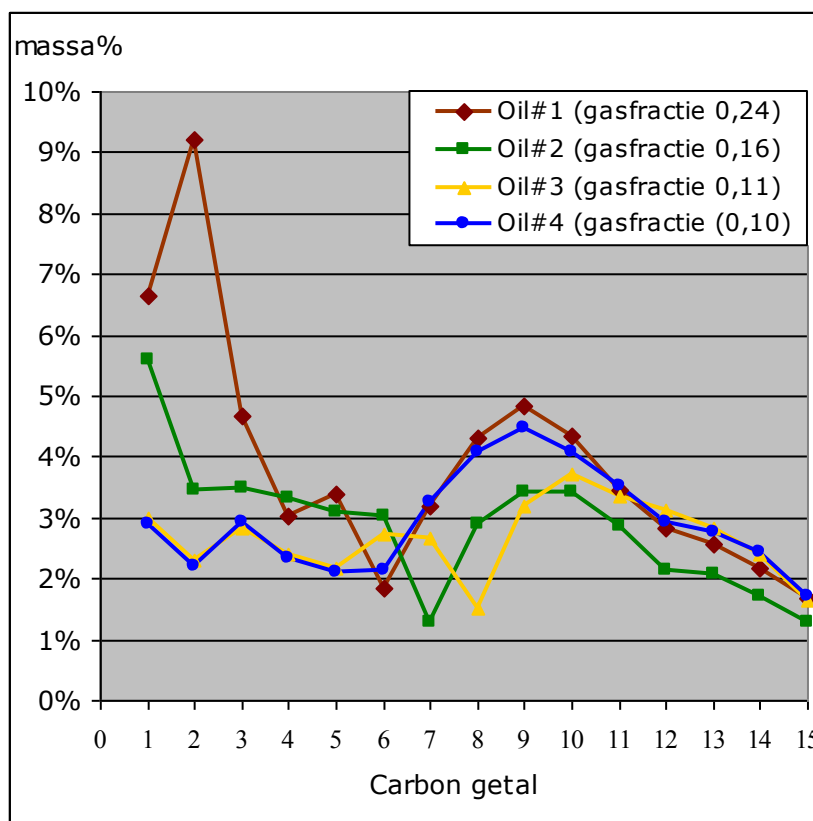
Voorbeeldstoffen voor ontvlambare mengsels (10.2.2.2)

De categorie-indeling is gebaseerd op EU Verordening Nr. 1272/2008, beter bekend als 'CLP' [6]. De indeling van ontvlambare gassen volgens CLP is beschreven in Tabel 2.2.1 en Tabel 2.2.2 van [6]. In deze rekenmethode wordt onderscheid gemaakt tussen aardgas met minder dan 80 m³ condensaat per miljoen Nm³ gas ('aardgas') en mengsels van aardgas en aardgascondensaat met meer dan 80 m³ condensaat per miljoen Nm³ gas ('ongestabiliseerde mengsels'). Daarnaast zijn er drie categorieën van gestabiliseerde mengsels. De indeling is geïnspireerd op de indeling van CLP (Tabel 2.6.1 en Tabel 2.6.2 van [6]).

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. [7] 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. [8] worden oliemengsels geanalyseerd die tot 24 massa% gassen (methaan, ethaan, propaan en butaan) bevatten (zie Figuur 12-1). Het is momenteel niet mogelijk om een goed voorstel te doen voor de effectmodellering voor mengsels van olie en gas. Voor deze effectmodellering is aanvullend inzicht nodig in:
 - de uitstroming van dergelijke mengsels (druk, vloeistoffractie, uitstroomsnelheid);
 - de verspreiding van deze mengsels (druppelgrootte, verdamping en uitregenen);
 - de effecten van een fakkelbrand.Binnen de literatuur zijn deze gegevens niet of nauwelijks beschikbaar. Ook het 'Multicomponent model' in PHAST is nog onvoldoende geschikt om mengsels van vloeibare en vluchtige componenten te onderzoeken.^v 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 [9].

^v 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.



Figuur 12-1 Samenstelling van enkele ruwe-oliemonsters (Burke et al., [8])

Voorwaarden voor het gebruik van de standaard uitstroomfrequenties (10.2.3)

De aanpak is gelijk aan die voor Brzo-bedrijven en andere typen inrichtingen.

Additionele faaloorzaken (paragraaf 10.2.4)

Runaway reacties (paragraaf 10.2.4.1)

De tekst is identiek aan de tekst voor Brzo-inrichtingen (paragraaf 3.2.2).

Externe beschadiging (paragraaf 10.2.4.2)

De aanpak is analoog aan die voor Brzo-inrichtingen (paragraaf 3.2.2) en andere typen inrichtingen. Voor leidingen binnen de inrichtingen zijn de faaloorzaken en -frequenties specifiek onderzocht. In het bijbehorende rapport [11] staat expliciet dat de kans op schade door externe beschadiging niet in de uitstroomfrequentie is opgenomen en dat deze bijdrage bovendien niet zonder meer verwaarloosd kan worden. Daarom moeten maatregelen getroffen worden om de kans op externe schade te beperken. In het rapport wordt gerefereerd aan maatregelen tegen aanrijdingen en maatregelen tegen het vallen van voorwerpen bij hijswerkzaamheden.

Interne domino-effecten (paragraaf 10.2.4.3)

Voor mijnbouwwerken wordt voor hogedruk gastransportleidingen de bijdrage van domino-effecten specifiek beschouwd. De reden is dat in het onderzoek naar de kans op breuk van een hogedruk transportleiding ([11]) expliciet is aangegeven dat de bijdrage van domino-effecten additioneel in rekening gebracht moet worden. Voor overige installatie-onderdelen (anders dan hogedruktransportleidingen) zijn de uitgangspunten gelijk aan die voor Brzo-bedrijven (paragraaf 3.2.2).

Voor de hogedruk gastransportleidingen worden alleen domino-effecten als gevolg van branden die ontstaan bij flenslekkages meegenomen. Dit heeft de volgende redenen:

- i. Leidinglekken of lekken in vaten geven een kleine bijdrage in de (verhoging van de) uitstroomfrequentie en zijn daarom niet relevant.
- ii. Leidingbreuk en instantaan falen van een vat geven vergelijkbare effecten als het domino-effect. Ter vereenvoudiging van de methode hoeven deze scenario's voor het domino-effect

niet extra te worden beschouwd.

Buisleidingen falen als ze worden blootgesteld aan direct vlamcontact of intensieve warmtestraling. Als criterium hiervoor is 35 kW/m^2 gekozen. De effectafstanden van Tabel 10-2 zijn berekend voor methaan bij een temperatuur van 9°C en gelden voor weertype D9. De temperatuur en het weertype zijn conservatief gekozen.

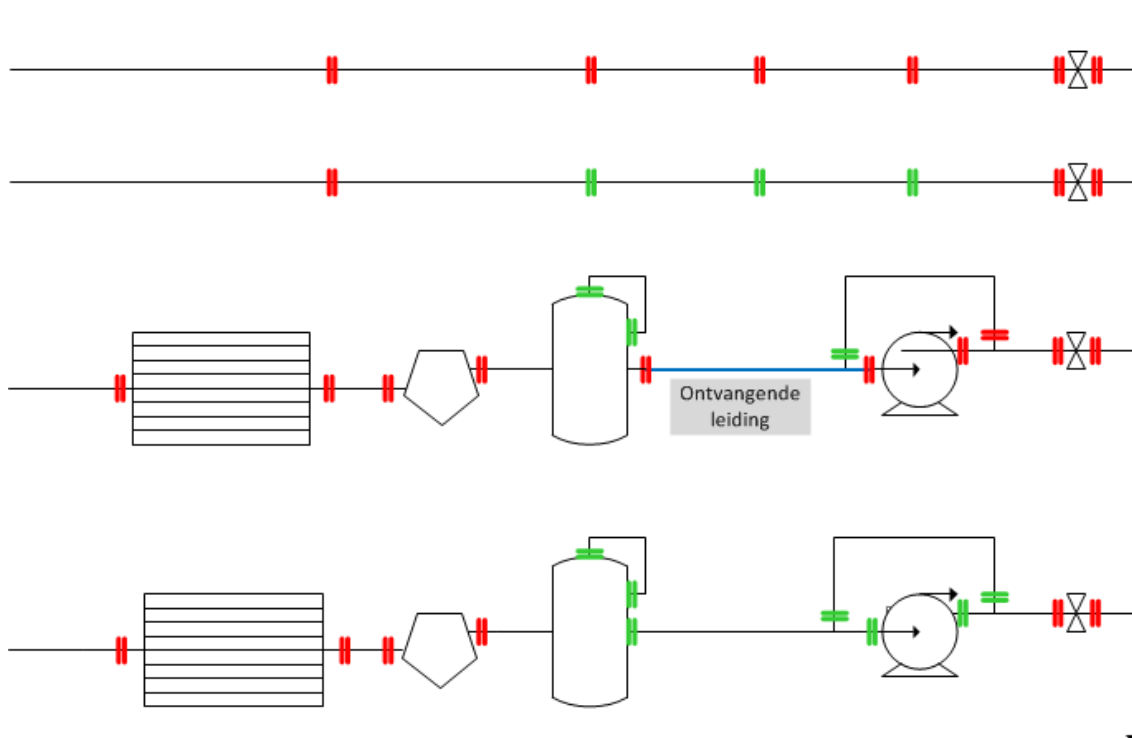
Elke flens die een intern domino-effect kan veroorzaken, geeft een verhoging van de kans op breuk van de hogedruk gastransportleiding van $9,3 \times 10^{-10}$ per jaar. Dit is 1‰ van de basiskans op een flenslek ($9,3 \times 10^{-7}$ per jaar per flens). De waarde 1‰ is ontleend aan [11] en is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- De ontstekingskans voor een klein lek is 0,04 (aardgas).
- De vervolgcans dat het lek gericht is op de naburige leiding wordt ingeschat op 0,3.
- De kans dat de lekkage tijdig gesignaleerd kan worden en een domino-effect voorkomen kan worden, wordt ingeschat op 0,9. De vervolgcans dat niet tijdig wordt ingegrepen is dus 0,1.

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

De effectafstanden in Tabel 10-2 zijn berekend met SAFETI-NL 6.54 en zijn naar boven afgerond op veelvouden van 5.

In Figuur 12-2 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 installatieonderdeel. 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.



Figuur 12-2 Voorbeeld van flenzen die in de beschouwing van een domino-effect voor de ontvangende leiding moeten worden meegenomen (weergegeven in groen).

Uitzonderlijke natuurlijke omstandigheden (10.2.4.4)

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

Moedwillige verstoring (10.2.4.5)

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

Boringen (paragraaf 10.2.5)

Boringen worden gezien als tijdelijke activiteiten waarvoor het afwegingskader van Bevi niet geschikt is. Voor boringen wordt bij het verstrekken van de boorvergunning nagegaan of de risico's van de boring acceptabel zijn voor de omgeving.

Insluitsystemen die buiten beschouwing mogen worden gelaten (paragraaf 10.2.6)

In paragraaf 10.2 is aangegeven dat sommige installatieonderdelen buiten beschouwing mogen worden gelaten omdat ze niet relevant zijn voor de externe veiligheid. De lijst is opgesteld door de betrokken vertegenwoordigers van NOGEP. 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. [10] opgemerkt dat mengsels van olie en water met meer dan 55 massa% water geen brand in stand kunnen houden^w. 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.

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

Afkapgrens (paragraaf 10.2.7)

De effectafstanden in Tabel 10-3 en Tabel 10-4 zijn berekend met SAFETI-NL 6.54 en afgerond op veelvoud van 5 m. Voor de horizontale lekkages is het Leak model gebruikt met constant uitstroomdebiet. Deze aanpak geeft voor de gegeven combinatie van gatgrootte en druk de grootste effectafstand. Voor de verticale lekkages is het Long Pipeline model gebruikt met lengte 64 km, en een breuklocatie halverwege. De diameter van de leiding is $\sqrt{5}$ keer de gatgrootte en de 'relative aperture' is 0,2. Ook dit is – binnen de mogelijkheden van SAFETI-NL 6.54 – de meest conservatieve aanpak.

Maatregelen en systeemreacties (10.2.8)

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

Nalevering (paragraaf 10.2.9)

Voor de scenario's lek in een vat (diameter 10 mm) en lek in een leiding (diameter 10% van nominale diameter, maximaal 50 mm) wordt het uitstroomdebiet hoofdzakelijk bepaald door de initiële druk in het systeem en de gatgrootte. Voor deze scenario's wordt het uitstroomdebiet niet tijdafhankelijk berekend. Nalevering geeft een verlenging van de uitstroomduur en is voor de genoemde scenario's niet relevant zolang de vrijkomende stoffen geen giftige eigenschappen hebben. Voor mengsels met meer dan 4,3 vol% toxische stoffen (waaronder H₂S) moet maatwerk verricht worden.

