



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

Handleiding risicoberekeningen Bevb

versie 1.0 - 20 december 2010



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

Handleiding Risicoberekeningen Bevb

Module A - Juridisch kader

versie 1.0 – 20 december 2010

Colofon

© RIVM 2010

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

Contact:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Centrum Externe Veiligheid (ipc 110)
cev@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, in het kader van Rekenmethode buisleidingen

Inhoud

- 1** **Juridisch kader—6**
- 1.1 Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb)—6
- 1.2 Regeling externe veiligheid buisleidingexploitanten (Revb)—6
- 1.3 Gebruik van afwijkende rekenmethodiek—6

1 Juridisch kader

1.1 **Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb)**

In het Bevb zijn risiconormen met betrekking tot de externe veiligheid opgenomen waaraan exploitanten met buisleidingen met gevaarlijke stoffen moeten voldoen. Deze exploitanten verrichten soms risicovolle activiteiten in de nabijheid van personen of groepen personen. Het besluit wil die risico's beperken en zo de burgers een minimum beschermingsniveau bieden. Het verplicht exploitanten voor het gebruik van buisleidingen en gemeenten bij het maken van bestemmingsplannen rekening te houden met externe veiligheid.

1.2 **Regeling externe veiligheid buisleidingexploitanten (Revb)**

In de Revb zijn o.a. regels gesteld met betrekking tot de berekening van de risico's van de buisleiding. Ook voor de verantwoording van het groepsrisico in het invloedsgebied is een berekening nodig. In de Revb is de toepassing van de rekenmethodiek Bevb voorgeschreven voor het vaststellen van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico voor de buisleidingexploitanten die vallen onder het Bevb.

1.3 **Gebruik van afwijkende rekenmethodiek**

De Revb regelt de generieke acceptatie van alternatieven die gelijkwaardig zijn aan de Handleiding risicoberekeningen Bevb en CAROLA voor aardgas en Safeti-NL voor aardolieproducten.

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

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



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

Handleiding Risicoberekeningen Bevb

Module B - Hogedruk aardgastransportleidingen

versie 1.0 - 20 december 2010

Colofon

© RIVM 2010

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

Contact:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Centrum Externe Veiligheid (ipc 110)
CAROLA@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, in het kader van Rekenmethode buisleidingen

Inhoud

Inleiding—5

1 Rekenmethodiek—7

- 1.1 Leidingtypen—7
 - 1.1.1 Drooggasleidingen—7
 - 1.1.2 Natgasleidingen—7
 - 1.1.3 Zuurgasleidingen—8
- 1.2 Validatiegrenzen rekenpakket CAROLA—8

2 Modelparameters—9

- 2.1 Inleiding—9
- 2.2 Modelleren van de scenario's—9
- 2.3 Algemene parameters—10
 - 2.3.1 Richting van de uitstroming—10
 - 2.3.2 Tijdsafhankelijke uitstroom en ontstekingskans—10
 - 2.3.3 Ruwheidslengte van de omgeving—10
 - 2.3.4 Meteorologisch weerstation en parameters—11
 - 2.3.5 Hoogte voor de berekening van de effecten—11
 - 2.3.6 Letaliteit—12
 - 2.3.7 Invloed windturbines—12
- 2.4 Projectspecifieke parameters—12
 - 2.4.1 Locatie van de uitstroming—13
 - 2.4.2 Topografische kaarten—13
 - 2.4.3 Interessegebied—13
 - 2.4.4 Bevolking—14
 - 2.4.5 Kenmerken leidingenbestand—18
 - 2.4.6 Mitigerende maatregelen beschadiging door derden—19
 - 2.4.7 Mitigerende maatregelen corrosie—23

3 Procedure risicoberekeningen met CAROLA—24

- 3.1 Inlezen achtergrondkaart—24
- 3.2 Selecteren interessegebied—24
- 3.3 Inlezen gecodeerde bestand met leidinggegevens—24
- 3.4 Berekenen plaatsgebonden risico—25
- 3.5 Zichtbaar maken van het invloedsgebied—25
- 3.6 Invoeren bevolkingsgegevens—25
- 3.7 Groeprisicoberekeningen—26
- 3.8 Samenvattend rapport—27

4 Technische documentatie—28

- 4.1 Inleiding—28
- 4.2 Rapportageplicht voor een QRA—28

5 Bijlage Toelichting—30

- 5.1 Hoofdstuk 2 Modelparameters—30
- 5.2 Technische grenzen voor invoergegevens in CAROLA—34

Referenties—40

Inleiding

De door het ministerie van Infrastructuur en Milieu ingevoerde wet- en regelgeving rond ondergrondse hogedruk aardgastransportleidingen is gebaseerd op de door de NV Nederlandse Gasunie en RIVM ontwikkelde, en door het ministerie geaccordeerde rekenmethodiek voor het bepalen van plaatsgebonden risico en groepsrisico. De risicoberekeningen waren oorspronkelijk gebaseerd op het niet algemeen vrij toegankelijke rekenpakket PIPESAFE (versie 2.14.0) [1][2]. CAROLA (Computer Applicatie voor Risicoberekeningen aan Ondergrondse Leidingen met Aardgas) [3] is een vrij verkrijgbare afgeleide van PIPESAFE en vervangt het PIPESAFE model als rekenstandaard. De uitkomsten uit CAROLA komen overeen met de uitkomsten uit PIPESAFE en zijn in overeenstemming met de eerder genoemde en geaccordeerde rekenmethodiek. Het rekenpakket CAROLA is het Nederlandse standaardrekenpakket voor ondergronds gelegen hogedruk aardgastransportleidingen dat voor de Nederlandse situatie dient te worden gebruikt.

Het gebruik van CAROLA is noodzakelijk voor het verkrijgen van de plaatsgebonden risicoafstanden en groepsrisicowaarden zoals genoemd in de wet- en regelgeving met betrekking tot ondergrondse aardgastransportleidingen.

In deze module worden de uitgangspunten van de berekeningen met het rekenpakket CAROLA beschreven. Daarnaast wordt beschreven hoe een risicoanalyse met het rekenpakket CAROLA uitgevoerd dient te worden.

De risicomethodiek voor ondergrondse hogedruk aardgastransportleidingen is beschreven in een RIVM-rapport [4]. In dit rapport komen de scenario's, faalfrequenties, bronterm en de meegenomen effecten aan de orde. Aanvullende informatie over de risicomethodiek is gegeven in een Gasunierapport [5] en NAM-rapport [6]. Alle rapporten zijn toegankelijk via de website van het RIVM.

1 Rekenmethodiek

1.1 Leidingtypen

In het rekenpakket CAROLA kunnen berekeningen worden uitgevoerd voor leidingen met aardgas. Het rekenpakket kan enkel worden toegepast voor het uitvoeren van risicoberekeningen voor ondergrondse hogedruk aardgastransportleidingen.

1.1.1 Drooggasleidingen

Drooggasleidingen bevatten behandeld aardgas. Drooggas wil zeggen dat er bij -20 °C onder atmosferische druk geen vloeistoffractie meer afscheidt van het gas. In CAROLA wordt standaard gerekend met zogenaamd H-gas (hoogcalorisch gas), met een dichtheid van 0,82 kg/m³ en een calorische onderwaarde van 36,4 MJ/m³.

1.1.2 Natgasleidingen

Natgasleidingen zijn leidingen waar, naast aardgas, onder andere ook condensaat in aanwezig is. Voor natgasleidingen met een Condensaat Gas Ratio (CGR) van maximaal 80¹ kan dezelfde methodiek als voor drooggasleidingen worden gehanteerd [7].

Voor het uitvoeren van risicoberekeningen voor leidingen met natgas met een CGR groter dan 80 zal specifiek moeten worden onderzocht of het rekenpakket CAROLA hiervoor geschikt is of geschikt gemaakt kan worden. Indien dit niet het geval blijkt, moet de berekeningen, afhankelijk van de eigenschappen van het natgas, worden uitgevoerd volgens de Handleiding Risicoberekeningen Bevb Module C Buisleidingen met aardolieproducten of de module Handleiding Risicoberekeningen Bevb, Module D Buisleidingen met overige stoffen.

Voor drooggasleidingen wordt in de risicoberekening rekening gehouden met de faaloorzaken "beschadiging door derden" en "corrosie". Voor natgasleidingen is daarnaast de bijdrage door interne corrosie onderkend als additionele faalfactor.

Er zijn twee randvoorwaarden waarbij de inschatting is gemaakt dat er geen significante bijdrage als gevolg van interne corrosie is te verwachten:

- Bij gebruik van duplex staal wordt interne corrosie uitgesloten en kan op gelijke wijze als voor de drooggasleidingen de faalfrequentie worden afgeleid;
- Indien koolstofstaal als materiaal wordt gebruikt, wordt een corrosie-inhibitor en een corrosietoeslag op de wanddikte toegepast. De toegepaste corrosietoeslag in de wanddikte van de leiding mag niet worden meegenomen in de berekeningen van de faalfrequenties voor de faaloorzaken "beschadiging door derden" en "corrosie". Indien de toepassing van een corrosie-inhibitor niet consequent gebeurt, zal specifiek moeten worden onderzocht wat de bijdrage van interne corrosie zal zijn. Het rekenpakket kan dan niet direct worden toegepast. Wanneer er specifieke maatregelen genomen worden qua onderhoud en

¹ Condensaat-Gas Ratio (CGR) $\leq 80 \text{ m}^3 \text{ condensaat} / 10^6 \text{ Nm}^3 \text{ gas}$.

inspectie en door de exploitant kan worden aangetoond dat er geen wanddikteafname plaatsvindt, kan een uitzondering worden gemaakt voor het niet meenemen van de corrosietoeslag in de wanddikte. De Nederlandse Aardolie Maatschappij BV heeft dit voor haar leidingen inmiddels aangetoond [8][9].

1.1.3 *Zuurgasleidingen*

Zuurgasleidingen bevatten naast aardgas ook zwavelwaterstof (H₂S). H₂S is een toxische stof met een LC₅₀-waarde (rat, inhalatoir) van 0,869 mg/l/4uur [10]. Om te bepalen of voor zuurgasleidingen ook een toxische component in de risicoberekeningen beschouwd moet worden, moet het percentage H₂S bekend zijn.