Rapportageplicht (paragraaf 10.2.10)

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

Installatieonderdelen, uitstroomscenario's en uitstroomfrequenties (paragraaf 10.2.11)

Het streven is geweest om daar waar mogelijk aan te sluiten bij de risicomodellering voor Brzo-inrichtingen, waarvoor de scenario's en uitstroomfrequenties beschreven zijn in Hoofdstuk 3. Voor olie- en gasputten en slokkenvangers bestond nog geen voorschrift en hiervoor zijn nieuwe scenario's en frequenties opgesteld. Voor hogedruk gastransportleidingen en voor verschillende typen pompen en compressoren zijn nieuwe uitstroomfrequenties afgeleid op basis van uitgebreid onderzoek. Voor flexibele leidingen, verschillende typen separatoren en voor koelerbanken zijn nieuwe uitstroomfrequenties vastgesteld op basis van analogieën met installatie-onderdelen waarvoor reeds frequenties beschikbaar waren. Bij het opstellen van nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties zijn de kaders van het 'Protocol aanpassing rekenmethoden' [12] gebruikt. Tabel 12-1 geeft een samenvatting van de gevolgde werkwijze.

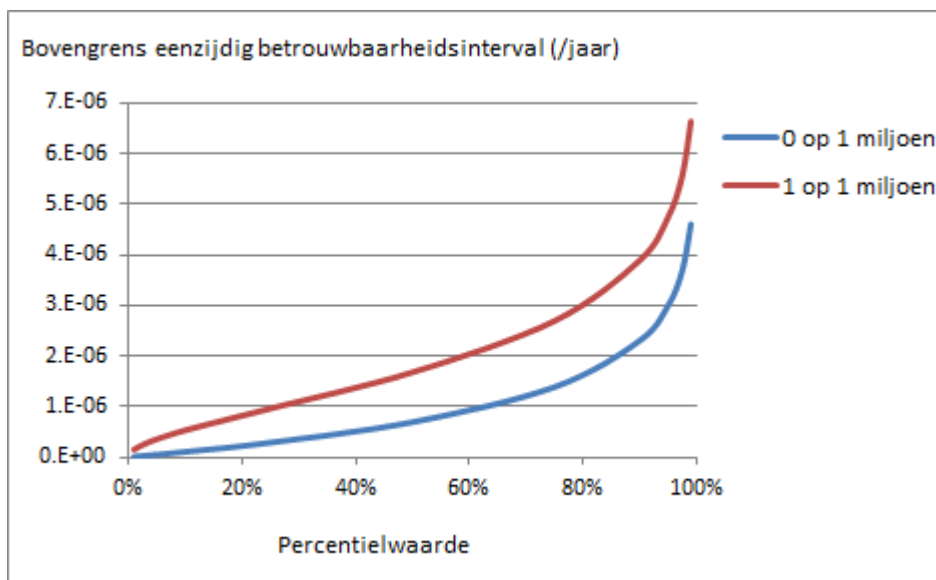
Tabel 12-1 Installatie-onderdelen waarvoor nieuwe uitstroomscenario's en/of -frequenties zijn opgesteld

Installatie-onderdeel	Type aanpassing	Methode
Gas- en olieputten	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor productie, injectie en onderhoudswerkzaamheden	Beschikbare statistiek voor gas- en olieputten.
Leidingen	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor flexibele leidingen	Expert judgement op basis van analogie met offshore flexibele leidingen.
	Nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties voor hogedruk gastransportleidingen	Analogie met transportleidingen buiten de inrichting en gebruikmaking van betreffende statistiek.
Separatoren	Nieuwe indeling in typen separatoren, daarmee samenhangend ook nieuwe uitstroomscenario's en -frequenties	Analogie met 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.

Verantwoording van de statistische methode

Voor gas- en olieputten (paragraaf 10.3), hogedruk gastransportleidingen (paragraaf 10.4.3.3) en pompen en compressoren (paragraaf 10.6) 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 12-3 is de aanpak geïllustreerd voor een fictief voorbeeld. In de figuur is de bovengrens weergegeven van een eenzijdig betrouwbaarheidsinterval voor 0 ongevallen in 1 miljoen ervaringsjaren (blauwe lijn) en voor 1 ongeval in 1 miljoen ervaringsjaren (rode lijn). De 50%-waarde is respectievelijk $6,9 \times 10^{-7}$ per jaar en $1,7 \times 10^{-6}$ per jaar. Ter vergelijking: de rekenkundige gemiddeldes voor deze voorbeelden zijn respectievelijk 0 en 1×10^{-6} per jaar.



Figuur 12-3 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 12-2). In [12] wordt toegelicht hoe de percentielwaarden kunnen worden berekend.

Tabel 12-2 Illustratie van de gebruikte statistische aanpak

Betreffende grootheid	Getalswaarde (voorbeeld)
Aantal ervaringsjaren	450.000
Aantal grote ongevallen	0
Aantal kleine ongevallen	2
Totaal aantal ongevallen	2
Bovengrens (50%) voor totaal aantal ongevallen	$5,94 \times 10^{-6}$ per jaar
Bovengrens (50%) voor grote ongevallen	$1,54 \times 10^{-6}$ per jaar
Resulterende uitstroomfrequentie voor grote ongevallen	$1,54 \times 10^{-6}$ per jaar
Resulterende uitstroomfrequentie voor kleine ongevallen	$4,40 \times 10^{-6}$ per jaar

Verantwoording van paragraaf 10.3 Gas- en olieputten

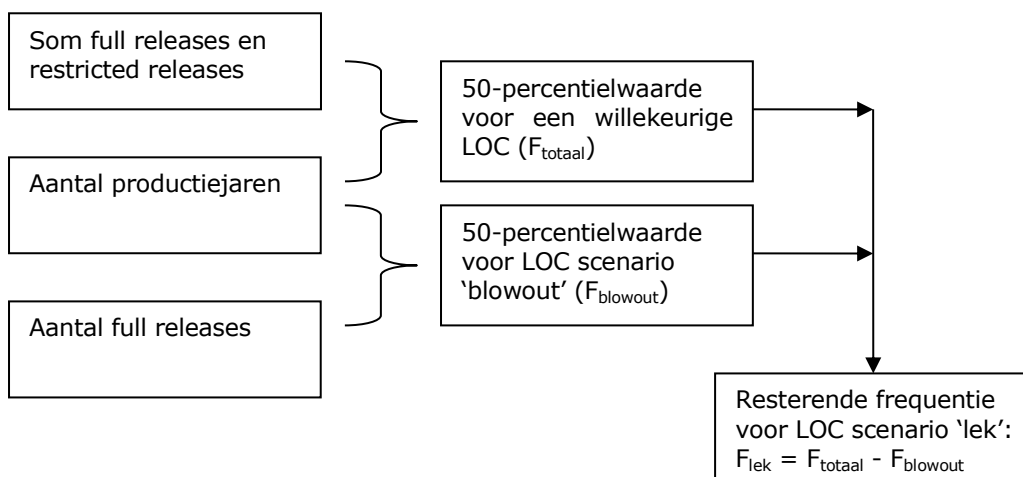
In Figuur 10-1 zijn de onderdelen weergegeven van een put die voldoet aan de 'North Sea Standard'. Alle onderdelen vanaf het reservoir tot en met de 'wing valve' worden tot de put gerekend. Alle bovengrondse installaties vanaf de wing valve moeten afzonderlijk worden meegenomen in de QRA.

Verantwoording afleiding uitstroombereikingsfrequenties voor olie- en gasputten

Uitgangspunt is een rapport van SCANDPOWER [13] waarin uitstroombereikingsfrequenties 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^x. Bij een 'well release' wordt de uitstroom wel gestopt door de aanwezige veiligheidsvoorzieningen^y 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 (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 12-4). Het volledige stroomschema voor de manier waarop de frequenties voor de LOC scenario's zijn afgeleid, is weergegeven in Figuur 12-5.



Figuur 12-4 Toekenning van uitstroombereikingsfrequenties aan LOC scenario's

Faalkansen voor productie en injectie

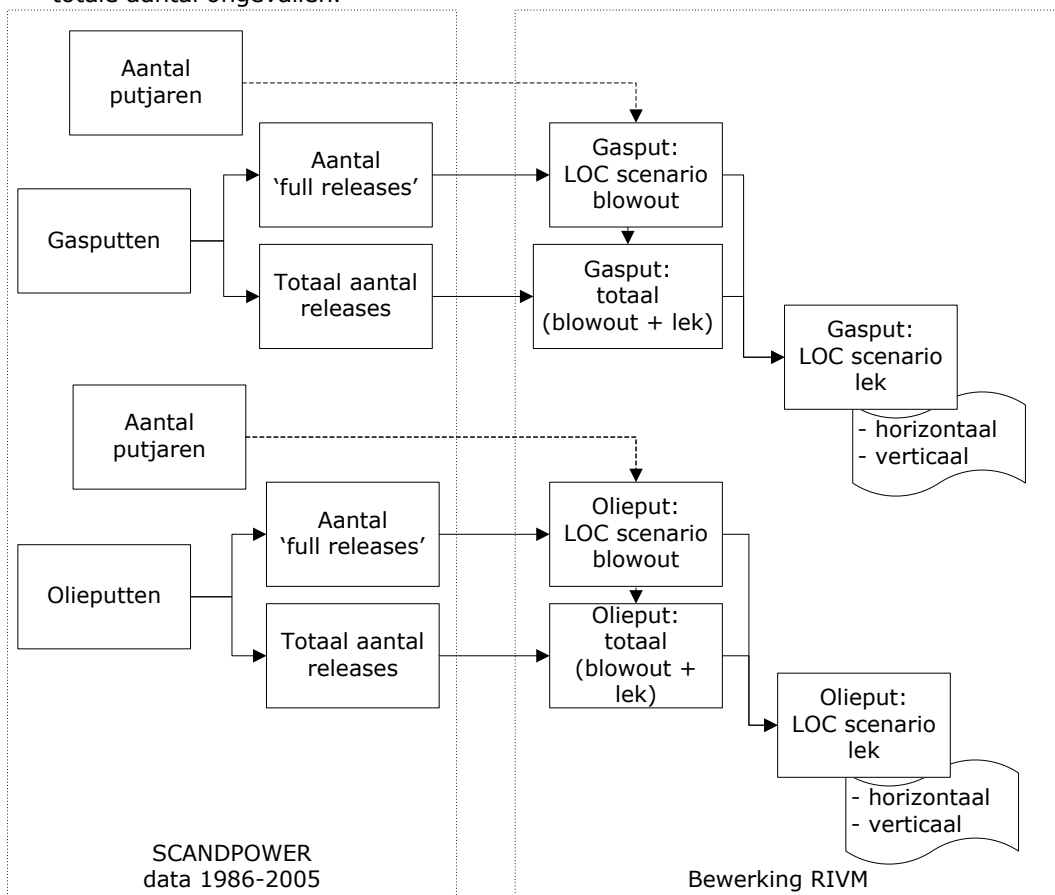
Voor productie en injectie worden in het SCANDPOWER rapport het volgende vermeld:

- Voor de periode 1986-2005 worden in paragraaf 5.2 van [13] 6 '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 [13] blijkt dat in dezelfde periode ook zeven blowouts zijn opgetreden ten gevolge van een externe faaloorzaak (één

^x 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.'

^y 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.'

- 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 uitstroombrequentie.
- Het aantal 'well releases' in dezelfde periode voor dezelfde putten was 2 (zie paragraaf 5.3 van [13]). 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 [13]).
- 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 [13]).
- Voor de verdeling 'full releases'/'restricted releases' worden in paragraaf 6.1 van [13] data gerapporteerd over de periode 1980-2005. Voor 'well blowouts' waren er in deze periode zeven ongevallen, waarvan 2 'full' en 5 'choked' (Tabel 6.1). In dezelfde periode waren er twee 'well releases', waarvan 1 'full' en 1 'choked' (Tabel 6.5). In totaal waren er dus 3 'full releases' en 6 'restricted releases'. De fractie 'full releases' is daarmee een derde van het totale aantal ongevallen.



Figuur 12-5 Stroomschema voor het afleiden van LOC frequenties voor productie/injectie

Voor gasputten worden de volgende getalswaarden afgeleid:

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

^z Deze waarde werd aanbevolen door experts uit de industrie die door de werkgroep benaderd zijn.

bijbehorende kans is $9,4 \times 10^{-6}$ per jaar. Het resterende deel van de kans op een lek ($5,2 \times 10^{-5}$ per jaar) wordt toegekend aan het scenario verticaal lek.

Voor olieputten worden de volgende getalswaarden afgeleid:

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

De resulterende faalkansen zijn vermeld in Tabel 12-3 voor gasputten en Tabel 12-4 voor olieputten. Voor de volledigheid zijn ook de gemiddelde waarden en de 95-percentielwaarden weergegeven.

Tabel 12-3 Resultierende uitstroomfrequenties voor gasputten (productie/injectie)

	Gemiddelde waarde (per jaar)	50-percentielwaarde (per jaar)	95-percentielwaarde (per jaar)
Totale kans	$8,6 \times 10^{-5}$	$9,4 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-4}$
Kans op full release	$2,9 \times 10^{-5}$	$3,3 \times 10^{-5}$	$7,8 \times 10^{-5}$
Kans op restricted release	$5,7 \times 10^{-5}$	$6,2 \times 10^{-5}$	$8,4 \times 10^{-5}$
Kans op een blowout	$2,9 \times 10^{-5}$	$3,3 \times 10^{-5}$	$7,8 \times 10^{-5}$
Kans op verticaal lek	$4,9 \times 10^{-5}$	$5,2 \times 10^{-5}$	$6,8 \times 10^{-5}$
Kans op horizontaal lek	$8,6 \times 10^{-6}$	$9,4 \times 10^{-6}$	$1,6 \times 10^{-5}$

Tabel 12-4 Resultierende uitstroomfrequenties voor olieputten (productie/injectie)

	Gemiddelde waarde (per jaar)	50-percentielwaarde (per jaar)	95-percentielwaarde (per jaar)
Totale kans	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$5,1 \times 10^{-5}$
Kans op full release	$3,6 \times 10^{-6}$	$7,4 \times 10^{-6}$	$3,2 \times 10^{-5}$
Kans op restricted release	$7,1 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,9 \times 10^{-5}$
Kans op een blowout	$3,6 \times 10^{-6}$	$7,4 \times 10^{-6}$	$3,2 \times 10^{-5}$
Kans op verticaal lek	$6,0 \times 10^{-6}$	$8,7 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-5}$
Kans op horizontaal lek	$1,1 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-6}$	$5,1 \times 10^{-6}$

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

Ook voor onderhoudswerkzaamheden zijn de faalkansen afgeleid van de beschikbare gegevens in het SCANDPOWER rapport. 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 [13] 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 [13]), met onderscheid naar het type activiteit (zie Tabel 12-5).^{aa}

^{aa} 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).

- Het aantal 'well releases' tijdens onderhoudsactiviteiten (23,2) in de periode 1980-2005 (paragraaf 6.1.2 in [13]), met onderscheid naar het type activiteit (zie Tabel 12-5).^{aa}
- 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 [13]), met onderscheid naar het type activiteit (zie Tabel 12-5).^{aa}
- Het aantal 'well releases' tijdens onderhoudsactiviteiten (20) in de periode 1986-2005 (Tabel 4.7 in [13]), met onderscheid naar het type activiteit (zie Tabel 12-5).^{aa}
- Het totale aantal blowouts en 'well releases' in de periode 1986-2005 (41^{bb}), 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 [13]). Hieruit worden fracties van het aantal gas releases (19/31) en het aantal olie releases (12/31) afgeleid.
- Het aantal productie jaren voor gas (81.168) en het aantal productie jaren voor olie (93.860) in de periode 1986-2005 en de som van beide (175.028) (paragraaf 4.1 van [13]).
- De fractie van het aantal 'full releases' en het aantal 'restricted releases' voor blowouts (Tabel 6.1 van [13]) en voor 'well releases' (Tabel 6.5 van [13]) voor de onderscheiden (onderhouds)activiteiten in de periode 1980-2005, zie Tabel 12-6.
- De frequentie van de onderhoudsactiviteiten (paragraaf 4.1 in [13]), zie Tabel 12-7.

Tabel 12-5 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 12-6 Verdeling van 'full releases' en 'restricted releases' in de periode 1980-2005

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

Tabel 12-7 Frequentie van onderhoudsactiviteiten volgens SCANDPOWER

Activiteit	Frequentie	Herkomst getal
------------	------------	----------------

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.

^{bb} Het getal 41 wijkt af van het genoemde aantal in Tabel 12-5 (34,8). De achterliggende reden is dat Tabel 12-5 alleen betrekking heeft op scenario's die kunnen optreden bij putten die voldoen aan de North Sea Standard.

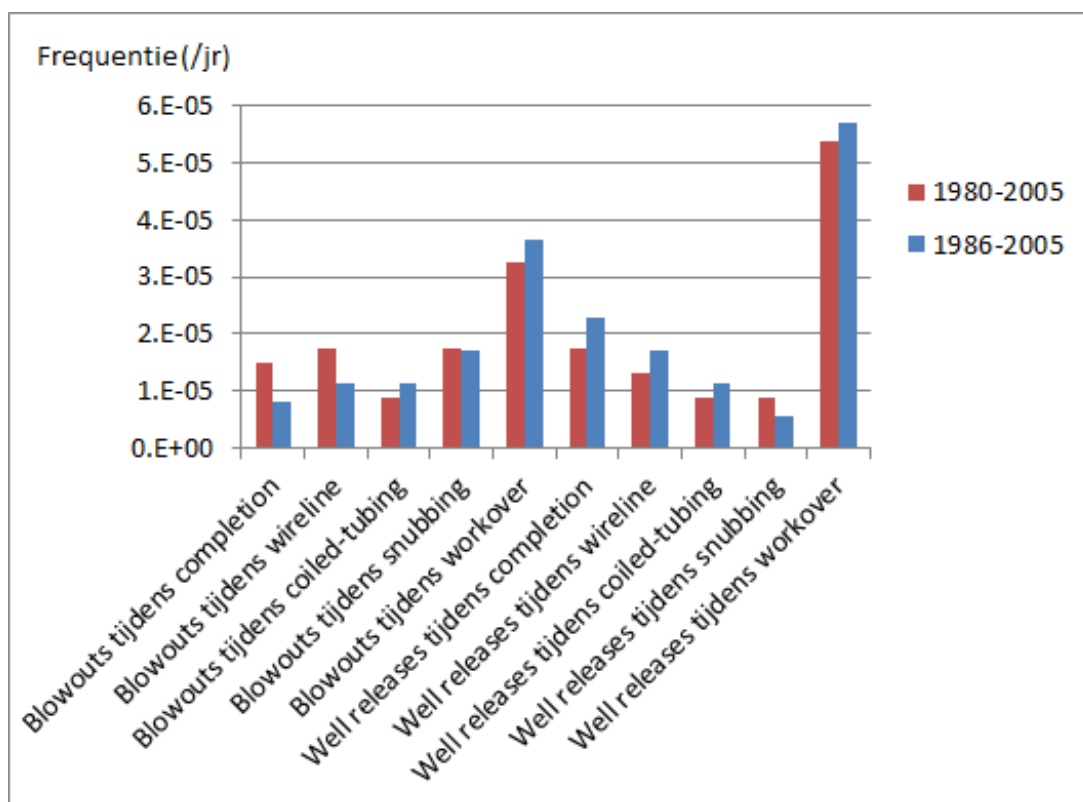
Completion	0,09 per putjaar	16.327 'completions' op 175.042 putjaren.
Wireline	1,7 per putjaar	"assumption based on feedback from oil companies"
Coiled-tubing	0,08 per putjaar	Data analyse voor Noorse platforms in de periode 1995-2000.
Snubbing	0,05 per putjaar	Data analyse voor Noorse platforms in de periode 1995-2000.
Workover	0,14 per gasputjaar 0,2 per olieputjaar	Schatting op basis van referentie 4 in [13].

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 productie jaren voor gas en voor olie gedurende de periode 1980-2005 wordt niet vermeld in [13]. De aantallen voor de periode 1980-1985 zijn wel beschikbaar in [14]^{cc}. In Tabel 12-8 zijn de data van de beide bronnen gecombineerd.

Tabel 12-8 Aantal productie jaren voor gas- en olieputten voor de periode 1980-2005

Periode	Bron	Gasputten	Olieputten	Totaal
1980-1985	Holand ([14])	27.171	24.374	51.545
1986-2005	SCANDPOWER ([13])	81.168	93.860	175.028
1980-2005	Combinatie van [13] en [14]	108.339	118.234	226.573

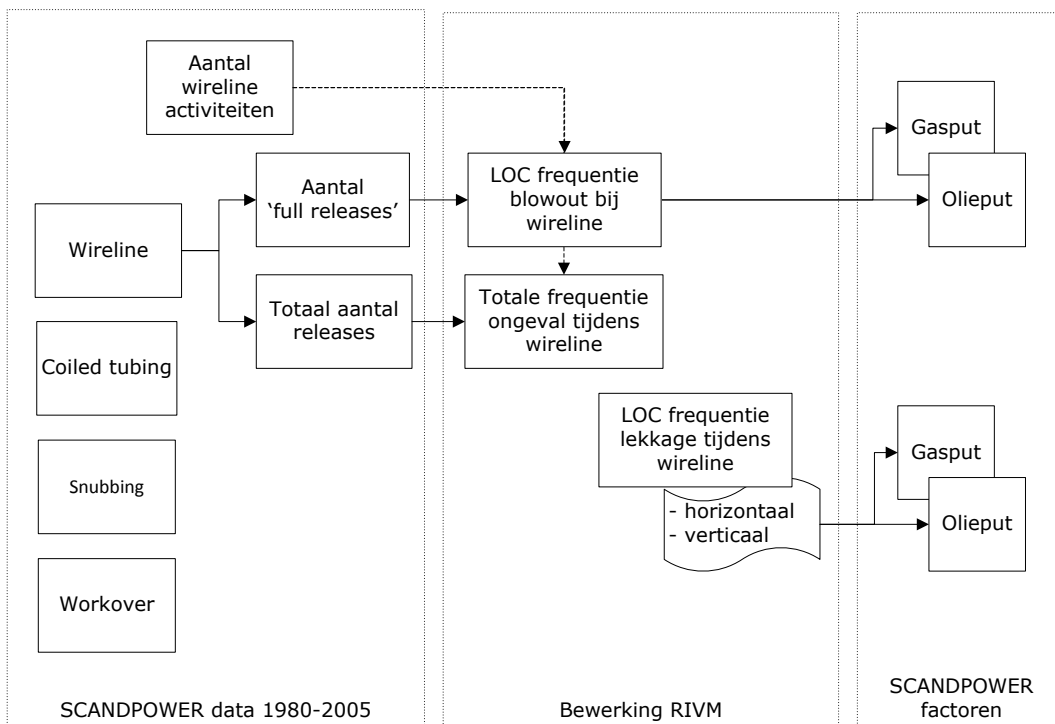
Omdat voor de periode 1980-2005 de verdeling naar 'full releases' en 'restricted releases' bekend is (Tabel 12-6), is deze periode als referentieperiode gebruikt. In termen van ongevalskans zijn de onderlinge verschillen tussen de twee datasets overigens beperkt, zie Figuur 12-6. In de verdere afleiding van uitstroomb frequenties is alleen de verdeling van het aantal gasreleases en het aantal oliereleases gebaseerd op gegevens over de periode 1986-2005.



Figuur 12-6 Vergelijking datasets 1980-2005 en 1986-2005

^{cc} 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).

De manier waarop de uitstroombereikfrequenties zijn afgeleid is weergegeven in Figuur 12-7. 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 12-7 Stroomschema voor het afleiden van LOC frequenties voor onderhoudswerkzaamheden (uitgewerkt voor wireline)

In Tabel 12-9 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 12-9 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 12-10.

Op basis van het aantal ongevallen (Tabel 12-9) en het aantal activiteiten (Tabel 12-10) kunnen

frequenties worden afgeleid. Hiervoor wordt dezelfde aanpak gehanteerd als voor productie (zie Figuur 12-4). De gekozen uitstroombereik frequenties 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 uitstroombereik frequentie 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 uitstroombereik frequenties van Tabel 12-11. 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 12-10 Schatting van het aantal uitgevoerde onderhoudswerkzaamheden

Activiteit	Aantal putjaren	Aantal activiteiten per putjaar (schatting)	Aantal activiteiten (schatting)
Completion	226.573	0,10 ^{dd}	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 ^{ee}	40.783

Tabel 12-11 Uitstroombereik frequenties (50 percentiel) voor LOC scenario's (gas en olieputten tezamen)

	Totaal (freq. per act.)	Blowout (freq. per act.)	Horizontaal lek (freq. per act.)	Verticaal lek (freq. per act.)
Completion	$3,4 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$9,8 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-5}$
Wireline	$2,0 \times 10^{-5}$	$6,9 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-6}$
Coiled-tubing	$2,6 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$8,4 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-5}$
Snubbing	$5,9 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$5,9 \times 10^{-5}$
Workover	$4,9 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$4,9 \times 10^{-5}$

De uitstroombereik frequenties van Tabel 12-11 betreffen gemiddelde frequenties waarin nog geen onderscheid is gemaakt naar gas- en olieputten. Volgens SCANDPOWER zijn er in de periode 1986-2005 41 releases geweest waarvan 19 met uitstroming van gas, 12 met olie, 3 met boorvloeistof en 7 met onbekende uitstroming. Omdat er 7 incidenten zijn met onbekende uitstroming, kunnen de frequenties niet direct uit het aantal ongevallen berekend worden, maar is een extra correctiefactor nodig.

Voor de vertaling van gemiddelde frequenties naar specifieke frequenties voor gasputten en voor olieputten is de aanpak van SCANDPOWER gevolgd. Deze maakt gebruik van de vereenvoudiging dat het aantal gasputten gelijk is aan het aantal olieputten en dat de gemiddelde frequentie voor gas- of olieputten (f_{gem}) het gemiddelde is van de frequentie voor gasputten (f_{gas}) en de frequentie voor olieputten (f_{olie}). In werkelijkheid is deze vereenvoudiging niet nodig en had ook een exacte oplossing gebruikt kunnen worden (zie Tabel 12-12). De verschillen tussen de SCANDPOWER benadering en de exacte oplossing zijn zeer beperkt en vormen geen aanleiding om de uitstroombereik frequenties te herberekenen.

Tabel 12-12 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 uitstroombereik frequenties voor gasputten zijn vermeld in Tabel 10-7 en de resulterende uitstroombereik frequenties voor olieputten in Tabel 10-9.

^{dd} Een afrondingsfout. Volgens Tabel 12-7 is de werkelijke waarde 0,09.