Gegeven de bovengrens voor een R20-zin (schadelijk bij inademing, 20mg/l/4uur) en de toxiciteit van H₂S, kan worden gesteld dat een mengsel met 4,3% H₂S een LC₅₀-waarde van ongeveer 20 mg/l/4uur zou hebben. Mengsels met een percentage H₂S kleiner dan 4,3% hebben een LC₅₀-waarde die hoger is dan de bovengrens voor een R20-zin. In die gevallen is het mengsel dus wel brandbaar, maar heeft het geen R20/23/26 zin, en wordt daarom gemodelleerd als alleen brandbaar. Hierbij is aangenomen dat het gasmengsel geen andere stoffen met toxische effecten bevat. Wanneer het percentage H₂S groter is dan 4,3%, dan zal de toxische component afzonderlijk in de risicoberekeningen meegenomen moeten worden en in die gevallen is CAROLA niet geschikt om de risico's volledig te bepalen.

1.2 **Validatiegrenzen rekenpakket CAROLA**

Het rekenpakket CAROLA kan worden gebruikt voor ondergronds gelegen hogedruk aardgastransportleidingen met een diameter van 2 inch tot en met 48 inch. De gebruikte modellen zijn, strikt genomen, gevalideerd van 8 tot 100 bar, hoewel verwacht wordt dat de modellen tot minimaal 150 bar nog verantwoord kunnen worden toegepast.

Het CAROLA pakket kan echter rekenen met leidingen tot maximaal 300 bar. Voor leidingen met een druk groter dan 150 bar zou onder andere zwaar gas dispersie kunnen optreden (afhankelijk van de samenstelling van het gas) en voor deze drukken kan niet met zekerheid worden gesteld dat het CAROLA pakket een reële inschatting van de risico's zal geven.

2 Modelparameters

2.1 Inleiding

Een risicoberekening met het rekenpakket CAROLA sluit aan bij de vastgestelde rekenmethodiek [4][7]. Bij de uitvoering van de berekeningen moet een aantal keuzes worden gemaakt en een aantal parameterwaarden worden ingevoerd. Dit hoofdstuk beschrijft deze keuzes en de parameters die van belang zijn in de risicoberekeningen. In de beschrijving wordt onderscheid gemaakt in twee typen parameters, namelijk:

- Categorie 1 Algemene parameters die de leidingexploitant en de gebruiker niet kan wijzigen, maar die kenmerkend zijn voor een QRA-berekening voor ondergrondse buisleidingen. Deze parameters zijn beschreven in paragraaf 2.3.
- Categorie 2 Projectspecifieke parameters om de berekening in overeenstemming te brengen met locatiespecifieke omstandigheden. Dit zijn parameters die door de gebruiker in worden gevoerd of gegevens die door de leidingexploitant aan de gebruiker worden geleverd. Deze zijn beschreven in paragraaf 2.4.

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

2.2 Modelling van de scenario's

Voor ondergrondse hogedruk aardgastransportleidingen wordt één representatief scenario voorgeschreven [4], zie Tabel 1.

Tabel 1 Scenario hogedruk aardgastransportleidingen

Scenario

Leidingbreuk

Opmerkingen:

1. Hoewel lekken vaker zullen voorkomen dan leidingbreuken, is hun bijdrage aan het risico ten opzichte van de leidingbreuken verwaarloosbaar klein. Dit is aangetoond door middel van berekeningen met PIPESAFE [5]. Daarom worden lekken niet in de risicoberekeningen van ondergrondse aardgastransportleidingen meegenomen en worden alleen leidingbreuken beschouwd.
2. De risicobepalende leidingbreuken zijn voornamelijk het gevolg van graafwerkzaamheden door derden [5]. In de risicomethodiek voor aardgastransportleidingen wordt hier specifiek rekening mee gehouden. Daarnaast is de bijdrage van het falen van een leiding als gevolg van corrosie in de risicomethodiek opgenomen. Door het nemen van aanvullende maatregelen zoals inwendige inspecties kan de bijdrage door corrosie worden gereduceerd dan wel uitgesloten [4].
3. Omdat de kans op een leidingbreuk voornamelijk door graafwerkzaamheden wordt bepaald, is de kans op een

beschadiging afhankelijk van de diepteligging van de leiding. Of een beschadiging resulteert in een leidingbreuk hangt vervolgens weer af van de diameter, wanddikte, druk, staalsoort en kerfslagwaarde.

2.3 Algemene parameters

De parameters in deze categorie betreffen algemene parameters die niet gewijzigd kunnen worden.

2.3.1 *Richting van de uitstroming*

De richting van de uitstroming voor ondergrondse leidingen is standaard verticaal.

2.3.2 *Tijdsonafhankelijke uitstroom en ontstekingskans*

Gegeven dat het uitstromende gas ontsteekt, wordt er standaard gerekend met 0,75 kans op directe ontsteking en 0,25 kans op vertraagde ontsteking. Er wordt gerekend met een tijdsgemiddeld uitstroomdebiet, uitgaande van 20 seconden blootstelling. Bij directe ontsteking wordt gerekend met het gemiddelde debiet over de eerste 20 seconden na het ontstaan van de leidingbreuk; bij vertraagde ontsteking wordt gerekend met het tijdsgemiddelde debiet over de periode van 120 tot 140 seconden.

Tabel 2 Directe en vertraagde ontsteking

Tijdperiode gemiddelde uitstroomdebiet	Fractie ontstekingstijdstip
0 – 20 s (directe ontsteking)	0,75
120 – 140 s (vertraagde ontsteking)	0,25

De kans op ontsteking is afhankelijk van de diameter en druk van de buisleiding [4][5]. Ter illustratie geeft Tabel 3 de kans van ontsteking voor leidingen met een diameter van 4 tot en met 16 inch en 40 bar druk en groter dan 16 inch met 66,2 bar druk.

Tabel 3 Voorbeeld ontstekingskansen voor leidingen met een diameter tot 48 inch

Diameter leiding (inch)	Druk (bar)	Kans van ontsteking
4	40	0,18
6	40	0,19
8	40	0,20
10	40	0,22
12	40	0,24
14	40	0,25
16	40	0,27
18	66,2	0,28
20	66,2	0,33
24	66,2	0,44
30	66,2	0,65
36	66,2	0,80
42	66,2	0,80
48	66,2	0,80

2.3.3 *Ruwheidslengte van de omgeving*

De ruwheidslengte is een (kunstmatige) lengtemaat die de invloed van de omgeving op de windsnelheid aangeeft. De gebruikte ruwheidslengte

van de omgeving voor de bepaling van het windprofiel is standaard 0,1 meter. De beschrijving van de omgeving is opgenomen in Tabel 4.

Tabel 4 Beschrijving terreintype met ruwheidslengte

Beschrijving omgeving	Ruwheidslengte
Lage gewassen; hier en daar grote obstakels, $x / h > 20$	0,10 m

Opmerkingen:

1. x is een typische afstand tussen obstakels bovenwinds en h de typische hoogte van de obstakels.

2.3.4 Meteorologisch weerstation en parameters

Het meteorologische weerstation dat qua ligging representatief is voor de plaats waar de leidingbreuk plaatsvindt, wordt door het rekenpakket automatisch gekozen. Hierbij wordt gekozen uit de weerstations zoals gegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Meteorologische weerstations

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

De in CAROLA gebruikte waarden voor een aantal meteorologische parameters zijn te vinden in Tabel 6. De waarden zijn jaargemiddelden.

Tabel 6 Gebruikte standaardwaarden voor een aantal meteorologische parameters

Parameter	Standaardwaarde dag	Standaardwaarde nacht
Omgevingstemperatuur	9 °C	9 °C
Temperatuur gas	9 °C	9 °C
Luchtdruk	101510 N/m ²	101510 N/m ²
Luchtvochtigheid	83 %	83 %
Fractie van een etmaal	0,44 (8:00 – 18:30)	0,56 (18:30 – 8:00)

Opmerkingen:

1. De standaardwaarden die in CAROLA gebruikt zijn, komen overeen met de waarden zoals voor het consequentieonderzoek hogedruk aardgastransportleidingen zijn gebruikt en zijn overgenomen uit het Paarse Boek [11]. Deze wijken af van de standaardwaarden uit de Handleiding Risicoberekeningen Bevi [12]. Het wordt echter opgemerkt dat de in Tabel 6 opgenomen parameters nauwelijks van invloed zijn op het relevante effect (zijnde warmtestraling) bij een breuk in een ondergrondse hogedruk aardgastransportleiding.

2.3.5 Hoogte voor de berekening van de effecten

Het 2-dimensionale warmtestralingprofiel wordt berekend op een hoogte van één meter, conform het Paarse Boek [11] en de Handleiding Risicoberekeningen Bevi [12].

2.3.6 Letaliteit

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

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

waarbij

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

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

$$\text{Pr} = a + b \ln \left(\int Q^c dt \right) \quad (3)$$

met

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

en probit constanten $a = -12,8$; $b = 2,56$; $c = 1,33$.

Met een tijdsgemiddeld debiet, daarmee een tijdsonafhankelijk warmtestralingsprofiel en een blootstellingsduur van 20 seconden, reduceert bovenstaande formule tot

$$\text{Pr} = -12,8 + 2,56 \cdot \ln (Q^{1,33} \cdot 20) \quad (4)$$

De minimum waarde van P_{letaal} die nog meegenomen wordt in de berekening is gelijk aan 0,01. De berekening van de kans op overlijden voor het plaatsgebonden risico en voor het groepsrisico is gegeven in Tabel 7.

Tabel 7 Kans op overlijden voor brandbare stoffen – warmtestraling

Gebied	Plaatsgebonden	Groepsrisico	Groepsrisico
	Risico	binnen	Buiten
warmtestraling ≥ 35 kW m ⁻²	1	1	1
warmtestraling < 35 kW m ⁻²	P_{letaal}	0	$0,14 \times P_{\text{letaal}}$

Opmerkingen:

1. Voor de bepaling van de kans op overlijden voor mensen buiten, wordt in de berekening van het groepsrisico een beschermingsfactor 0,14 voor kleding toegepast.

2.3.7 Invloed windturbines

Het is momenteel niet mogelijk om de invloed van windturbines in de omgeving van ondergrondse hogedruk aardgastransportleidingen als parameter mee te nemen in de risicoberekeningen. De methode om hier rekening mee te houden wordt nog tegen het licht gehouden. Resultaten uit dit project worden in een volgende versie van de handleiding en het rekenpakket opgenomen.

2.4 Projectspecifieke parameters

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

2.4.1 *Locatie van de uitstroming*

Het plaatsgebonden risico en het groepsrisico worden bepaald door het product van faalfrequentie en letaliteit te integreren over de lengte van de leiding. Daarom is het van belang dat de leiding op een gedegen manier in kaart wordt gebracht, met name als het gaat om de specifieke ligging van het tracé (x- en y-coördinaten) en de parametrisering van de leiding per coördinaat (diameter, druk, wanddikte, staalsoort, dekking, etc.).