^{ee} Een afrondingsfout. Voor 93.860 olieputjaren en 81.168 gasputjaren is de gemiddelde waarde op basis van Tabel 12-7 gelijk aan 0,17.

Verantwoording van paragraaf 10.4 Leidingen

Voor het onderdeel Leidingen zijn twee onderzoeken uitgevoerd. Het eerste onderzoek betrof een korte analyse van de uitstroombrequentie van flexibele leidingen. Het tweede betrof uitgebreid onderzoek naar transportleidingen voor aardgas binnen inrichtingen.

Procesleidingen (paragraaf 10.4.3.1)

Voor procesleidingen wordt verwezen naar Hoofdstuk 3 en de daarbij horende verantwoording.

Flexibele leidingen (paragraaf 10.4.3.2)

In mijnbouwwerken wordt er veel gebruik gemaakt van flexibele leidingen. Het betreft hier het gebruik van bovengrondse leidingen van het type 'unbonded'^{ff}. Voor dergelijke leidingen zijn in Hoofdstuk 3 nog geen uitstroomb frequenties vastgesteld.

Om informatie te vergaren over de uitstroomb frequenties van flexibele leidingen is een literatuuronderzoek verricht. Uit dit literatuuronderzoek blijkt dat er geen specifieke faalgegevens bekend zijn over flexibele leidingen die op land (onshore) worden gebruikt. Er zijn wel faalgegevens bekend over flexibele leidingen (ook van het bovengenoemde type) die in de offshore worden gebruikt. De omstandigheden waaronder de flexibele leidingen in de offshore worden gebruikt (externe druk van zeewater, externe corrosie, erosie, impact temperatuurswisselingen, etc.), zijn over het algemeen veel zwaarder dan het gebruik van dezelfde flexibele leidingen in de onshore. De uitstroomb frequenties van de flexibele leidingen tijdens de 'offshore omstandigheden' geven daarom een conservatieve benadering voor het inschatten van de uitstroomb frequenties van dezelfde flexibele leidingen die in onshore worden gebruikt.

In Tabel 2 van [15] worden specifieke faalgegevens weergegeven voor flexibele en stalen leidingen met onderscheid naar transportleidingen ('pipelines', Tabel 12-13) en procesleidingen ('piping', Tabel 12-14). De gemiddelde uitstroomb frequentie voor flexibele transportleidingen komt uit op $2,15 \times 10^{-5}$ per jaar en voor stalen transportleidingen $4,15 \times 10^{-6}$ per jaar. De frequentie voor flexibele procesleidingen is dus een factor 5,2 hoger dan die voor stalen transportleidingen. Voor procesleidingen zijn de uitstroomb frequenties respectievelijk $3,51 \times 10^{-4}$ per jaar (flexibele procesleidingen) en $9,84 \times 10^{-5}$ per jaar (stalen procesleidingen). Het verschil is een factor 3,57. Geconcludeerd wordt dat de flexibele leidingen een uitstroomb frequentie hebben die ongeveer een factor 5 hoger is dan de stalen leidingen.

Tabel 12-13 Offshore faaldata voor flexibele en stalen transportleidingen (bron: [15])

Diameter (D)	Flexibele leidingen			Stalen leidingen		
	Ervarings-jaren	Aantal releases	Frequentie (per jaar)	Ervarings-jaren	Aantal releases	Frequentie (per jaar)
D ≤ 4"	107.676	3	$2,79 \times 10^{-5}$	253.976	5	$1,97 \times 10^{-5}$
4" < D ≤ 8"	142.153	1	$7,03 \times 10^{-6}$	955.716	3	$3,14 \times 10^{-6}$
8" < D ≤ 12"	16.206	0		346.172	1	$2,89 \times 10^{-6}$
12" < D ≤ 16"	3.250	2	$6,15 \times 10^{-4}$	214.664	0	
D > 16"	10.375	0		639.147	1	$1,56 \times 10^{-6}$
Totaal	279.660	6	$2,15 \times 10^{-5}$	2.409.675	10	$4,15 \times 10^{-6}$

Tabel 12-14 Offshore faaldata voor flexibele en stalen procesleidingen (bron: [15])

Diameter (D)	Flexibele leidingen			Stalen leidingen		
	Ervarings-jaren	Aantal releases	Frequentie (per jaar)	Ervarings-jaren	Aantal releases	Frequentie (per jaar)
D ≤ 3"	34.517	30	$8,69 \times 10^{-4}$	1.004.405	186	$1,85 \times 10^{-4}$
3" < D ≤ 11"	72.675	10	$1,38 \times 10^{-4}$	1.671.519	98	$5,86 \times 10^{-5}$
D > 11"	6.725	0		474.549	26	$5,48 \times 10^{-5}$
Totaal	113.917	40	$3,51 \times 10^{-4}$	3.150.473	310	$9,84 \times 10^{-5}$

Omdat de belasting van offshore leidingen verschilt van die van onshore leidingen is besloten om de uitstroomb frequenties van Tabel 12-13 en Tabel 12-14 niet te gebruiken voor flexibele onshore leidingen. In plaats daarvan is ervoor gekozen om voor flexibele onshore

^{ff} 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).

procesleidingen dezelfde indeling en uitstroomscenario's te gebruiken als voor vaste onshore procesleidingen (Tabel 27) en de uitstroomfrequenties met een factor 5 te verhogen. Het resultaat is weergegeven in Tabel 12-15.

Tabel 12-15 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	$5,0 \times 10^{-6}$	$2,5 \times 10^{-5}$
$75 \text{ mm} \leq \text{ nominale diameter} \leq 150 \text{ mm}$	$1,5 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-5}$
Nominale diameter > 150 mm	$5,0 \times 10^{-7}$	$2,5 \times 10^{-6}$

In Tabel 12-15 zijn de uitstroomfrequenties voor het scenario lek een factor vijf hoger dan de uitstroomfrequenties voor het scenario breuk. De data van [15] zijn gebruikt om na te gaan of deze verdeling ook voor flexibele leidingen gebruikt mag worden. Uit de analyse (zie Tabel 12-16) blijkt de verdeling 5/6 voor lek en 1/6 voor breuk conservatief is.

Tabel 12-16 Geconstateerde gatgrootten bij het falen van flexibele leidingen (bron: [15])

		Gatgrootte: equivalente diameter in mm						
		<10	10-25	25-50	50-75	75-100	>100	Onb.
Transportleiding	$d \leq 4''$	2	0	1	0	0	0	0
	$4'' < d \leq 8''$	0	0	0	0	0	1	0
	$8'' < d \leq 12''$	0	0	0	0	0	0	0
	$12'' < d \leq 16''$	0	0	0	0	1	1	0
	$d > 16''$	0	0	0	0	0	0	0
Procesleiding	$d \leq 3''$	13	9	4	3	0	1	0
	$3'' < d \leq 11''$	6	2	1	0	0	0	0
	$d > 11''$	0	0	0	0	0	0	0
Totaal		21	11	6	3	1	3	0
Percentage		47%	24%	13%	7%	2%	7%	0%
Cumulatief %		100%	53%	29%	16%	9%	7%	0%

Hogedruk gastransportleidingen (paragraaf 10.4.3.3)

Voor hogedrukgastransportleidingen zijn de mogelijke uitstroomscenario's en -frequenties in 2011 onderzocht. De bevindingen zijn gerapporteerd in [11] en samengevat in Tabel 12-17. In [11] 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 12-17 Resulterende uitstroomfrequenties voor hogedruk gastransportleidingen

Scenario	Aantal meterjaren ervaring	Aantal ongevallen	50 percentielwaarde
Breuk van de leiding	$3,15 \times 10^9$ ⁽¹⁾	17 ⁽¹⁾	$5,6 \times 10^{-9}$
Lek van de leiding	$3,15 \times 10^9$ ⁽¹⁾	63 ⁽¹⁾	$2,0 \times 10^{-8}$
Flenslek	1.802.355	1	$9,3 \times 10^{-7}$

⁽¹⁾ Data afkomstig van Europese hogedrukgastransportleidingen *buiten* de inrichtingen.

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 paragraaf 10.4 zijn al voorwaarden opgenomen waarmee de faaloorzaak 'external impact' kan worden uitgesloten. Als de leidingen hier niet aan voldoen, dan moet het risico van voertuigbewegingen en hijswerkzaamheden specifiek beschouwd worden.

De te gebruiken diameter voor de flenslekkage is op het eerste gezicht onrealistisch groot. Uit het onderzoek naar transportleidingen binnen inrichtingen [11] 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 [11].

Verantwoording van paragraaf 10.5 Separatoren

Binnen de mijnbouwindustrie worden verschillende typen separatoren gebruikt. Deze zijn omschreven in Tabel 12-18.

Tabel 12-18 Typen separatoren inclusief omschrijving

Type separator	Omschrijving
Vloeistofvanger	Type separator waarin vloeibare componenten in een productstroom (water en/of condensaat) worden verwijderd door ze neer te slaan in een vat. De scheiding vindt plaats door gebruik te maken van inertie en zwaartekracht. In sommige gevallen wordt de scheiding bevorderd door internals zoals roosters van schoepen en vinnen. Deze internals dienen enkel als mistvangers. In tegenstelling tot slokkenvangers is de vloeistof tamelijk gelijkmatig over de productstroom verdeeld. In tegenstelling tot gaswassers wordt de vloeistof niet geadsorbeerd of opgelost.
Slokkenvanger	Type separator waarin grote 'slokken' vloeistof uit een gasstroom verwijderd worden. De scheiding gebeurt op basis van inertie en zwaartekracht zonder verdere internals. Er wordt onderscheid gemaakt naar 'vessel type' en 'finger type' slokkenvangers.
Gaswasser (ook wel scrubber) inclusief adsorber	Type separator waarin componenten uit een productstroom verwijderd worden door de productstroom door een medium te leiden. Het medium kan gasvormig, vloeibaar of vast zijn en de te verwijderen componenten kunnen daarin oplossen of adsorberen of daarmee reageren. Ook deluge-systemen en adsorbers vallen onder de categorie gaswassers.
Filterseparator ('eindscriber')	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 ('eindscriber')	Type separator waarin vloeibare en/of vaste componenten uit een gasstroom worden gehaald door de productstroom door een stationaire spiraal (cycloon) of elleboog te sturen waarbij de zwaardere deeltjes (vloeibaar of vast) naar buiten worden geslingerd en worden afgevangen.

De uitstroombesnoeiingen en -frequenties zijn gebaseerd op analogon met installatieonderdelen procesvaten en opslagvaten bij Brzo-bedrijven (Hoofdstuk 3) en hogedruk aardgasleidingen bij mijnbouwwerken. Voor vloeistofvangers, slokkenvangers en gaswassers konden bestaande (tekstuele) aanwijzingen in Hoofdstuk 3 gebruikt worden. Voor filterseparatoren en centrifugaalseparatoren was niet op voorhand duidelijk welk analogon van toepassing was. Voor deze typen is daarom het "Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe Veiligheid" [12] gevolgd. In Tabel 12-19 zijn de resulterende analogons vermeld.

Tabel 12-19 Gebruikte analogons voor uitstroombesnoeiingen en -frequenties

Type separator	Subtype	Analogon
Vloeistofvanger	Standaard	Opslagvat onder druk
	Met complexe internals	Procesvat
Slokkenvanger	Finger type (per vinger)	Opslagvat onder druk
	Vessel type	Opslagvat onder druk
Gaswasser	N.v.t.	Procesvat
Filterseparator	Standaard	Opslagvat onder druk
	Met intrinsiek veilig filter	Default: opslagvat onder druk
Centrifugaalseparator	N.v.t.	Hogedruk aardgasleiding

De keuzes worden verderop per onderdeel toegelicht.

De meeste separatoren bevatten zowel onvlambare gassen als onvlambare 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 onvlambare vloeistoffen gebonden aan een (vast of vloeibaar) medium. Daarom wordt voor gaswassers een uitstroming van gas gezien als de 'worst case' situatie.

Vloeistofvanglers (paragraaf 10.5.3.1)

Er worden twee soorten vloeistofvanglers onderscheiden: standaard vloeistofvanglers en vloeistofvanglers met complexe internals.

- Voor standaard vloeistofvanglers 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 vloeistofvanglers met complexe internals is het analogon met procesvaten gekozen (zie Tabel 31). De keuze is gebaseerd op onderstaande tekst uit paragraaf 3.9: "In procesvaten vindt een verandering plaats van de fysische eigenschappen van de stoffen, bijvoorbeeld de temperatuur of fase. Hieronder vallen ook filters en vaten waarin stoffen gemengd worden."

In paragraaf 10.5.3.1 worden drie voorbeelden gegeven van complexe 'internals', namelijk 'vane packs', 'swirl decks' en schoepentoeters. Voor andere typen 'internals' moet de opsteller van de QRA motiveren of Tabel 10-12 (standaard vloeistofvanglers) of Tabel 10-13 (vloeistofvanglers met complexe 'internals') van toepassing is.

Slokkenvanglers (paragraaf 10.5.3.2)

Er worden twee soorten slokkenvanglers onderscheiden: 'finger type' slokkenvanglers en 'vessel type' slokkenvanglers. 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' slokkenvanglers gelden de frequenties per vinger.

Gaswassers (inclusief adsorbers) (paragraaf 10.5.3.3)

Voor gaswassers is het analogon met procesvaten gekozen (zie Tabel 31). De keuze is gebaseerd op onderstaande tekst uit paragraaf 3.9: "In procesvaten vindt een verandering plaats van de fysische eigenschappen van de stoffen, bijvoorbeeld de temperatuur of fase. Hieronder vallen ook filters en vaten waarin stoffen gemengd worden."

Filterseparatoren (paragraaf 10.5.3.4) en Centrifugaalseparatoren (paragraaf 10.5.3.5)

Voor deze typen is het "Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe Veiligheid" [12] 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 (Tabel 31), opslagvaten onder druk bij Brzo-bedrijven (Tabel 15) en hogedruk gastransportleidingen bij mijnbouwwerken (Tabel 10-11).

Conform het Protocol is de geschiktheid van de mogelijke analogons getoetst aan de volgende criteria:

- functie
- uitvoering
- onderhoud en inspectie
- procescondities
- intensiteit en belasting
- faalorzaken.

De geschiktheid van analogons is gewaardeerd met een driepuntsschaal (zie Tabel 12-20).

Tabel 12-20 Betekenis en getalsmatig gewicht van de waarderingen

Waardering	Betekenis	Getalswaarde
-	Het betreffende type separator vertoont op dit onderdeel weinig of geen gelijkenis met het analogon.	-1
±	Het betreffende type separator vertoont op dit onderdeel beperkte gelijkenis met het analogon.	0
+	Het betreffende type separator vertoont op dit onderdeel aanzienlijke gelijkenis met het analogon.	+1

Voor het aspect faalorzaken zijn de foutenbomen uit Bijlage 8 van de PGS-6 [16] gebruikt. Hierin wordt onderscheid gemaakt naar negen verschillende basis faalorzaken (zie Tabel

12-21). 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 12-21 Faaloorzaken volgens PGS-6 en relevantie daarvan voor procesvaten, drukvaten en hogedruk aardgasleidingen

Faaloorzaak	Relevantie voor procesvat	Relevantie voor drukvat	Relevantie voor hogedruk aardgasleiding
Corrosie: – inwendig – uitwendig	Afhankelijk van product en omgeving.	Afhankelijk van product en omgeving.	Afhankelijk van product en omgeving.
Erosie	Eventueel relevant voor processen met vaste deeltjes en turbulentie.	Niet relevant	Niet relevant voor hoge druk aardgasleidingen met weinig vaste deeltjes.
Externe belasting: – storm, sneeuw, ... – overstroming – aardbeving	Afhankelijk van locatie/omgeving.	Afhankelijk van locatie/omgeving.	Afhankelijk van locatie/omgeving.
Externe impact: – botsing met voertuig – vallende voorwerpen	Relevant.	Relevant.	Relevant.
Fout operator: – overvullen – openen omhulling – sturen naar verkeerde omhulling – monstername	Zeer relevant: Veel operator gestuurde processen, veel monstername.	Beperkt relevant: Beperkte operator gestuurde flow, nauwelijks monstername.	Nauwelijks relevant: Weinig inmenging van operators, geen monstername.
Overdruk / onderdruk: – koeling/verwarming (intern of extern) – chemische reacties – verstopte leidingen – kleppen open/dicht	Zeer relevant, e.g. koeling, verwarming, chemische reacties, frequent aanspreken kleppen.	Relevant: Frequent aanspreken kleppen.	Beperkt relevant: Beperkt aanspreken kleppen.
Hoge/lage temperatuur: – externe brand – exotherme reactie – koudkoken – winters weer – interne koeling/verwarming	Zeer relevante faaloorzaak vanwege mogelijkheden (reacties, inwendige koeling/verwarming) enz.	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 – materiaal fout – 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.

Filterseparatoren (paragraaf 10.5.3.4)

De uitkomst van de toetsing van de geschiktheid van analogons voor filterseparatoren is samengevat in Tabel 12-22. 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 12-22 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 12-22 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 12-22:

- **Functie.** De functie van filterseparatoren is het scheiden van componenten in productstromen. Deze functie wijkt af van de functie van alle drie de analogons (proces- en drukvaten) en ook van de functie van leidingen. Het aspect functie is dus niet onderscheidend.
- **Uitvoering.** Qua wanddikte, staalsoort, enz. is geen onderscheid te maken tussen procesvaten, opslagvaten en leidingen. Voor installaties onder hoge druk zijn de eisen uit de richtlijn drukapparatuur vergelijkbaar met die van de NEN 3650. In vergelijking met leidingen hebben filterseparatoren meer appendages.
- **Onderhoud en inspectie.** Proces- en drukvaten worden periodiek opengemaakt voor onderhoud en inspectie. Leidingen worden extern geïnspecteerd en gepigd. De inspectietermijnen zijn 'risk based'. Een filterseparator wordt ook periodiek opengemaakt. Daarom lijkt een analogie met proces- en drukvaten meer geschikt dan de analogie met leidingen.
- **Procescondities.** Qua procescondities (druk, temperatuur, enz.) zijn filterseparatoren robuuster dan procesvaten omdat er geen variatie optreedt in fysisch/chemische omstandigheden. Tussen drukvat en leiding is geen onderscheid te maken.
- **Intensiteit en belasting.** De intensiteit en belasting is bij de filterseparatoren constant en continu. Daarin lijkt de belasting het meest op die van een leiding. In een procesvat kan de intensiteit sterk variëren. Deze analogie scoort dus negatief.
- **Faaloorzaken.** Voor faaloorzaken is een gedetailleerde analyse gedaan met gebruikmaking van de foutenbomen uit de PGS-6 (Bijlage 8), zie Tabel 12-21. De analyse wordt hieronder

besproken. De uitkomsten van de analyse staan in Tabel 12-23.

Als volgende stap is nagegaan welke faaloorzaken relevant zijn voor filterseparatoren en of de mate van relevantie het meest lijkt op een procesvat, een drukvat of een hogedruk aardgasleiding. Voor filterseparatoren was het nodig om onderscheid te maken naar twee typen: een type waarbij het filter al bij kleine drukverschillen over het doek passief faalt ('intrinsiek veilig filter') en overige typen ('standaard'). Als het filter tijdig faalt, dan zal verstopping van het filter niet leiden tot een grote druktoename.

- **Corrosie.** Inwendige corrosie hangt af van het medium en niet van het type installatieonderdeel. Uitwendige corrosie hangt af van de omgeving. Tussen de analogons onderling (procesvaten, opslagvaten en hogedruk leidingen) is deze faaloorzaak niet onderscheidend.
- **Erosie.** Inwendige erosie is geen relevante faaloorzaak voor hogedruk aardgasleidingen en in het algemeen ook niet voor drukvaten. Filterseparatoren behandelen grotendeels schone productstromen waarbij de internals eerder aangetast raken dan de omhulling. Ook dit aspect wordt als niet onderscheidend beoordeeld. Uitwendige erosie is geen onderscheidend criterium.
- **Externe belasting.** De invloed van externe belasting is voor alle drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze tussen analogons niet onderscheidend.
- **Externe impact.** De invloed van externe impact is voor alle bovengrondse drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze van de analogons dus niet onderscheidend.
- **Fout operator.** Operatorfout is een bekende faaloorzaak voor procesvaten en in mindere mate ook voor drukvaten. De productstromen op mijnbouwwerken worden slechts beperkt aangestuurd door operators. Het analogon leiding is het meest geschikt, gevolgd door het analogon drukvat. NB Het gaat hier om fouten in het reguliere proces. Fouten tijdens of na onderhoud worden geadresseerd onder 'overige oorzaken'.
- **Overdruk/onderdruk.** Overdruk/onderdruk is een bekende faaloorzaak voor procesvaten en in mindere mate ook voor drukvaten. Voor filterseparatoren kan een (gedeeltelijk) verstopt filter in principe leiden tot een ongewenste druktoename in de installatie. In dat geval wordt de faaloorzaak overdruk relevant geacht en het analogon drukvat het meest passend. Filterseparatoren kunnen ook een 'intrinsiek veilig' filter bevatten dat al bij kleine overdruk passief faalt. In dat geval zal verstopping van het filter niet leiden tot een grote druktoename en is het analogon leiding het meest passend.
- **Hoge/lage temperatuur.** Hoge/lage temperatuur is een bekende faaloorzaak voor procesvaten. voor drukvaten en leidingen is eigenlijk alleen externe brand een mechanisme dat kan leiden tot een temperatuur die buiten de specificaties komt. Daarbij zijn leidingen beter bestand tegen de warmtetoevoer omdat de gasstroom een deel van de warmte onttrekt aan de leiding. In filterseparatoren is ook sprake van een gasstroom en daarom is het analogon leiding het meest geschikt, gevolgd door drukvat.
- **Trillingen.** De invloed van trillingen uit de omgeving is voor alle drukapparatuur vergelijkbaar. Deze faaloorzaak is voor de keuze tussen analogons niet onderscheidend.
- **Foute onderdelen of installatie.** Hiervoor is het vooral relevant hoe vaak een ontwerp gewijzigd wordt en hoe vaak een installatie bij onderhoudswerkzaamheden geopend wordt. De faaloorzaak is zeer relevant voor procesvaten, gewoon relevant voor opslagvaten en beperkt relevant voor hogedruk aardgasleidingen. Filterseparatoren worden periodiek opengemaakt voor inspectie, en daarom lijkt het 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 12-22.

Tabel 12-23 *Geschiktheid van analogons voor filterseparatoren mb.t. het aspect faaloorzaken*

Faaloorzaak	Gelijkenis met procesvat	Gelijkenis met drukvat	Gelijkenis met hogedruk aardgasleiding
Corrosie	+	+	+
Erosie	±	+	+
Externe belasting	+	+	+
Externe impact	+	+	+
Fout operator	-	±	+
Overdruk / onderdruk	Standaard: ± Intr. veilig: -	Standaard: + Intr. veilig: -	Standaard: - Intr. veilig: +
Hoge/lage temperatuur	-	±	+
Trillingen	+	+	+
Foute onderdelen/fout bij installatie	±	+	±
Totale score standaard filter:	Getal: +2 Waardering: -	Getal: +7 Waardering: +	Getal: +6 Waardering: +
Totale score intrinsiek veilig filter:	Getal: +1 Waardering: -	Getal: +5 Waardering: ±	Getal: +8 Waardering: +

Centrifugaalseparatoren (paragraaf 10.5.3.5)

De uitkomst van de toetsing van de geschiktheid van analogons voor centrifugaalseparatoren is samengevat in Tabel 12-24. Uit Tabel 12-24 blijkt dat het analogon hogedruk aardgasleiding voor dit type separatoren het meest geschikt is.

Tabel 12-24 *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 12-24:

- **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 centrifugaal-separatoren 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), zie Tabel 12-21. De analyse wordt hieronder

besproken. De uitkomsten van de analyse staan in Tabel 12-25.

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 installatie-onderdeel. 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 12-25 *Geschiktheid van analogons voor centrifugaalseparatoren mb.t. het aspect faaloorzaken*

Faaloorzaak	Gelijkenis met procesvat	Gelijkenis met drukvat	Gelijkenis met hogedruk aardgasleiding
Corrosie	+	+	+
Erosie	±	+	+
Externe belasting	+	+	+
Externe impact	+	+	+
Fout operator	-	±	+
Overdruk / onderdruk	-	±	+
Hoge/lage temperatuur	-	±	+
Trillingen	+	+	+
Foute onderdelen/fout bij installatie	-	-	+
Totale score:	getal: 0 waardering: -	getal: +4 waardering: ±	getal: +9 waardering: +

Voor centrifugaalseparatoren is de analogie met hogedruk leidingen dus met meest overtuigend voor het aspect faaloorzaken. Dit is verwerkt in Tabel 12-24.

Verantwoording van paragraaf 10.6 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 [17].

Voor verdringerpompen (Tabel 10-19) en centrifugaalpompen (Tabel 10-20) werden in het onderzoek geen lekken of breuken gevonden. Met de gehanteerde statistische aanpak is de kans op een breuk dan gelijk aan de totale kans op een uitstroming (breuk of lek), en hoeft het scenario lek niet te worden meegenomen.

Verantwoording van paragraaf 10.7 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 paragraaf 3.12 zijn scenario's opgenomen van andere typen warmtewisselaars. Wat betreft het ontwerp en de uitvoering verschillen de koelerbanken aanzienlijk van de pijpwarmtewisselaars die in paragraaf 3.12 worden genoemd.

Het instantaan falen van een koelerbank en een grootschalige continue uitstroming worden niet waarschijnlijk geacht. Meer waarschijnlijk is het dat één of enkele pijpleidingen lekken of breken. Dit is in overeenstemming met de scenario's voor pijpwarmtewisselaars van Tabel 38 en Tabel 39. De kans op breuk van tien pijpen tegelijkertijd is volgens Tabel 39 een factor tien hoger dan volgens Tabel 38. Voor de koelerbanken is voorzichtigheidshalve aangesloten bij de uitstroomscenario's en -frequenties uit Tabel 39. Het scenario 'lek met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van een pijp' wordt niet relevant geacht voor de ligging van de PR 10^{-6} contour en het groepsrisico en is daarom weggelaten in Tabel 10-23.