De benodigde (x,y)-coördinaten van een leiding worden door de leidingexploitant aangeleverd. Bij de risicoberekeningen wordt rekening gehouden met de variërende locatiespecifieke leidingkenmerken over een leiding. Wanneer er een verandering optreedt in diameter, druk, wanddikte, staalsoort of dekking van de leiding, moet er een nieuwe coördinaat met bijbehorende kenmerken opgenomen zijn. Ook bij bochten of wanneer er een wijziging is in genomen/te nemen locatie-specifieke risicoreducerende maatregelen moeten er nieuwe coördinaten zijn opgenomen. Een overgang in een kenmerk van een leiding vindt plaats op die coördinaat waar de waarde van het kenmerk afwijkt van de waarde van het kenmerk op de voorgaande coördinaat. De kenmerken worden tussen twee opvolgende coördinaten dus niet geïnterpoleerd.

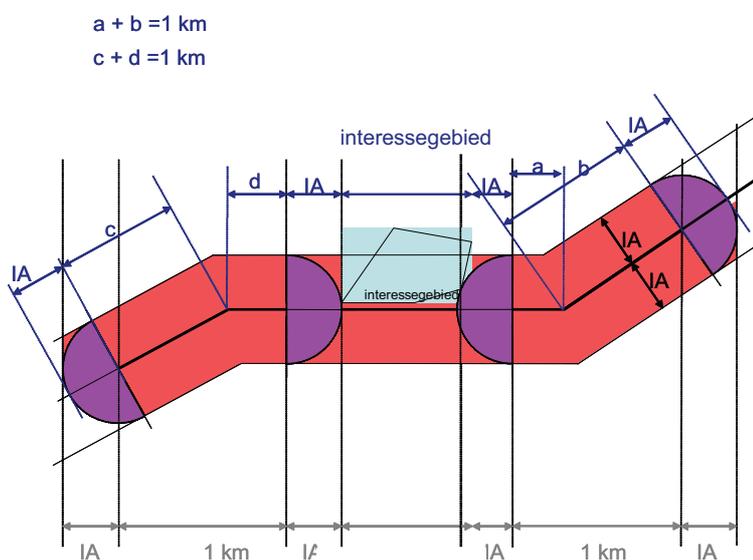
Om voor lange transportleidingen een representatieve risicocontour op te kunnen stellen, dienen de leidingcoördinaten die gebruikt worden in de risicoberekening zich op een regelmatige afstand van elkaar te bevinden. Het aantal coördinaten dient zodanig hoog te zijn dat de risicoberekeningen niet afhankelijk zijn van dit aantal. Het rekenpakket voert hierom zelf een interpolatie uit wanneer de lengte tussen twee opeenvolgende buisleidingcoördinaten groter is dan 10 meter.

2.4.2 *Topografische kaarten*

Bij het hanteren van de berekende afstanden of contouren is het van belang dat de nauwkeurigheid van het kaartmateriaal aansluit bij het beoogde gebruik. Gezien het feit dat de afstanden of contouren betekenis kunnen hebben op bestemmingsplanniveau wordt geadviseerd de Grootchalige Basiskaart van Nederland (schaal 1:100 – 1:5000) te gebruiken. Indien het gebruik van de afstanden of contouren dit toelaat (bijvoorbeeld als berekeningen zijn uitgevoerd die niet voor bestemmingsplannen bedoeld zijn), of vanwege specifieke omstandigheden, kan gebruik worden gemaakt van de topografische kaart schaal 1:10.000 of 1:25.000. De topografische kaarten moeten in het pakket handmatig van coördinaten worden voorzien.

2.4.3 *Interessegebied*

Het interessegebied is het gebied waar een ruimtelijke ontwikkeling langs een buisleiding geprojecteerd wordt/is, of waar een aanpassing van een bestaande of een nieuwe buisleiding gepland is. Het interessegebied moet passen binnen een vierkant van $10 \times 10 \text{ km}^2$. In Figuur 1 is een voorbeeld van een interessegebied aangegeven. In de figuur is tevens de inventarisatieafstand (IA) voor het groepsrisico opgenomen. Deze inventarisatieafstand wordt gedefinieerd door de 1% letaliteitsafstand en wordt door het rekenpakket zelf bepaald. Het interessegebied en de inventarisatieafstand bepalen de totale leidinglengte die meegenomen moet worden voor groepsrisicoberekeningen.



Figuur 1 Interessegebied, inventarisatieafstand (IA) en totale leidingenlengte die meegenomen moet worden voor de groepsrisicoberekeningen.

2.4.4 Bevolking

In het rekenpakket CAROLA kunnen drie verschillende typen bevolking worden ingevoerd, namelijk wonen, werken en evenementen. Om het groepsrisico op een correcte manier te berekenen, moet de bevolking binnen het gehele invloedsgebied van het groepsrisico (begrensd door de inventarisatieafstand) worden ingevoerd.

Het detailleren van de populatie binnen het invloedsgebied kan gebeuren op de volgende twee manieren:

- het inlezen van tekstbestanden met populatie.
- het handmatig aanmaken van polygonen met populatie.

Bij het laden van een tekstbestand wordt de gebruiker gevraagd het type bevolking te selecteren (wonen, werken of evenement). Hierbij wordt een aantal standaard parameterwaarden getoond (Tabel 8). Bij het zichtbaar maken van het type bevolking en de bijbehorende standaard parameterwaarden, moet de gebruiker ofwel akkoord gaan met deze standaardinstellingen of het bevolkingstype respectievelijk de standaardwaarden wijzigen. Dezelfde parameterwaarden en beperkingen zijn vastgesteld voor de door de gebruiker gegenereerde polygonen.

Tabel 8 Standaardwaarden wonen, werken, evenement

Standaardwaarden	Wonen	Werken	Evenement
Percentage aanwezigen gedurende de dag	50%	100%	100%
Percentage aanwezigen gedurende de nacht	100%	0%	100%
Percentage buiten gedurende de dag	7%	7%	7%
Percentage buiten gedurende de nacht	1%	1%	1%
Tijdspercentage overdag aanwezig gedurende het jaar	100%	100%	1%
Tijdspercentage 's nachts aanwezig gedurende het jaar	100%	100%	1%

Tabel 9 Toegestane waarden wonen, werken, evenement

Toegestane waarden	Wonen	Werken	Evenement
Percentage aanwezigen gedurende de dag	0-100%	0-100%	100%
Percentage aanwezigen gedurende de nacht	0-100%	0-100%	100%
Percentage buiten gedurende de dag	0-100%	0-100%	0-100%
Percentage buiten gedurende de nacht	0-100%	0-100%	0-100%
Tijdspercentage overdag aanwezig gedurende het jaar	100%	100%	0-50%
Tijdspercentage 's nachts aanwezig gedurende het jaar	100%	100%	0-50%

Opmerkingen:

1. De grijze waarden in Tabel 8 zijn door de gebruiker niet te wijzigen.
2. Een wijziging van een polygoon of tekstbestand heeft geen gevolgen voor andere tekstbestanden of polygoon.
3. Polygoon kunnen worden gekopieerd en de kenmerken kunnen worden aangepast. Op deze manier kunnen wonen, werken en evenementen in hetzelfde gebied worden gedefinieerd. Polygoon kunnen andere polygoon en punten uit een ingeladen tekstbestand overlappen. Personen gedefinieerd binnen polygoon worden verondersteld gelijkmatig te zijn verdeeld.
4. Standaard bestaat de dagtijd uit 10,5 uur en de nachttijd uit 13,5 uur. Daarnaast is de beschermingsfactor voor kleding standaard ingesteld op 0,14. Deze standaard waarden kunnen niet door de gebruiker worden aangepast. Deze waarden, samen met de waarden die zijn toegekend aan de aanwezige bevolking, het deel van de personen dat zich buiten bevindt en het percentage over de tijd worden meegenomen in de groepsrisicoberekeningen. Het aanwezigheidspercentage van de personen en het percentage personen buiten beïnvloeden het aantal doden, terwijl het tijdspercentage van invloed is op de frequentie.
5. Alle bevolkingsgegevens kunnen worden opgeslagen en zijn opnieuw te laden.

2.4.4.1

Het modelleren van personen bij evenementen

Evenementen stellen locaties voor waar veel personen aanwezig zijn gedurende kortere periodes van het jaar. Personen die slechts een gedeelte van het jaar (of van de dagperiode) aanwezig zijn, zoals in recreatiegebieden of bij evenementen, moeten worden meegenomen in de berekening wanneer de bijdrage aan het groepsrisico relevant is. Het meenemen van dergelijke groepen wordt in het rekenpakket CAROLA gedaan door het definiëren van tijdsperiodes met verschillende aantallen aanwezigen, rekening houdend met de gewenste

nauwkeurigheid. Daarom heeft voor evenementen de tijdsfractie van het jaar dat de activiteit plaatsvindt een bereik van 0 – 50% (zie Tabel 9).

Bijvoorbeeld: als een stadion gemodelleerd moet worden dat slechts 4 uren per week in de dagperiode bezet is, dan is deze tijdsfractie gelijk aan $4/(168 \times 10,5/24) = 0,054$, wat overeenkomt met een tijdspercentage overdag van 5,4 %. Een uitgebreid voorbeeld is weergegeven in het onderstaande kader.

In het rekenpakket is ervoor gekozen om evenementen niet tegelijkertijd te laten plaatsvinden. In het geval dat er meer dan één evenement wordt aangemaakt, zijn de personen die betrokken zijn bij deze afzonderlijke gebeurtenissen daarom nooit op hetzelfde tijdstip aanwezig. Vandaar dat de som van de tijdspercentages voor alle evenementen kleiner moet zijn dan of gelijk zijn aan 100%. Wanneer de som groter is dan 100% wordt de gebruiker gewaarschuwd dat de evenementen elkaar in tijd overlappen. Vervolgens zal het rekenpakket vragen om het aantal activiteiten of de overeenkomstige tijdspercentages aan te passen. Daarna kan pas verder worden gegaan met het uitvoeren van de berekeningen. De bewoners en werknemers zijn altijd aanwezig bij evenementen.

De FN-punten voor het groepsrisico moeten worden berekend voor:

- alle combinaties van windsnelheid en -richting gedurende dag en nacht
- alle combinaties van de bewoners (R), werknemers (W) en evenementen (E)

Natuurlijk moeten alle FN-punten gecumuleerd worden tot een FN-curve

Ten eerste is de faalfrequentie f opgesplitst voor dag en nacht

$$f_{\text{day}} = f \times \text{tijdsduur dag} / 24$$

$$f_{\text{night}} = f \times \text{tijdsduur nacht} / 24$$

Ten tweede zijn de scenario's met een frequentie f_{day} en f_{night} opgesplitst voor alle combinaties van windsnelheid (4) en windrichting (12). Dit resulteert in 96 scenario's met een frequentie $f_{\text{day},1} \dots f_{\text{day},48}$; $f_{\text{night},1} \dots f_{\text{night},48}$

Deze 96 scenario's worden verder opgesplitst voor de groepsrisico berekening door ze te combineren met alle combinaties van de bewoners (R), werknemers (W) en evenementen (E). Dit is uitgewerkt voor het incident scenario met een frequentie $f_{\text{day},1}$ (alle andere incident scenario's moeten op dezelfde wijze worden behandeld).

Het scenario met een frequentie $f_{\text{day},1}$ is opgesplitst voor de volgende bevolkingscombinaties:

- 1 bewoners (R) en werknemers (W) aanwezig met evenement E_1

De totale bevolking (P) op een x,y -coördinaat is gelijk aan $R(x,y) \times F_{\text{rd}} + W(x,y) \times F_{\text{wd}} + E_1(x,y)$

F_{rd} en F_{wd} zijn de percentages van de aanwezige bewoners en werknemers zoals gedefinieerd in Tabel 8 en 9 (natuurlijk moeten voor een nacht scenario de tijdspercentages voor de nacht worden gebruikt)

De frequentie van dit basisscenario is nu: $f_{\text{day},1} \times F_{\text{ed},1}$

$F_{\text{ed},1}$ is het tijdspercentage dat het evenement aanwezig is gedurende een jaar op de dag.

(natuurlijk moeten voor een nacht scenario de tijdspercentages voor de nacht worden gebruikt)

- 2 bewoners (R) en werknemers (W) aanwezig met evenement E_2

De totale bevolking (P) op een x,y -coördinaat is gelijk aan $R(x,y) \times F_{\text{rd}} + W(x,y) \times F_{\text{wd}} + E_2(x,y)$

De frequentie van dit basisscenario is nu: $f_{\text{day},1} \times F_{\text{ed},2}$

...

...

- n bewoners (R) en werknemers (W) aanwezig met evenement E_i

De totale bevolking (P) op een x,y -coördinaat is gelijk aan:

$$R(x,y) \times F_{\text{rd}} + W(x,y) \times F_{\text{wd}} + E_i(x,y)$$

De frequentie van dit basisscenario is nu: $f_{\text{day},1} \times F_{\text{ed},i}$

- $n+1$ bewoners (R) en werknemers (W) aanwezig zonder evenement

De totale bevolking (P) op een x,y -coördinaat is gelijk aan $R(x,y) \times F_{\text{rd}} + W(x,y) \times F_{\text{wd}}$

De frequentie van dit basisscenario is: $f_{\text{day},1} \times \left(1 - \sum_{i=1}^n F_{\text{ed},i}\right)$

Het totaal aantal scenario's waarvoor FN-punten moeten worden berekend is gelijk aan $96 \times (n+1)$. Voor de som van alle evenementen i , gelden de volgende beperkingen voor de factoren

F_{ed} en F_{en} :

$$\sum_i F_{\text{ed},i} \leq 100\% \quad \text{en} \quad \sum_i F_{\text{en},i} \leq 100\%$$

2.4.5 Kenmerken leidingenbestand

Het leidingenbestand is opgebouwd uit rijen waarin de relevante leidingkenmerken zijn opgenomen. Deze kenmerken met hun bijbehorende toegestane waarden zijn gegeven in Tabel 10. Een uitgebreide beschrijving van de technische grenzen voor de invoergegevens is opgenomen in paragraaf 5.2.

Tabel 10 Opbouw leidingbestand

Kenmerken	Toegestane waarden
x-coördinaat	Rijksdriehoekskoördinaat
y-coördinaat	Rijksdriehoekskoördinaat
Stationing (m)	afstand vanaf het begin van de leiding
Diameter (mm)	50 – 1234
Druk (barg)	16 – 300
Wanddikte (mm)	2 – 40
Rekgrens (N/mm ²)	180 – 552
Diepteligging (m)	0 – 30
Charpy energie (J)	14; 24; 40; 70
Extra gronddekking (m)	0 – 30
Nummer van mitigerende maatregel uit cluster 2	20 – 29
Nummer van mitigerende maatregel uit cluster 3	30 – 39
Nummer van mitigerende maatregel uit cluster 4	40 – 49
Nummer van mitigerende maatregel uit cluster 5	50 – 59

Opmerkingen:

1. Voor nieuwe leidingen mag het risico voor een individuele leiding alleen worden gebaseerd op de parameters diameter, druk, wanddikte, rekgrens, diepteligging en Charpy energie. De invloed van eventueel toegepaste maatregelen uit cluster 2, 3, 4 en 5 mogen niet in de berekeningen worden verdisconteerd.
2. Als decimaalteken wordt in CAROLA een punt (.) gebruikt, als scheidingsteken tussen de kolommen met kenmerken kunnen spaties, komma's of tabs worden gebruikt.
3. De stationing is een kenmerk van iedere leidingcoördinaat. Deze geeft aan wat de afstand is van het beginpunt van de leiding tot de betreffende leidingcoördinaat in het horizontale vlak:

$$S_{i+1} = S_i + \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (5)$$

De stationing voor iedere coördinaat staat hierdoor vast en is in principe onafhankelijk van een gemaakte uitsnede uit het leidingenbestand van de leidingenexploitant.

4. Ten aanzien van de druk wordt verwezen naar paragraaf 1.2, waarin aangegeven wordt voor welke drukken het rekenpakket CAROLA is gevalideerd, en tot welke drukken berekeningen kunnen worden uitgevoerd.
5. De consequenties voor de ruimtelijke ordening (PR en GR) van een leiding met in de tijd afnemende druk worden voor één situatie vastgesteld.
 - Voor nieuwe leidingen is het uitgangspunt de ontwerpdruk (maximale werkdruk);
 - Voor bestaande leidingen kunnen de volgende uitgangspunten worden gehanteerd:
 - Aansluiten bij het uitgangspunt voor nieuwe leidingen en uitgegaan van de ontwerpdruk (conservatief). Dit zou het geval kunnen zijn indien de leiding onder vergunning ligt;

- De actuele (maximale) druk in de leiding. Hierbij moet geborgd zijn dat in de toekomst de druk ook niet meer hoger kan worden door bijvoorbeeld aansluiting op een nieuw veld. Bij leidingen waarbij additionele drukveiligheden worden toegepast zou ook de maximale druk kunnen worden gebruikt die toegelaten wordt door de additionele veiligheden.
6. De maatregel 'extra gronddekking' wordt aangegeven door de leidingexploitant in meters en wordt door het rekenpakket meegenomen in de berekening van de faalfrequentie (voor de randvoorwaarden, zie Paragraaf 5.1). Deze maatregel wordt aangegeven als een discrete waarde van (een veelvoud van) 0,10 meter.
 7. De diepteligging en de extra gronddekking hebben een positieve waarde voor ondergrondse leidingen.
 8. Voor de diepteligging voor de risicoberekeningen wordt 0,05 meter als minimum en 2,0 meter als maximum gehanteerd, ongeacht eventuele afwijkende waarden in het leidingenbestand. De diepteligging die in de berekening wordt gebruikt, is een combinatie van de diepteligging en de extra diepteligging die als maatregel kan worden opgenomen, waarbij bovenstaande maximum wordt gehanteerd.
 9. In het rekenpakket zijn de bekende combinaties van druk en diameter opgenomen. In geval dat een combinatie van druk en diameter niet aanwezig is, kan bij het RIVM een aanvraag worden ingediend om deze op te nemen in de achterliggende tabellen van het rekenpakket.
 10. Alle buisleidinginformatie, samen met de naam van de leidingexploitant, versienummer van het rekenpakket en de vervaldatum, zijn opgeslagen in een gecodeerd bestand, dat door de gebruikers niet gelezen en gewijzigd kan worden. Het gecodeerde bestand bevat tevens een specificatie van het interessegebied. Het gecodeerde bestand wordt gebruikt als invoer voor het rekenpakket.
 11. Bij de risicoberekeningen wordt rekening gehouden met de variërende locatiespecifieke leidingkenmerken over een leiding. Wanneer er een verandering optreedt in diameter, druk, wanddikte, staalsoort of gronddekking van de leiding, moet er een nieuwe coördinaat met bijbehorende kenmerken opgenomen worden. Dekkingsovergangen van 20 cm of meer dienen te worden beschreven in het leidingbestand. Tevens dienen dekkingsovergangen van 10 cm of meer die over een leidingafstand van 50 meter of meer stand houden te worden beschreven. Ook bij bochten of wanneer er een wijziging is in genomen of te nemen locatiespecifieke risicoreducerende maatregelen moeten er nieuwe coördinaten worden opgenomen. Een overgang in een kenmerk van een leiding vindt plaats op die coördinaat waar de waarde van het kenmerk afwijkt van de waarde van het kenmerk op de voorgaande coördinaat in het leidingbestand. De kenmerken worden tussen twee opeenvolgende coördinaten dus niet geïnterpoleerd.

2.4.6 *Mitigerende maatregelen beschadiging door derden*

Voor hogedruk aardgastransportleidingen kan een aantal maatregelen worden toegepast om het risico terug te brengen. De maatregelen uit

deze paragraaf grijpen in op de voornaamste faaloorzaak van aardgastransportleidingen, namelijk 'beschadiging door derden'. In het RIVM-rapport [4] worden de maatregelen uitgebreid beschreven. De randvoorwaarden worden genoemd in de bijlage (Hoofdstuk 5) bij deze module. Hieraan moet worden voldaan wil de reductiefactor voor een maatregel kunnen worden ingeboekt. De leidingexploitant is verantwoordelijk voor het opnemen van eventuele maatregelen in het leidingenbestand en zijn Veiligheids Beheersysteem (VBS) en Risico Managementsysteem (RMS).