De resulterende uitstroomscenario's en -frequenties (Tabel 10-23) zijn vergeleken met de faalkansen uit het Handboek Uitstroomfrequenties 2009 van de Vlaamse overheid [18]. De Vlaamse overheid hanteert voor pijpwarmtewisselaars een kans van $6,0 \times 10^{-3}$ per jaar op een klein lek (lekgrootte kleiner dan 25 mm), een kans van $3,9 \times 10^{-3}$ per jaar op een middelgroot lek (lekgrootte tussen 25 en 50 mm), een kans van $1,6 \times 10^{-5}$ per jaar op een groot lek (lekgrootte tussen 50 en 150 mm) en een kans van $1,3 \times 10^{-5}$ per jaar op een breuk van een (enkele) pijpleiding. In vergelijking met deze data, zijn de faalkansen van Tabel 10-23 conservatief.

Verantwoording van paragraaf 10.8 Effectmodellering*Uitstroomrichting (paragraaf 10.8.1)*

Voor Brzo-inrichtingen is de uitstroomrichting voor alle ondergrondse leidingen verticaal en voor verdiept aangelegde leidingen is de uitstroomrichting niet beschreven. In het algemeen zijn bij Brzo-inrichtingen nauwelijks ondergrondse leidingen aanwezig. Bij mijnbouwwerken zijn ondergrondse leidingen niet ongebruikelijk en daarom is aandacht besteed aan de vraag wanneer er wel/niet een verticale uitstromingsrichting gebruikt mag worden. De uitstromingsrichting is immers van grote invloed op de berekende risico's. Voor de diepteligging is aangesloten bij de rekenmethode voor transportleidingen [19]. De minimale diepte (40 cm) betreft de bovengrens voor de validatie van de raakkans bij graafwerkzaamheden.

Afwijkende effectmodellering (paragraaf 10.8.2)

De verantwoording wordt hieronder per deelparagraaf besproken.

Maatwerk voor snelsluitende kleppen (paragraaf 10.8.2.1)

Het aantal installaties met snelsluitende kleppen was ten tijde van het uitbrengen van deze rekenmethode beperkt. Daarom is besloten om niet te onderzoeken hoe de invloed van deze kleppen op generieke wijze berekend kan worden. In plaats daarvan is maatwerk voorgeschreven.

Vervolgeffecten (paragraaf 10.8.2.2)

In paragraaf 3.4 van Module B zijn gebeurtenissenbomen opgenomen voor het vrijkomen van brandbare gassen, tot vloeistof verdichte gassen en vloeistoffen. Deze gebeurtenissenbomen zijn ooit ontwikkeld voor 'standaard' chemische bedrijven (Brzo-inrichtingen). In 2012 is onderzocht of deze gebeurtenissenbomen ook geschikt zijn voor mijnbouwbedrijven. Hierbij speelden de volgende afwegingen een rol:

- Voor mijnbouwwerken is specifiek gevraagd hoe de invloed van snelsluitende kleppen in de QRA verwerkt moet worden. Bij de beantwoording van deze vraag bleek dat de invloed van snelsluitende kleppen niet realistisch kon worden meegenomen zonder de effect-modellering te herzien.
- Bij mijnbouwwerken kan een deel van de leidingen ondergronds liggen. Hoewel het niet expliciet vermeld wordt, zijn de gebeurtenissenbomen van Module B vooral opgesteld voor bovengrondse scenario's met een horizontale uitstroomrichting.
- Bij mijnbouwwerken bevatten veel installaties gas onder hoge druk. In geval van een groot lek zal de druk in het systeem snel afnemen en het uitstroomdebiet dus ook. Voor Brzo-inrichtingen is de afname van het uitstroomdebiet met de tijd meestal minder groot.
- In de afgelopen jaren is de effect- en risicomodellering voor (aardgas)transportleidingen uitvoerig onderzocht. Met de actualisatie van de gebeurtenissenbomen voor inrichtingen wordt de coherentie met de methodiek voor transportleidingen vergroot.

Bij de actualisatie van de gebeurtenissenbomen is gebruik gemaakt van bestaande modellen in SAFETI-NL. Voor het gebruik van nieuwe modellen zijn transparantie en verifieerbaarheid belangrijke afwegingscriteria. Als gevolg daarvan zijn er geen nieuwe (effect)modellen geïntroduceerd.

De nieuwe gebeurtenissenboom is opgesteld voor hogedruk systemen. Als criterium wordt een minimale operationele druk van 16 bar (overdruk) gebruikt. Dit criterium wordt ook gebruikt om hogedruk aardgasleidingen ([11]) en hogedruk compressoren ([17]) te onderscheiden van gewone leidingen en compressoren. Het is niet onderzocht of de gebeurtenissenboom ook geschikt is voor systemen die bij een lagere druk bedreven worden.

Een gevolg van het voorstel is dat ontsteking niet altijd plaatsvindt bij maximale wolkomvang. Daarmee wordt het beginsel van vrije-veldontsteking, dat voor Brzo-bedrijven is voorgeschreven, deels verlaten.

Kans op ontsteking (paragraaf 10.8.2.3)

De kans op directe ontsteking is gebaseerd op Tabel 7 van Module B. Voor aardgas zijn de ontstekingskansen van laag-reactieve gassen gebruikt en voor mengsel de ontstekingskansen van hoog-reactieve gassen.

Als de LFL contour deels buiten de inrichting ligt, dan is er altijd vertraagde ontsteking. Als de LFL contour niet buiten de inrichting komt, dan is er alleen vertraagde ontsteking als er ontstekingsbronnen gemodelleerd zijn binnen de wolk.

Voor verticale releases is de omvang van de brandbare 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 [19] 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 [20] richt zich niet specifiek op verticale releases, maar laat wel zien dat het inachtnemen van een kans op vertraagde ontsteking gemeengoed is.

Het ministerie van IenM en het SodM hebben besloten om de (nieuwe) inzichten ten aanzien van de kans op vertraagde ontsteking voor verticale releases in de huidige versie van de rekenmethode niet mee te nemen. Ze zijn voornemens om binnen vijf jaar te bezien of de nieuwe inzichten alsnog in de rekenmethode kunnen worden opgenomen.

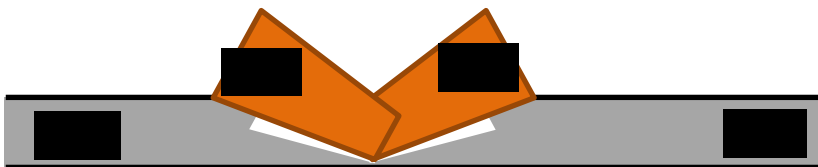
Aantal jets (paragraaf 10.8.2.4)

Het aantal jets en de uitgangspunten voor het berekenen van toelevering zijn samengevat in Tabel 12-26.

Tabel 12-26 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 12-8). 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 uitstroombrequentie gelijk aan de uitstroombrequentie. 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.



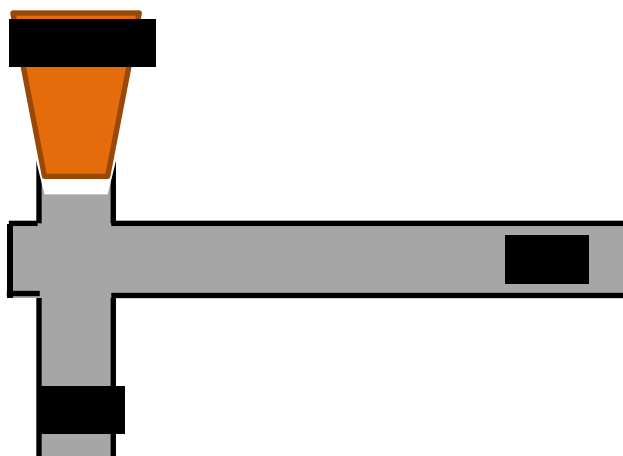
Figuur 12-8 Aantal jets en bijdragen vanuit stroomopwaartse en stroomafwaartse leidingdelen voor breuk van een bovengrondse leiding

Bij het falen van een ondergrondse (of verdiept aangelegde) installatie of breuk van een ondergrondse leiding ontstaat een een krater waarbij de jets vanuit de stroomopwaartse en stroomafwaartse leidingdelen elkaar zullen beïnvloeden. Deze twee bijdragen worden opgeteld en gemodelleerd als verticale release (zie Figuur 12-9). 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".



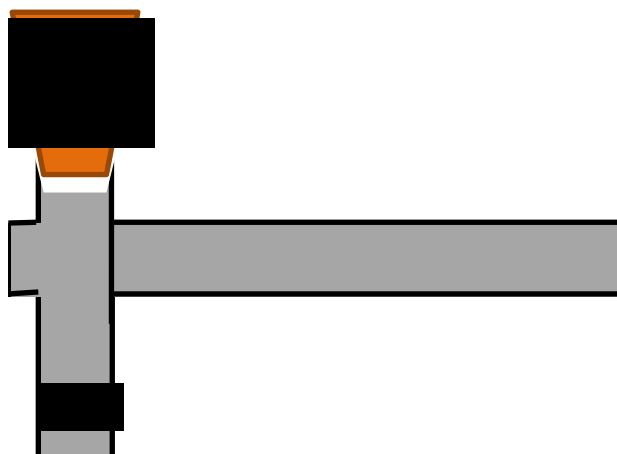
Figuur 12-9 Aantal jets en bijdragen vanuit stroomopwaartse en stroomafwaartse leidingdelen voor breuk van een ondergrondse leiding

Voor een blowout vanuit een put (putmond) tijdens productie of injectie geldt een afwijkende modellering (zie paragraaf 10.8.3). In dit geval is er een verticale release met toestroming van twee zijden ('putzijde' en 'landzijde'). De uitstroming vindt plaats vanuit een (één) gat ter grootte van de tubing van de put en met toestroming vanuit de put en vanaf de inrichting (zie Figuur 12-10). De toestroming van beide zijden beïnvloedt elkaar en wordt op basis van maatwerk bepaald. Als Q_A de verwachte onafhankelijke uitstroming is vanaf de putzijde (alsof de 'wing valve' gesloten is) en Q_B de onafhankelijke uitstroming vanaf landzijde (alsof de 'master gate valves' gesloten zijn), dan geldt: $Q_{\text{blowout}} < Q_A + Q_B$ (vandaar "1×1,5"). Hierin verschilt de modellering van de uitstroming vanuit een ondergrondse leiding waarvoor geldt: $Q_{\text{release}} = Q_A + Q_B$ (oftewel "1×2").



Figuur 12-10 Modelling van de blowout vanuit een put tijdens productie of injectie

Tijdens werkzaamheden aan de put is de 'wing valve' gesloten. Een blowout tijdens werkzaamheden aan de put wordt daarom alleen gevoed vanuit de put: $Q_{\text{blowout}} = Q_A$ (vandaar "1x1"), zie Figuur 12-11.



Figuur 12-11 Modelling van de blowout vanuit een put tijdens onderhoudswerkzaamheden

Invloed van inbloksystemen (paragraaf 10.8.2.5)

Inbloksystemen zorgen voor een reductie van het uitstroomdebiet vanaf het moment dat ze in werking treden. Er is uitgebreid gediscussieerd hoe het effect van inbloksystemen in de QRA kon worden opgenomen. De uiteindelijke oplossing is om de release in twee segmenten op te splitsen, waarbij het eerste segment wordt gekoppeld aan directe ontsteking en het tweede segment aan vertraagde ontsteking.

Voor het eerste segment wordt een tijdsmiddeling over de eerste 20 s gebruikt. De vervolgeffecten hangen samen met de uitstroomduur. Aangenomen wordt dat een stabiele fakkel kan ontstaan als de uitstroomduur groter of gelijk is aan 20 s. Voor kortere uitstrooming is maatwerk nodig, waarvoor het initiatief bij de opsteller van de QRA ligt. Het criterium van 20 s is gebaseerd op de volgende afwegingen:

- Bij aanvang van een uitstroming ontstaat niet direct een stabiele jet. De ontwikkelingstijd voor een stabiele jet hangt af van de diameter van het lek. Voor grote diameters kan de ontwikkelingstijd volgens inschatting van RIVM oplopen tot circa 10 tot 20 s.
- Voor de berekening van effecten wordt het fakkelbrandmodel gebruikt. In dit model wordt uitgegaan van een blootstellingstijd van 20 s.
- Het criterium sluit aan bij paragraaf 3.3.7 en ook bij de rekenmethode voor gastransportleidingen buiten de inrichting ([19]).