De standaard faalfrequenties voor beschadiging door derden kunnen worden gecorrigeerd, gegeven de te nemen en de genomen maatregelen door middel van de formule:

$$\text{faalfrequentie}_{\text{beschadiging door derden, gecorrigeerd}} = \text{faalfrequentie}_{\text{beschadiging door derden}} \times \text{factor} \quad (6)$$

waarbij:

$$\text{factor} = \text{factor}_{\text{cluster1}} \times \text{factor}_{\text{cluster2}} \times \text{factor}_{\text{cluster3}} \times \text{factor}_{\text{cluster4}} \times \text{factor}_{\text{cluster5}} \quad (7)$$

Voor clusters 2 tot en met 5 kan slechts één maatregel gekozen worden per cluster. Deze maatregelen zijn voor de clusters 2 – 5 genummerd van 0 – 9, wat leidt tot een nummering van de maatregelen van 20 tot 59. De factor voor de clusters 2 tot en met 4 wordt de factor van de gekozen maatregel. Voor cluster 5 geldt een afhankelijkheid van cluster 1. Als voor de clusters 2, 3, 4 en 5 geen mitigerende maatregelen worden genomen, zijn de nummers in het buisleidingenbestand voor deze clusters 20, 30, 40 en 50, respectievelijk, en de bijbehorende reductiefactoren zijn dan gelijk aan 1.

2.4.6.1

Cluster 1 – regelgeving en casuïstiek

De maatregelen in cluster 1 betreffen de grondroerdersregeling (wet informatie-uitwisseling ondergrondse netten, WION [13]) (A), de reductie in de basisfaalfrequentie op basis van casuïstiek (B) en actief rappel (C).

A. WION wetgeving	factor:	0,400
B. casuïstiek		
Leidingexploitant 1	factor:	0,357
Leidingexploitant 2	factor:	1,000
Leidingexploitant 3	factor:	1,000
Leidingexploitant 4	factor:	1,000
...		
Leidingexploitant 64	factor:	1,000
C. actief rappel		
Leidingexploitant 1	factor:	0,833
Leidingexploitant 2	factor:	1,000
Leidingexploitant 3	factor:	1,000
Leidingexploitant 4	factor:	1,000
...		
Leidingexploitant 64	factor:	1,000

De factoren voor B en C zijn vastgelegd op basis van de naam van de leidingexploitant. De totale factor voor een leidingexploitant op basis van maatregelen uit cluster 1 is het product van A, B en C.

Dus in het huidige voorbeeld voor leidingexploitant 1 is de factor van cluster 1 gelijk aan $0,4 \times 0,357 \times 0,833 = 0,119$; terwijl voor de leidingexploitant 2 tot 64 de factor uit cluster 1 gelijk is aan $0,4 \times 1,000 \times 1,000 = 0,400$.

In Tabel 11 worden per leidingexploitant de waarden weergegeven. De waarden uit de tabel zijn opgenomen in versie 1.2 van het CAROLA Parameterbestand.

Tabel 11. Overzicht van exploitantspecifieke factoren voor verschillende leidingexploitanten

Exploitant	Cluster 1B Casuïstiek	Cluster 1C Actief rappel	Mitigerende maatregelen corrosie	Referentie
Alliander	1,000	1,000	1,000	
BBL Company VOF	0,357	0,833	0,000	[4], [14]
DELTA Netwerkbedrijf BV	1,000	0,833	0,000	
Essent	1,000	0,833	0,000	
GDF SUEZ E&P Nederland BV	1,000	1,000	1,000	
Nederlandse Aardolie Maatschappij BV	1,000	0,833	0,000	[8],[9]
Nederlandse Aardolie Maatschappij BV – ONEGas	1,000	0,833	0,000	[8],[9]
Noordgastransport BV	1,000	1,000	1,000	
Northern Petroleum Nederland BV	1,000	0,833	1,000	
NV Nederlandse Gasunie	0,357	0,833	0,000	[4], [14]
NV Nuon	1,000	0,833	1,000	
RWE Westfalen-Weser-Ems Netzservice GmbH	1,000	1,000	1,000	
TAQA Energy BV	1,000	1,000	1,000	
Vermilion Oil & Gas Netherlands BV	1,000	1,000	1,000	
Wintershall Noordzee BV	1,000	0,833	1,000	
Zebra Gasnetwerk BV	1,000	0,833	0,000	

2.4.6.2

Cluster 2 – afdekking met beschermend materiaal

Dit betreffen maatregelen waarbij er een ondergrondse afdekking plaatsvindt van de te beschermen leiding.

20. geen	factor:	1,000
21. waarschuwingsslint	factor:	0,599
22. betonplaten	factor:	0,200
23. waarschuwingsslint + betonplaten	factor:	0,033
24. reserve	factor:	1,000
25. reserve	factor:	1,000
26. reserve	factor:	1,000
27. waarschuwingsslint + betonplaten voorgesteld	factor:	0,033
28. betonplaten voorgesteld	factor:	0,200
29. waarschuwingsslint voorgesteld	factor:	0,599

2.4.6.3

Cluster 3 – beheermaatregelen

Beheersmaatregelen betreffen beperkingen aan of uitsluiting van graafwerkzaamheden door middel van een beheerovereenkomst met de grondeigenaar.

30. geen	factor: 1,000
31. overeenkomst, vergaande restricties	factor: 0,010
32. overeenkomst, graven/boren verboden	factor: 0,100
33. overeenkomst, beperkte restricties	factor: 0,625
34. reserve	factor: 1,000
35. reserve	factor: 1,000
36. reserve	factor: 1,000
37. overeenkomst, beperkte restricties voorgesteld	factor: 0,625
38. overeenkomst, grondroeren verboden voorgesteld	factor: 0,100
39. overeenkomst, vergaande restricties voorgesteld	factor: 0,010

2.4.6.4

Cluster 4 – fysieke barrières op maaiveld

Dit betreffen maatregelen die ertoe dienen dat het bij graafwerkzaamheden duidelijk is dat de werkzaamheden niet mogen worden uitgevoerd.

40. geen	factor: 1,000
41. hekwerk	factor: 0,000
42. dijklichaam	factor: 0,100
43. barrière op het maaiveld	factor: 0,125
44. reserve	factor: 1,000
45. reserve	factor: 1,000
46. reserve	factor: 1,000
47. barrière op het maaiveld voorgesteld	factor: 0,125
48. dijklichaam voorgesteld	factor: 0,100
49. hekwerk voorgesteld	factor: 0,000

2.4.6.5

Cluster 5 – overige maatregelen

De maatregelen in cluster 5 betreffen maatregelen die afhankelijk van de grondroerdersregeling doorwerken. Voor cluster 5 kan één maatregel worden geselecteerd. De factoren voor de maatregelen in cluster 5 zijn afhankelijk van de parameterwaarden voor A en C, zoals omschreven in cluster 1. De volgende formule geldt:

$$\text{factor}_{\text{cluster5}} = (A \times C)^{-1} / \text{factor}_{\text{geselecteerde maatregel, cluster 5}} \quad (8)$$

Als er geen maatregelen worden gespecificeerd voor cluster 5 (dat wil zeggen: als het nummer voor cluster 5 in het buisleidingenbestand 50 is) dan is de $\text{factor}_{\text{cluster5}} = 1,0$.

50. geen	-
51. strikte begeleiding werkzaamheden	factor: 7,5
52. cameratoezicht	factor: 6,5
53. reserve	factor: 1,0
54. reserve	factor: 1,0
55. reserve	factor: 1,0
56. reserve	factor: 1,0
57. reserve	factor: 1,0
58. cameratoezicht voorgesteld	factor: 6,5
59. strikte begeleiding werkzaamheden voorgesteld	factor: 7,5

2.4.6.6 Toegestane waarden

Toegestane waarden van de factoren in Clusters 1 tot 5:

factoren Cluster 1:	0,000 – 1,000
factoren Cluster 2:	0,000 – 1,000
factoren Cluster 3:	0,000 – 1,000
factoren Cluster 4:	0,000 – 1,000
factoren Cluster 5:	1,000 – 100,0

De waarden die worden toegekend aan de verschillende mitigerende factoren (zoals beschreven in paragraaf 2.4.6.1 tot en met 2.4.6.5) kunnen niet door een gebruiker of een leidingexploitant worden gewijzigd. Deze wijzigingen kunnen alleen worden doorgevoerd door het RIVM.

2.4.7 *Mitigerende maatregelen corrosie*

De standaard faalfrequenties voor corrosie worden gecorrigeerd gegeven de leidingexploitant:

$$\text{faalfrequentie}_{\text{corrosie, gecorrigeerd}} = \text{faalfrequentie}_{\text{corrosie}} \times \text{factor} \quad (9)$$

waarbij de factor afhangt van de leidingexploitant:

Leidingexploitant 1	factor:	0,000
Leidingexploitant 2	factor:	1,000
Leidingexploitant 3	factor:	1,000
Leidingexploitant 4	factor:	1,000
...		
Leidingexploitant 64	factor:	1,000

Dus voor leidingexploitant 1 is corrosie uitgesloten als mogelijke oorzaak voor falen (factor = 0,000), terwijl voor de andere leidingexploitanten corrosie nog beschouwd moet worden als mogelijke faaloorzaak.

Toegestane waarden van de factor voor de mitigerende maatregelen voor corrosie:

factoren: 0,000 of 1,000

Wanneer er specifieke maatregelen genomen worden qua onderhoud en inspectie en door de exploitant kan worden aangetoond dat er geen externe corrosie plaatsvindt, kan deze factor op 0 worden gezet. Dit kan bijvoorbeeld door coatinginspecties en pig- operaties. De inspectiefrequentie en de identificatie van de leidingstukken waar specifiek het inspectieprogramma op wordt toegespitst wordt overgelaten aan de exploitant [4]. Voorwaarde is wel dat dit binnen het zorgsysteem/inspectieprogramma aantoonbaar moet zijn geborgd.

Ook hier geldt dat de eerder beschreven factoren niet door de gebruiker of de leidingexploitant kunnen worden gewijzigd. Deze wijzigingen kunnen alleen worden doorgevoerd door het RIVM.

3 Procedure risicoberekeningen met CAROLA

Dit hoofdstuk bevat een beknopte beschrijving van de procedure om een risicoberekening met het rekenpakket CAROLA uit te voeren. Gedetailleerde informatie over het rekenpakket is te vinden in de Gebruikershandleiding van het rekenpakket CAROLA [3].

3.1 Inlezen achtergrondkaart

Laad een eigen achtergrondkaart in en kalibreer de kaart met behulp van (x, y)-coördinaten in het Rijksdriehoekstelsel, door drie punten op de kaart te specificeren met hun coördinaten. Het programma gebruikt deze coördinaten voor de kalibratie van de kaart en de controle van de kalibratie. Indien uit de interne controle van de kalibratie blijkt dat de kalibratie niet correct is uitgevoerd, dan wordt er een foutmelding gegeven en moet de kalibratieprocedure worden herhaald. Het formaat van de toegestane achtergrondkaarten is bmp, .tif en jp(e)g. Het programma laat de achtergrondkaart dan zien met een passende schaalverdeling en een noordpijl. De achtergrondkaart wordt rechthoekig; de maximale grootte van de kaart is beperkt tot maximaal 40 × 40 km².

3.2 Selecteren interessegebied

Selecteer het gebied op de kaart waarin u geïnteresseerd bent (zie ook paragraaf 2.4.3), door het opgeven van een polygoon (met behulp van enkele klikken op de kaart). Het interessegebied moet passen in een vierkant van 10 × 10 km² op de achtergrondkaart. Het interessegebied moet worden opgeslagen in een tekstbestand en naar de leidingexploitant(en) gestuurd worden.

Met behulp van het tekstbestand selecteert de leidingexploitant de relevante buisleidingen, samen met de bijbehorende leidingspecifieke parameters. De leidingexploitant stuurt een gecodeerd bestand met de informatie van de leiding terug. Deze bestanden bevatten alle buisleidingdelen die zich binnen een afstand van tenminste 1 km + 2 maal de maximale effectafstand van het interessegebied bevinden.

3.3 Inlezen gecodeerde bestand met leidinggegevens

Laad het (de) gecodeerde bestand(en) met buisleidinginformatie in het rekenpakket. Automatisch wordt de positie van de leidingen in de omgeving zichtbaar gemaakt. Afhankelijk van de grootte van de achtergrondkaart kan de buisleiding worden ingetekend buiten de oorspronkelijke achtergrondkaart.

Het rekenpakket voert automatisch een aantal controles uit op de ingevoerde gegevens:

- berekeningen kunnen uitsluitend worden uitgevoerd met buisleidinggegevens die versleuteld zijn en aangeleverd door de leidingexploitanten.
- De buisleidinggegevens worden gecontroleerd op datum: het gecodeerde leidingenbestand bevat een vooraf bepaalde houdbaarheidsdatum om ervoor te zorgen dat correcte en up-to-date gegevens worden gebruikt in de berekeningen.
- het interessegebied dat in paragraaf 3.2 gedefinieerd is, is ook opgenomen in het leidingbestand. Het rekenpakket maakt

gebruik van dit interessegebied. Als er bestanden met buisleidinggegevens worden ingeladen, dan controleert het programma of deze polygonen gelijk zijn aan het interessegebied in het projectbestand. In het geval dat niet zo is, wordt er een foutmelding gegeven en kan de berekening niet worden voortgezet.

- als de naam van de leidingexploitant, zoals vermeld in het gecodeerde bestand, niet overeenkomt met een van de reeds in het parameterbestand vermelde leidingexploitanten, dan geeft het rekenpakket een foutmelding en kan er geen berekening worden uitgevoerd.
- zodra de buisleidinggegevens worden geladen zal de visualisatie van de achtergrondkaart in omvang worden beperkt.

Het rekenpakket laat een lijst zien van de ingeladen buisleidingen. De leidingen kunnen worden bevraagd op diameter, druk en genomen of te nemen locatiespecifieke mitigerende maatregelen (indien van toepassing), door de buisleiding aan te wijzen met de muis. Dit geeft een pop-up venster met de gevraagde informatie. De buisleidinggegevens kunnen niet worden gewijzigd.

3.4 Berekenen plaatsgebonden risico

Bereken het plaatsgebonden risico (PR) voor alle afzonderlijke buisleidingen. Daarna kan een van de betrokken buisleidingen geselecteerd worden uit de lijst van buisleidingen, waarvan dan het PR wordt gepresenteerd. Hier is er een keuze uit het laten zien van gebieden en/of contouren. De PR-contouren van 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} per jaar kunnen zichtbaar gemaakt worden (in het geval zij bestaan).

Voor iedere afzonderlijke leiding is het mogelijk om de PR-contouren naar een GIS-shapefile met polygoongeometrie te exporteren.

Het is mogelijk om na de berekeningen zoals omschreven in deze paragraaf te stoppen met de berekeningen en direct naar het samenvattende verslag te gaan (paragraaf 3.8). De groepsrisico-resultaten zullen dan worden uitgesloten van het samenvattende verslag.

3.5 Zichtbaar maken van het invloedsgebied

Het invloedsgebied voor de groepsrisicoberekeningen voor alle betrokken buisleidingen wordt zichtbaar gemaakt door het rekenpakket. Zo wordt het in één oogopslag duidelijk welk gebied van invloed is op het groepsrisico.

3.6 Invoeren bevolkingsgegevens

Het detailleren van de populatie binnen het invloedsgebied kan gebeuren op de volgende twee manieren:

- vooraf aangemaakte tekstbestanden met populatie. Deze kunnen door de gebruiker worden geladen. Het in te lezen bevolkingsbestand bestaat uit separate regels met op elke regel respectievelijk de x-coördinaat, de y-coördinaat en het aantal personen op deze coördinaat. De waarden worden gescheiden door een tab, spatie of komma. De onderstaande 3 regels bevatten een voorbeeld van de opmaak van het bestand:

144471, 455784, 2.35

140183, 462238, 3.33

140847, 457541, 2.10

- klikken op de kaart. Door op de kaart te klikken kan een gebied worden gedefinieerd, en de bevolking in dit gebied kan worden ingevoerd als dichtheid of werkelijk aantal. Hierbij zijn dan twee mogelijkheden, namelijk vervanging van bestaande, eerder ingelezen bevolking (inclusief het verwijderen van bestaande populatie die is ingelezen vanuit vooraf aangemaakte tekstbestanden) of toevoegen aan bestaande bevolking.

Er kan in principe een onbeperkt aantal bestanden met bevolking ingelezen of ingetekend worden. Er is geen voorgeschreven volgorde voor inlezen of intekenen. Elk ingetekend gebied en elk tekstbestand bevatten evenwel één type bevolking (bewoners, werknemers of personen aanwezig bij evenementen).

Bij het laden van een tekstbestand of het intekenen op de kaart wordt de gebruiker gevraagd het type bevolking te selecteren (wonen, werken of evenement). Een overzicht van de uitgangspunten voor de bevolkingstypen is opgenomen in paragraaf 0.

3.7 Groeprisicoberekeningen

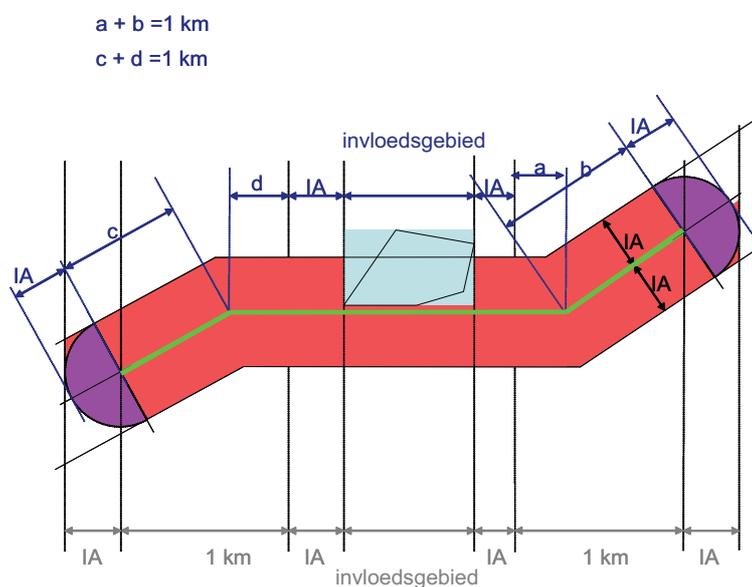
Bereken het groeprisico (GR), met de bijbehorende FN-curven. Het groeprisico wordt gescreend op basis van de overschrijdingsfactor van de oriëntatiewaarde ($F \cdot N^2 = 0,01$). De screening vindt plaats door het berekenen van de overschrijdingsfactor van de oriëntatiewaarde voor het GR per punt op de leiding (stationing), rekening houdend met één kilometer buisleiding rond dat punt (500 meter aan beide kanten). Deze screening resulteert in een grafiek met op de horizontale as de waarde van de stationing en op de verticale as de overschrijdingsfactor. Met behulp van deze grafiek kan de gebruiker direct vaststellen wat de "worst case" kilometer is voor het GR. De kaart, de hierboven beschreven grafiek en de werkelijke groeprisicocurve (FN-curve) zijn aan elkaar gekoppeld.

Groeprisicoberekeningen worden uitgevoerd en weergegeven voor 1 kilometer leiding. Dit leidingstuk wordt op het scherm standaard weergegeven met een groene kleur, zoals weergegeven in Figuur 2. De stationing wordt oplopend weergegeven, en is onafhankelijk van de richting waarin de leiding op het scherm zichtbaar is.

De FN-curve kan worden geëxporteerd, evenals de screening en de achtergrondkaart (zoals deze zichtbaar is in het rekenpakket) met de gemarkeerde kilometer van de buisleiding die op de screening en op de kaart zichtbaar is. Bovendien is het mogelijk de bijbehorende (cumulatieve) FN-punten op te slaan naar een tekstbestand.

Als een buisleiding een totale lengte heeft van minder dan 1 km, dan wordt de FN-curve berekend voor de volledige buisleiding. De oriëntatiewaarde blijft ongewijzigd ($F \cdot N^2 = 0,01$).

Alle FN-curven worden standaard getoond met een x-as met $N = 10$ tot 1000, of wanneer er meer dan 1000 slachtoffers zijn, tot 10000; de y-as met F varieert van 10^{-3} tot 10^{-9} .



Figuur 2 Deel van de buisleiding waarvoor het groepsrisico berekend kan worden

3.8

Samenvattend rapport

Na het uitvoeren van de berekeningen voor het plaatsgebonden risico (en, indien berekend, het groepsrisico) is het mogelijk een kort samenvattend rapport te genereren. Hierin zijn de volgende onderdelen opgenomen:

- het versienummer van het rekenpakket
- het versienummer van het parameterbestand
- datum van de berekening
- datum van aanmaak van de buisleidinggegevens
- legenda
- leidingexploitant
- naam en opslagdatum van het projectbestand dat is gebruikt voor de berekeningen
- de leidingen, samen met naam, diameter (inch), druk (barg) en risicobeperkende maatregelen waarmee in de risicoberekeningen rekening is gehouden, een plaatje van de PR-contouren en het plaatje met de bevolkingsgegevens op de achtergrondkaart
- de grafiek met de screening van het groepsrisico (indien van toepassing)
- de FN-curve van de "worst case", kilometer van de buisleiding (d.w.z. de kilometer buisleiding met de grootste overschrijdingsfactor), samen met een figuur van deze kilometer op de achtergrondkaart (indien van toepassing)

Het rapport wordt in Word-formaat aangemaakt. Dit verslag geeft de minimale invulling van het technische gedeelte van de QRA-rapportage zoals hier boven genoemd en ontslaat niet van de rapportageverplichtingen zoals opgenomen in paragraaf 4.2 en/of andere voorwaarden die door een opdrachtgever of bevoegd gezag worden gesteld.