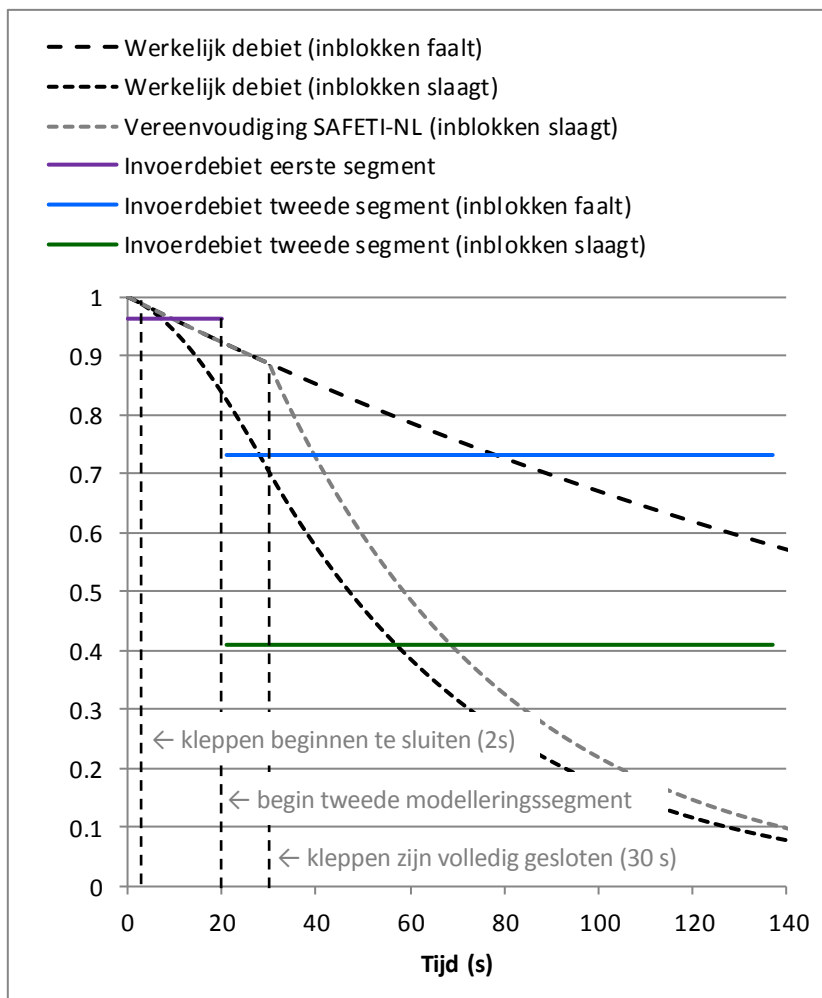
Voor vertraagde ontsteking worden de navolgende twee minuten gebruikt, dus 20-140 s. Deze keuze is ingegeven door de rekenmethode voor gastransportleidingen. Voor deze leidingen

wordt het tijdsegment 120-140 s gebruikt voor vertraagde ontsteking. Echter, in de methodiek voor transportleidingen wordt voor vertraagde ontsteking, ten opzichte van directe ontsteking, een lage ontstekingskans toebedeeld en dat is in paragraaf 3.3.7 niet het geval. Daarom is besloten om het interval voor vertraagde ontsteking voor mijnbouwwerken te vergroten van 120-140 s naar 20-140 s. Bijkomend voordeel is dat de twee segmenten direct op elkaar aansluiten.

De aanpak maakt het mogelijk om het effect van inbloksystemen mee te nemen in de risicoberekening. Voor reguliere systemen (zonder snelsluitende kleppen) is het effect gedurende de eerste 20 s van de release, vanwege de reactietijd van het systeem en de sluitijd 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 12-12 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 blauwe lijn geeft het debiet weer voor de periode 20-140 s en het deelscenario dat het inblokken faalt, terwijl de groene lijn het debiet weergeeft voor de periode 20-140 s en het deelscenario dat het inblokken slaagt.



Figuur 12-12 Voorbeeld van de doorwerking van (reguliere) kleppen in een 28" leiding

Blowout en lekkage van de put (paragraaf 10.8.3)

De uitgangspunten zijn opgesteld in overleg met de experts vanuit de branche. Daarbij is rekening gehouden met de mogelijkheden en beperkingen van SAFETI-NL. In het bijzonder betreft de invoer voor het Long Pipeline model in SAFETI-NL, waaronder de druk aan het begin (!) van de leiding en de 'pumped inflow', de stationaire situatie in de leiding voorafgaand aan de release. Daarna wordt de uitstroming vanuit de putmond dynamisch berekend op basis van de begincondities bij de putmond, die afhangen van de druk aan het begin van de leiding en de doorstroming ('pumped inflow'), en de gatgrootte. Het model gaat er vanuit dat de 'pumped inflow' tijdens de release gelijk blijft. In werkelijkheid kan de toevoer vanuit het reservoir naar de leiding (c.q. put) toenemen als de druk in de leiding afneemt.

Voor de blowout tijdens productie wordt uitgegaan van de 'flowing bottom hole pressure' onderin de put en is de toevoer vanuit het reservoir gelijk aan het productiedebiet. Tevens wordt terugstroming vanaf de inrichting meegenomen. Samen geeft dit naar verwachting voldoende realistische uitkomsten voor de totale uitstroming vanuit de putmond.

Voor de blowout tijdens onderhoudswerkzaamheden wordt uitgegaan van de 'closed-in tubing head pressure' voorafgaand aan de release en wordt de toevoer vanuit het reservoir niet meegenomen als 'pumped inflow'. Met die uitgangspunten zal het uitstroomdebiet na verloop van tijd convergeren naar nul. In werkelijkheid is er wel toevoer vanuit het reservoir en zal het debiet convergeren naar de 'tubing blowout potential' (TBOP) als er sprake is van een tubing blowout, en naar de 'casing blowout potential' (CBOP) als er sprake is van een casing blowout. Om onderschatting van de effecten te voorkomen, is de extra randvoorwaarde opgenomen dat het gemodelleerde debiet niet kleiner mag zijn dan de TBOP (tubing blowout) of de CBOP (casing blowout).

Invoer van scenario's in SAFETI-NL (paragraaf 10.9)

De invoer van scenario's wordt alleen besproken voor het instantaan falen van een installatieonderdeel of breuk van een leiding (paragraaf 10.9.3) en daarmee samenhangend de vereenvoudigde invoermethode (paragraaf 10.9.4). Voor de overige uitstroombesonderingen is de invoer in SAFETI-NL niet bijzonder.

Leidingbreuk en instantaan falen (paragraaf 10.9.3)

Volgens de aanpak van Module B moet per scenario (i) de inhoud van het systeem, (ii) de nalevering vanuit het stroomopwaartse deel van de inrichting en (iii) de nalevering vanuit het stroomafwaartse deel van de inrichting worden bepaald. Voor mijnbouwwerken moet op basis van paragraaf 10.8.2.2 gekeken worden naar 'directe ontsteking' en 'vertraagde ontsteking'. Dit betekent dat voor twee tijdstippen drie bijdragen berekend moeten worden en vervolgens moet worden nagegaan hoe het geheel op een geschikte manier in SAFETI-NL kan worden ingevoerd. De verwachting was dat er zonder verdere 'guidance' geen eenduidige en verifieerbare resultaten zouden ontstaan. De vereenvoudigde invoermethode van paragraaf 10.9.4 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 installatieonderdeel. Voor deze situatie mag de vereenvoudigde invoermethode dan ook niet gebruikt worden.

Vereenvoudigde invoermethode (paragraaf 10.9.4)

Voor de scenario's 'instantaan falen van een installatieonderdeel' en 'breuk van een leiding' wordt rekening gehouden met de afname van het uitstroomdebiet in de tijd. De afname in de tijd hangt af van het uitstroombesondering (gatgrootte), de specifieke layout van de inrichting en het eventuele sluiten van inblocsysteem.

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 leidingen. 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 reduceer-kleppen binnen de inrichting zijn in de vereenvoudigde methode niet langer relevant voor de rekenuitkomsten.

Een interessante situatie is een verbinding met een doorgaande leiding (paragraaf 10.9.4.3). In dat geval vindt toevoer plaats vanaf twee leidingdelen buiten de inrichting. Een voor de hand

liggende aanpak is om voor deze situatie de breuklocatie halverwege de leiding te modelleren (in plaats van aan het eind van de leiding). Echter, in dat geval telt SAFETI-NL de uitstroming vanuit twee zijden bij elkaar op (alsof er twee gaten zijn) en dat geeft voor de eenzijdige nalevering (één gat) een te groot debiet. Een alternatieve aanpak is om de diameter van het toevoersysteem met een factor $\sqrt{2}$ te vergroten en de relative aperture met een factor $\sqrt{2}$ te verkleinen (alsof de doorgaande leiding uit twee uitgaande leidingen bestaat). Deze mogelijkheid was voorafgaand aan het consequentieonderzoek over het hoofd gezien en is daarna niet meer 'gerepareerd'. Overall wordt verwacht dat de vereenvoudigde invoermethode nog steeds voldoende conservatief is.

Blowout van de put tijdens productie of injectie (paragraaf 10.9.6)

De uitstroming vindt plaats vanuit een gat ter grootte van de tubing. Daarbij moet op realistische wijze rekening gehouden worden met de nalevering vanuit de put en vanaf de installaties op de inrichting. In SAFETI-NL 6.54 is geen model beschikbaar waarmee de gezamenlijke bijdrage eenvoudig berekend kan worden. SAFETI-NL berekent ofwel eenzijdige uitstroming (de uitstroming vanuit één leidingdeel) ofwel dubbele uitstroming (de opgetelde uitstroming vanuit twee leidingdelen). De dubbele uitstroming geeft een overschatting omdat er maar één gat is (bovenin de put). Daarom is gekozen voor maatwerk.

Blowout van de put tijdens onderhoudswerkzaamheden (paragraaf 10.9.7)

Tijdens onderhoudswerkzaamheden staat de put aanvankelijk onder druk (de 'closed-in tubing head pressure'). Bij een release is toevoer vanaf het reservoir mogelijk (casing blowout potential of tubing blowout potential). De rekenmethode houdt daar geen rekening mee. Daarmee wordt de uitstroming na enige tijd onderschat. De mate van onderschatting hangt af van de eigenschappen van de put en het reservoir. Voor het eerste tijdsegment (0-20 s) zal de onderschatting doorgaans beperkt zijn.

In het Long Pipeline model wordt de druk en uitstroming ter plaatse van de breuklocatie berekend op basis van de druk aan het begin van de leiding, de doorvoer ('pumped inflow') en de leidingweerstand. Het eventuele gebruik van de casing of tubing blowout potential als 'pumped inflow' resulteert in een druk ter plaatse van de breuklocatie die lager is dan de 'closed-in tubing head pressure'. Dit leidt tot een uitstroming die juist aan het begin van de release lager is dan realistisch.

Voorbeeldberekening (10.10)

Voor het grootste deel van installaties wordt de vereenvoudigde invoermethode gebruikt, en deze hoeft niet apart te worden verantwoord. Alleen voor de blowout-scenario's is conform paragraaf 10.9.6 en 10.9.7 maatwerk toegepast. In het resterende deel van deze paragraaf wordt de modellering van deze scenario's toegelicht.

Blowout tijdens productie:

De uitgangspunten voor de modellering zijn beschreven in paragraaf 10.9.6. 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).

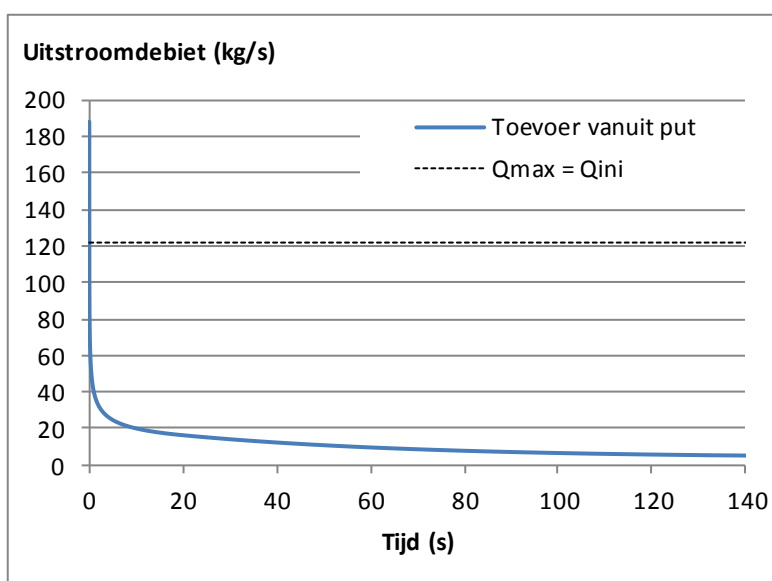
Voor het totale uitstroomdebiet als functie van tijd, gelden de volgende uitgangspunten:

- 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 bedragen⁹⁹. Dit initiële debiet geldt dus ook als maximum. In Figuur 12-13 is Q_{ini} weergegeven met de zwarte gestippelde lijn.
- Het uitstroomdebiet ($Q_{blowout}$) is gelijk aan de som van de bijdragen vanuit de put en vanaf landzijde. Deze bijdragen zijn onderling afhankelijk. Het is echter niet mogelijk om de interactie te modelleren. Het is wel mogelijk om de *onafhankelijke* bijdragen te berekenen. De onafhankelijke bijdrage vanuit de put (Q_A) is gebaseerd op de veronderstelling dat de 'wing valve' naar de inrichting gesloten is en de bijdrage vanaf landzijde (Q_B) op de veronderstelling dat de 'master gate valves' in de put gesloten zijn. In werkelijkheid is er interactie tussen de twee bijdragen (er is maar één gat) en is de werkelijke toevoer kleiner

⁹⁹ 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.

dan de som van de onafhankelijke bijdragen Q_A en Q_B , dus $Q_{\text{blowout}} < Q_A + A_B$. 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 12-13 is Q_A weergegeven met de blauwe lijn.

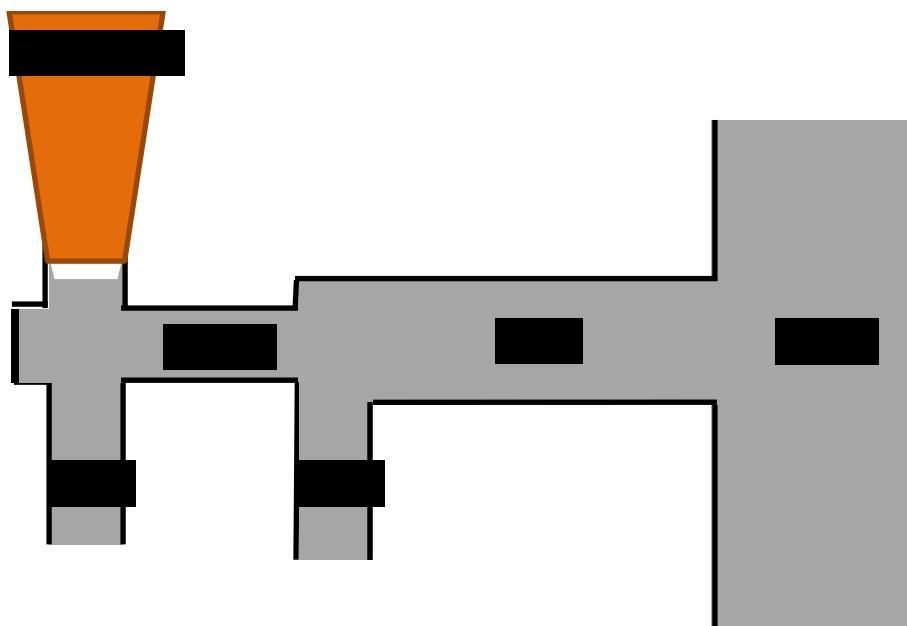


Figuur 12-13 Inschatting voor Q_A (toevoer vanaf putzijde)

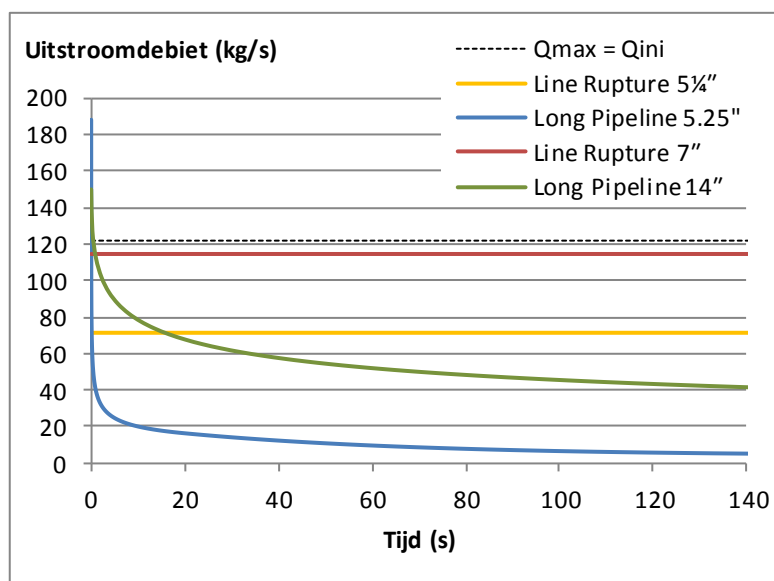
- Het toevoersysteem vanaf landzijde bestaat onder meer uit een leidingdeel met een diameter van 5¼ inch, een verbinding met de tweede put (A'), een leidingdeel met een diameter van 7 inch en een doorgaande transportleiding met een diameter van 14 inch, zie Figuur 12-14. In Figuur 12-14 zijn de condensaatafsciders, 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 12-14 kan nu worden nagegaan wat de maximale doorstroming is.
 - De maximale toevoer door het leidingdeel met een diameter van 5¼ inch ($Q_{5\frac{1}{4}''}$) kan berekend worden met het Line Rupture model. Voor een 20 m lange leiding met een maximale druk van 40 bar aan het begin van de leiding^{hh} is het debiet maximaal 71 kg/s (oranjegele lijn in Figuur 12-15).
 - De maximale toevoer vanuit de tweede put ($Q_{A'}$) is gelijk aan de maximale toevoer vanuit de eerste put: Q_A (blauwe lijn in Figuur 12-15).
 - 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 12-15).
 - 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

^{hh} Er is gekozen voor 40 bar omdat de druk binnen de inrichting waarschijnlijk zeer snel zakt tot de druk in de toevoerleiding.

gatgrootte van 5¼ inchⁱⁱ. De uitkomsten zijn in Figuur 12-15 weergegeven met de groene lijn.



Figuur 12-14 Vereenvoudiging van het toevoersysteem vanaf landzijde



Figuur 12-15 Analyse van de mogelijke toevoer van gas vanaf landzijde voor de tubing blowout tijdens productie

Figuur 12-15 laat duidelijk de gevoeligheid zien voor aannames in de modellering, in het bijzonder met betrekking tot de uitstroming vanaf landzijde. Figuur 12-15 is dus ook een illustratie van de meerwaarde van eenduidige voorschriften, zoals de vereenvoudigde invoermethode.

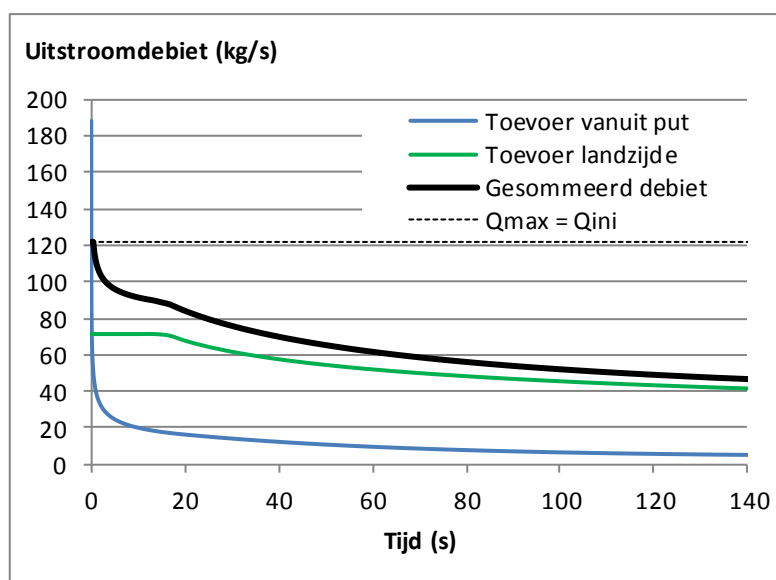
Figuur 12-15 laat verder zien dat de doorstroming door de 5¼ inch leidingen (oranjegele lijn) gedurende de eerste 15 s lager is dan de toevoer vanuit de transportleiding (groene

ⁱⁱ 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.

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.

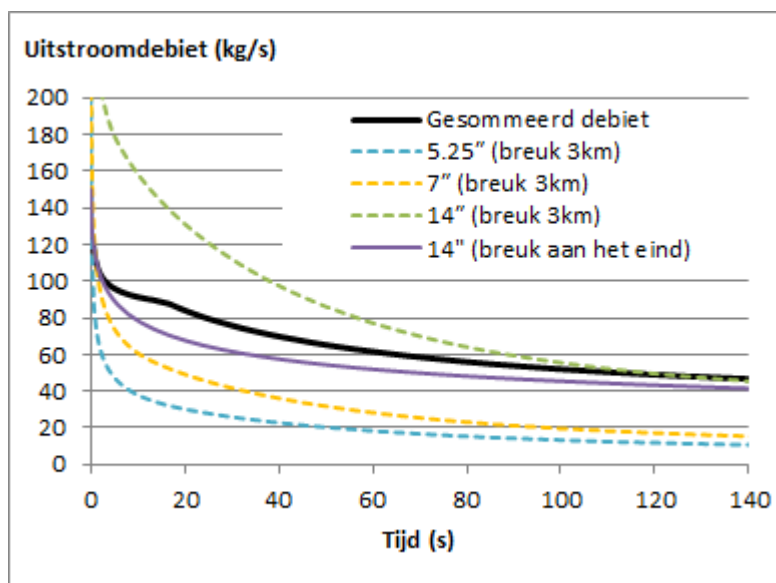
Op deze manier is het mogelijk om een inschatting te maken van het verloop van de uitstroming gedurende de gehele tijd. Het betreft het minimum van de oranjegele lijn en de groene lijn in Figuur 12-15 en deze is in Figuur 12-16 weergegeven met een felgroene lijn.

- 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 12-16) en vanaf de inrichting (Q_B , felgroene lijn in Figuur 12-16), maar mag de maximale uitstroming op basis van de initiële druk en de gatgrootte (zwarte gestippelde lijn) niet overschrijden. Dit resulteert in de zwarte doorgetrokken lijn.
- De zwarte doorgetrokken lijn geeft dus de meest realistische inschatting van het uitstroomdebiet voor een blowout van de put tijdens productie.



Figuur 12-16 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 12-17 zijn enkele mogelijkheden weergegeven. In dit geval geeft de eenzijdige uitstroming vanuit de 14 inch doorgaande transportleiding de beste benadering (zie Figuur 12-17). De invoerwaarden voor dat model zijn:
 - o Gatgrootte: 5¼ inch (0,133 m).
 - o Leidingdiameter: 0,298 m (bovengrens op basis van relative aperture).
 - o Relative aperture: 0,2.
 - o Leidinglengte: 32000 m.
 - o Afstand tot breuklocatie: 32000 m.
 - o Pompdebiet: 0 kg/s.



Figuur 12-17 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 inchdoorgaande transportleiding (met gatgrootte 5¼ inch). De achterliggende verklaring is dat de drukafname in de put zelf veel sneller verloopt dan de drukafname binnen de inrichting en de transportleiding. Als de diameter van de 'wing valve' gelijk is aan de tubing diameter van de put, dan is toevoer vanaf de inrichting bepalend.

De verantwoording van de blowout modellering laat zien dat de vereenvoudigde invoermethode voor dit rekenvoorbeeld een goede methode is die over het algemeen (licht) conservatieve uitkomsten zal geven.

Blowout tijdens onderhoudswerkzaamheden:

Tijdens onderhoudswerkzaamheden is de 'wing valve' gesloten en vindt er alleen uitstroming vanuit de put plaats. De bijbehorende invoerwaarden voor het Long Pipeline model zijn beschreven in paragraaf 10.9.7. Concreet zijn deze:

- Gatgrootte: 5¼ inch (0,133 m).
- Leidingdiameter: 0,133 m (tubing blowout) of 0,178 m (casing blowout).
- Relative aperture: 1.
- Leidinglengte: 3000 m.
- Afstand tot breuklocatie: 3000 m.
- Pompdebiet: 0 kg/s.

Het debiet voor tubing blowout is groter dan de TBOP en het debiet voor casing blowout groter dan de CBOP. Daarmee is het gebruik van de invoerwaarden acceptabel.

Referenties

- [1] Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Besluit houdende milieukwaliteitseisen voor externe veiligheid van inrichtingen milieubeheer (Besluit externe veiligheid inrichtingen). Geraadpleegd d.d. 2-11-2014.
- [2] Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Regeling houdende regels met betrekking tot afstanden en de wijze van berekening van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico ter uitvoering van het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Regeling externe veiligheid inrichtingen). Geraadpleegd d.d. 2-11-2014.
- [3] Ministerie van Economische Zaken. Wet houdende regels met betrekking tot het onderzoek naar en het winnen van delfstoffen en met betrekking tot met de mijnbouw verwante activiteiten (Mijnbouwwet). Geraadpleegd d.d. 2-11-2014.
- [4] 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.
- [5] Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Besluit houdende milieukwaliteitseisen externe veiligheid voor het vervoer van gevaarlijke stoffen door buisleidingen (Besluit externe veiligheid buisleidingen). Geraadpleegd d.d. 28-10-2014.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] N.E. Burke, C.K. Chea, R.D. Hobbs and H.T. Tran. Extended analysis of live reservoir oils by gas chromatography. Proceedings of the SPE International Symposium of Oilfield Chemistry in 1991. 1991.
- [9] RIVM. Evaluation of the Dutch QRA directives for storage and transportation of flammable liquids. Report 620550001. 2010.
- [10] 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.
- [11] RIVM. On-site natural gas piping: scenarios and failure frequencies. Report 620550004. 2011.
- [12] RIVM. Protocol aanpassing rekenmethodieken externe veiligheid. Rapport 620550009. 2012.
- [13] SCANDPOWER. Blowout and well release frequencies – based on SINTEF offshore blowout database (2007). Kenmerk 80.005.003/2008/R3. 2008.
- [14] P. Holand. Offshore blowouts – causes and control. Gulf Professional Publishing. ISBN: 978-0-88415-514-0. 1997.
- [15] HSE. Offshore hydrocarbon releases - statistics 1999. OTO 1999 079. 2000.
- [16] Ministerie van VROM. Publicatiereeks gevaarlijke stoffen – Deel 6: Aanwijzingen voor implementatie van Brzo 1999. 2006.
- [17] RIVM memorandum. Recommended failure rates for pumps and compressors (beschikbaar op aanvraag).
- [18] LNE. Handboek uitstroomberekeningen 2009 – voor het opstellen van een veiligheidsrapport. 2009.
- [19] N.V. Nederlandse Gasunie. Risicoanalyse aardgastransportleidingen. DEI 2008.R.0939. 2008.
- [20] Energy Institute. Ignition probability review, model development and look-up correlations. IP research report. 2006.