4 Technische documentatie

4.1 Inleiding

De risicoanalyse moet op een dusdanige wijze gedocumenteerd worden dat een bevoegd gezag voldoende informatie heeft om de risicoanalyse inhoudelijk goed te kunnen beoordelen. Afwijkingen van de standaardmodellering zijn in principe niet mogelijk, aangezien de rekenmethodiek in zijn geheel is vastgelegd [4][5]. In dit hoofdstuk is beschreven welke documentatie beschikbaar moet zijn om een QRA te kunnen beoordelen en wordt de rapportageplicht voor een QRA nader gespecificeerd.

4.2 Rapportageplicht voor een QRA

Tabel 12 specificeert de elementen voor een zelfstandige QRA, op basis van de uitvoer van het rekenpakket CAROLA zoals opgenomen in paragraaf 3.8.

Tabel 12 Overzicht van de elementen die in een QRA gerapporteerd moeten worden

Onderwerp	Vertrouwelijk/ Openbaar
1 Algemene rapportgegevens	
Administratieve gegevens:	Openbaar
<ul style="list-style-type: none"> naam en adres van de leidingexploitant(en) (volgens Bevb) naam en adres van de opsteller van de QRA 	
Reden opstellen QRA	Openbaar
Gevolgd methodiek	Openbaar
<ul style="list-style-type: none"> rekenpakket met versienummer parameterbestand met versienummer 	
Peildatum QRA	Openbaar
<ul style="list-style-type: none"> datum van de berekening datum van aanmaak van de buisleidinggegevens 	
2 Algemene beschrijving van de buisleiding(en)	
Gegevens buisleiding	Openbaar
<ul style="list-style-type: none"> naam buisleiding diameter druk eventuele mitigerende maatregelen 	
Ligging van de leiding, aan de hand van kaart(en) op schaal.	Openbaar
<ul style="list-style-type: none"> leiding noordpijl en schaalindicatie 	
3 Beschrijving omgeving	
Omgevingsbebouwing en gebiedsfuncties	Openbaar
<ul style="list-style-type: none"> bestemmingsplannen al dan niet gedeeltelijk binnen de PR 10^{-6}-contour en het invloedsgebied 	
Actuele topografische kaart	Openbaar
Een beschrijving van de bevolking rond de buisleiding, onder opgave van de wijze waarop deze beschrijving tot stand is gekomen (o.a. incidentele bebouwing, lintbebouwing)	Openbaar
Mogelijke gevaren van buiten de buisleiding die op de buisleiding effect kunnen hebben (risicoverhogende objecten, buurtbedrijven/activiteiten, vliegroutes, windturbines)	Openbaar
Gebruikt weerstation	Openbaar
4 Beschrijving per leiding van mogelijke risico's voor de omgeving	
Samenvattend overzicht van de resultaten van de QRA, waarin tenminste is opgenomen:	Openbaar
Kaart met het berekende plaatsgebonden risico, met contouren voor 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} en 10^{-8} (indien aanwezig)	Openbaar

FN-curve, voor zowel huidige als toekomstige situatie, met het groepsrisico voor de kilometer buisleiding met de grootste overschrijding van de oriënterende waarde. Op de horizontale as van de grafiek met de FN-curve wordt het aantal dodelijke slachtoffers uitgezet, op de verticale as de cumulatieve kans tot 10^{-9} per jaar	Openbaar
FN-datapunt waarbij de maximale overschrijding van de oriëntatiewaarde optreedt, inclusief de factor van de overschrijding	Openbaar
Grafiek met de screening van het groepsrisico	Openbaar
Beschrijving of er kwetsbare bestemmingen en/of beperkt kwetsbare bestemmingen binnen de PR contour van 10^{-6} per jaar zijn	Openbaar
Voorgestelde preventieve en repressieve maatregelen die in de QRA zijn meegenomen	Openbaar

5 Bijlage Toelichting

5.1 Hoofdstuk 2 Modelparameters

2.4.6. *Mitigerende maatregelen beschadiging door derden*

Hieronder worden de randvoorwaarden bij de verschillende maatregelen gegeven.

Extra gronddekking

Randvoorwaarde bij deze maatregel is dat de dekking aan weerszijden van de leiding effectief moet zijn. De dekking moet zodanig zijn aangebracht dat verwacht mag worden dat een grondroerder die loodrecht op de leiding graaft, het maaiveld blijft volgen en niet de extra gronddekking negeert door het niveau op graafdiepte aan te houden. Als leidraad geldt dat bij een extra gronddekking tot 20 centimeter de extra dekking over minimaal 10 meter aan weerszijden van de leiding moet worden aangebracht. Bij een extra gronddekking groter dan 20 centimeter moet de extra dekking minimaal over de belemmerde strook worden aangebracht.

Cluster 1

1A WION wetgeving

- De randvoorwaarden worden in de WION gegeven [13].

1B Casuïstiek

Deze factor is gebaseerd op de casuïstiek van N.V. Nederlandse Gasunie [4]. De randvoorwaarden voor het toepassen van deze factor door de andere exploitanten moeten nog worden vastgesteld. De exploitant mag een eigen inschatting maken of deze factor ook voor hem van toepassing is. De procedure hiervoor wordt beschreven in [15].

1C Actief rappel

- De exploitant dient binnen 10 werkdagen na de melding met de grondroerder contact op te nemen indien deze dat nog niet heeft gedaan.

Cluster 2

21 Waarschuwingslint, 22 Betonplaten, 23 Waarschuwingslint en betonplaten

- De minimumafstand tussen een leiding en het beschermende materiaal en de breedte van de afdekking moet in een standaarddocument worden vastgelegd. De combinatie van beide factoren (beschermend materiaal en de afstand tussen het materiaal en de leiding) moet dusdanig zijn dat ook bij toepassing van de grootste graafmachines die op dat moment worden gehanteerd, de afdekking effectief is en de leiding niet wordt geraakt.
- De sterkte en geschiktheid van afwijkende materialen of constructies dient te worden aangetoond door middel van veldtesten. Uitgangspunt is dat veldtesten op dezelfde wijze worden uitgevoerd als de veldtesten die zijn uitgevoerd voor de

reductiefactor voor betonplaten [17]. De reductiefactor kan dan op dezelfde wijze worden afgeleid².

- Indien door de afdekking van een leiding ook andere leidingen worden afgedekt zal hierover met de andere leidingexploitanten moeten worden overlegd.
- Deze maatregel kan alleen worden toegepast wanneer de leidingexploitant toestemming geeft voor het nemen van deze maatregel. In de afweging zijn vooral de invloed op de kathodische bescherming en de bereikbaarheid voor bijvoorbeeld coatinginspecties van belang.

Cluster 3

31 Overeenkomst, vergaande restricties

- De grond wordt uit gebruik genomen door het pachten van de grond of door een strikte beheerovereenkomst die alle gebruik van de grond uitsluit.
- Het betreffende deel van de grond wordt afgerasterd.
- Er wordt markering toegepast.
- Er moet periodiek (minimaal eens per jaar) contact worden opgenomen met de grondeigenaar waarbij de betreffende situatie wordt doorgesproken.
- Bij de helikopterinspecties moet het leidingdeel waarvoor de overeenkomst geldt specifiek aandacht krijgen.
- Aanvragen voor graafwerkzaamheden door de eigenaar en derden moeten altijd kunnen worden afgewezen en worden nooit gehonoreerd. Bij een melding moet ook direct actie worden ondernomen. Voor degene die de melding afhandelt moet het direct duidelijk zijn dat voor het betreffende leidingdeel een beheerovereenkomst van toepassing is.
- Indien een overeenkomst niet aan alle randvoorwaarden voldoet, zal de overeenkomst hooguit de reductiefactor opleveren van een overeenkomst waarbij graven/boren verboden is.

32 Overeenkomst, graven/boren verboden

- Bij een overeenkomst waarbij grondroerende activiteiten worden uitgesloten is het gebruik van de grond als bijvoorbeeld weidegebied toegestaan. Het gebruik als bijvoorbeeld parkeer- of opslagterrein is ook mogelijk, maar dan moeten voor de realisatie hiervan geen graafwerkzaamheden nodig zijn.
- Er moet periodiek (minimaal eens per jaar) contact worden opgenomen met de grondeigenaar waarbij de betreffende situatie wordt doorgesproken.
- Bij de helikopterinspecties moet het leidingdeel waarvoor de overeenkomst geldt specifiek aandacht krijgen.
- Aanvragen voor graafwerkzaamheden door derden moeten altijd kunnen worden afgewezen en worden nooit gehonoreerd. Bij een melding van een graafactiviteit moet ook direct actie worden ondernomen. Voor degene die de melding afhandelt

² Indien in alle experimenten de maatregel effectief is gebleken, moet voor het afleiden van de reductiefactor worden aangenomen dat de maatregel voor één experiment niet effectief was. Deze aanname is nodig omdat met een beperkt (n) aantal testen niet kan worden uitgesloten dat de (n+1)^{de} test tot falen leidt.

moet het direct duidelijk zijn dat voor het betreffende leidingdeel een beheerovereenkomst van toepassing is.

- Indien een overeenkomst niet aan alle randvoorwaarden voldoet, zal de overeenkomst hooguit de reductiefactor opleveren van een overeenkomst met beperkte restricties.

33 Overeenkomst, beperkte restricties

- Bij een overeenkomst met beperkte restricties zijn grondroerende activiteiten niet helemaal uitgesloten, maar worden wel beperkingen opgelegd voor de diepte van bewerking van de grond.
- Er moet periodiek (minimaal eens per jaar) contact worden opgenomen met de grondeigenaar waarbij de betreffende situatie wordt doorgesproken.
- Bij de helikopterinspecties moet het leidingdeel waarvoor de overeenkomst geldt specifiek aandacht krijgen.

Cluster 4

41 Hekwerk

- Een hekwerk moet voorkomen dat de directe omgeving rond de leiding kan worden betreden. Indien een hekwerk alleen het gebied in de nabijheid van de leiding omsluit, maar dat het gebied verder vrij eenvoudig kan worden betreden, moet een hekwerk worden gezien als markering.
- Deze maatregel moet in combinatie met markering worden toegepast
- De bereikbaarheid van de leiding mag niet worden belemmerd

42 Dijklichaam

- De ophoging ten opzichte van het maaiveld is minimaal één meter hoog en deze hoogte moet ook worden onderhouden. Een andere optie is om een dijklichaam van 50 cm hoog te creëren maar dan moet het dijklichaam worden omsloten door een (metalen) net dat genoeg weerstand kan bieden indien er toch gegraven mocht worden.
- De ophoging moet aaneengesloten zijn over het betreffende leidingstuk waarvoor de maatregel wordt toegepast. Omdat niet kan worden voorkomen dat er toch wegen etc. moeten worden gekruist, wordt als richtwaarde aangehouden dat minimaal 98% van het betreffende leidingstuk door een dijklichaam moet worden beschermd. Als minder dan 98% van het leidingstuk wordt beschermd, moet in een QRA specifiek rekening worden gehouden met de onderbrekingen. Het deel dat niet door het dijklichaam wordt beschermd, moet op een andere manier worden beschermd, bijvoorbeeld door een wegverharding. Ook moet aan het begin en eind van de onderbreking extra markering worden geplaatst.
- De maatregel moet in combinatie met markering plaatsvinden.
- De ophoging mag geen invloed hebben op de integriteit van de leiding
- Deze maatregel moet in combinatie met markering worden toegepast
- De bereikbaarheid van de leiding mag niet worden belemmerd

43 Barrière op maailveld

- De afstand tussen de barrière en de leiding moet beperkt zijn tot één à twee meter van de leiding.
- Losstaande paaltjes mogen maximaal 20 cm van elkaar geplaatst worden .
- Deze maatregel moet in combinatie met markering worden toegepast
- De bereikbaarheid van de leiding mag niet worden belemmerd.

Cluster 5

51 Strikte begeleiding werkzaamheden

- Bij een melding neemt de leidingexploitant zelf direct contact op met de daadwerkelijke uitvoerder van de werkzaamheden. Bij dit contact worden werkafspraken gemaakt die schriftelijk worden vastgelegd. Tot het moment dat er contact wordt gelegd met de uitvoerder moet de leidingexploitant dagelijks de situatie ter plekke controleren.
- Indien er tussen de melding en de aanvang van de werkzaamheden meer dan een week zit, moet de leidingexploitant iedere week (tot aanvang van de werkzaamheden) contact opnemen met de uitvoerder van de werkzaamheden.
- Als de werkzaamheden langer dan een week duren, moet wekelijks (totdat de werkzaamheden zijn afgerond) een extra inspectie ter plaatse plaatsvinden door de leidingexploitant.
- Er wordt tijdens de werkzaamheden extra markering toegepast.
- Het moet voor degene die bij de leidingexploitant de melding van de werkzaamheden afhandelt direct duidelijk zijn dat voor het betreffende leidingdeel een strikte begeleiding van toepassing is. Dit zal in de procedure voor de afhandeling van de meldingen moeten worden geborgd.

52 Cameratoezicht

- Het toezicht moet continu zijn.
- Het toezicht moet mogelijk zijn over het gehele leidingstuk waarvoor de reductiefactor wordt toegepast.
- Bij constatering van (voorbereidingen van) werkzaamheden nabij de leiding moet binnen enkele minuten ingegrepen kunnen worden om de werkzaamheden stil te leggen.
- Er moet een terugkoppeling zijn van gemelde werkzaamheden richting de toezichthouder, zodat er geen valse alarmen ontstaan.

2.4.6.1 Cluster 1 – regelgeving en casuïstiek

In lijn met de door VROM voorgestelde procedure afspraak [15], wordt door een aantal exploitanten de factor voor het actief rappel (cluster 1C) in de berekeningen verdisconteerd. Deze factoren zijn toegepast in het consequentieonderzoek [16] en overgenomen in het rekenpakket CAROLA. Voor de leidingen van Alliander en RWE Westfalen-Weser-Ems Netzservice GmbH is geen consequentieonderzoek uitgevoerd. Hiervoor is geen toepassing van het actief rappel verondersteld.

2.4.7 *Mitigerende maatregelen corrosie*

In lijn met de door VROM voorgestelde procedure afspraak [15], wordt door een aantal exploitanten de factor voor mitigerende maatregelen

voor corrosie in de berekeningen verdisconteerd. Deze factoren zijn toegepast in het consequentieonderzoek [16] en overgenomen in het rekenpakket CAROLA. Voor de leidingen van Alliander en RWE Westfalen-Weser-Ems Netzservice GmbH is geen consequentieonderzoek uitgevoerd. Hiervoor is verondersteld dat geen aanvullende maatregelen voor corrosie worden toegepast.

5.2 Technische grenzen voor invoergegevens in CAROLA

Buitendiameter

De buitendiameter moet worden aangegeven in mm. Elke waarde tussen 50 mm en 1234 mm is toegestaan (een 2 inch en 48 inch gasleiding hebben respectievelijk een diameter van 60.3 mm en 1219 mm). De oorsprong van deze grenzen wordt hieronder uiteengezet. Wanneer er wordt gesproken over "diameter", wordt de buitendiameter bedoeld.

Rekgrens

De rekgrens moet worden gespecificeerd in N/mm² en een waarde tussen 180 N/mm² en 552 N/mm² is toegestaan. De normale ondergrens voor de rekgrens die overeenkomt met Grade B is gelijk aan 241 N/mm², maar lagere rekgrens kan worden ingevuld tot 180 N/mm². De bovengrens komt overeen met X80 leidingen, met een rekgrens van 552 N/mm².

Wanddikte

De wanddikte moet worden opgegeven in mm. Elke waarde tussen 2 mm en 40 mm is toegestaan.

Druk

De druk is aangegeven in bar (g). Elke waarde tussen de 16 bar en 300 bar is toegestaan. Wanneer er wordt gesproken over "bar" dan wordt bar (g) bedoeld.

Charpy energie

De Charpy energie moet worden opgegeven in J. Elke waarde tussen 13 J en 1000 J kan worden ingevoerd. De selectie van de in de berekeningen gebruikte waarde gebeurt volgens Tabel 15.

Constructiefactor

De constructiefactor, zoals hieronder gedefinieerd, is geen invoergegeven, maar wordt gebruikt om te controleren of de combinatie van diameter, druk, wanddikte en rekgrens geldig is. De constructiefactor moet liggen tussen de 0,025 en 0,75. De constructiefactor is gedefinieerd als:

$$\frac{P(D-d)}{20d} = CF \cdot YS, \quad WT = \begin{cases} d + 0,35 & \text{als } d < 10 \\ d + 0,5 & \text{als } d \geq 10 \end{cases} \quad (10)$$

met de druk P in bar, de diameter D in mm, de wanddikte WT in mm, de in de berekeningen gebruikte wanddikte d in mm, de rekgrens YS in N/mm², en de constructiefactor CF (dimensieloos).

Diepteligging

De diepteligging moet worden aangegeven in m. Hoewel er geen strikte bovengrens is voor de diepteligging, moet deze liggen tussen de 0m en 30m. Deze bovengrens wordt gebruikt bij het vinden van fouten in de eenheid van de diepteligging: de diepteligging wordt niet geaccepteerd wanneer deze wordt aangegeven in cm.

Discrete waarden

Er zijn voor CAROLA tabellen gegenereerd voor de warmtestraling, de faalfrequentie vanwege beschadiging door derden en de corrosiefaalfrequentie. Hiervoor zijn discrete waarden voor diameter, druk, wanddikte, rekgrens en Charpy energie nodig, waarvoor de warmtestraling en faalfrequenties worden berekend. Echter, wanneer een eenvoudige aanpak wordt gevolgd, zal dit resulteren in tabellen voor de faalfrequenties met veel zinloze waarden, bijvoorbeeld een 1219 mm buisleiding, 150 bar, Grade B, 2 mm wanddikte. Dit is een probleem omdat de tabellen erg groot worden (bijvoorbeeld bij 4 parameters met 20 discrete waarden elk, heeft de tabel al 160.000 cellen). Daarom maakt de CAROLA bibliotheek intern geen gebruik maken van de wanddikte als parameter, maar van de constructiefactor.

Diameter

Voor de diameter worden de waarden gebruikt zoals opgenomen in Tabel 13. Ter informatie zijn ook de diameters in inch en DN ter informatie weergegeven.

Tabel 13 Gebruikte diameters in CAROLA

Diameter (inch)	Diameter (DN)	Diameter (mm)
<ondergrens>		50
2	DN50	60,3
3	DN75	88,9
4	DN100	114,3
6	DN150	168,3
8	DN200	219,1
10	DN250	273,1
12	DN300	323,9
14	DN350	355,6
16	DN400	406,4
18	DN450	457
20	DN500	508
22	DN550	559
24	DN600	610
26	DN650	660
28	DN700	711
30	DN750	762
36	DN900	914
42	DN1050	1067
48	DN1200	1219
<bovengrens>		1234

Rekgrens

De waarden uit Tabel 14 worden gebruikt voor de rekgrens. De bijbehorende staalsoort is ter informatie bijgevoegd.

Tabel 14 Waarden voor rekgrens in CAROLA

Staalsoort	Rekgrens (N/mm ²)
ondergrens	180
Grade B	241
X42	290
X46	317
X52	359
X56	386
X60	414
X65	448
X70	483
X80	552

Constructiefactor

De volgende (62) waarden worden gebruikt voor de constructiefactor: 0,025; 0,05; 0,1; 0,15; 0,16; ...; 0,71; 0,72; 0,75.

Druk

De volgende (18) waarden worden gebruikt voor de druk: 16, 25, 32, 40, 48, 66.2, 73, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 200, 250 en 300 bar.

Charpy energie

De waarden 14, 24, 40 en 70 J worden gebruikt voor de totale Charpy energie. In CAROLA worden de grenzen gehanteerd zoals aangegeven in Tabel 15.

Tabel 15 Grenzen voor waarden Charpy energie

Ondergrens Charpy (J)	Bovengrens Charpy (J)	Geselecteerde Charpy (J)
13	23	14
23	39	24
39	69	40 ³
69	1000	70

Windsnelheden

De standaard waarden 1,5; 3; 5 en 9 m/s worden gebruikt.

Windrichtingen

12 windrichtingen worden gebruikt (N, NNO, ONO, O, OZO, ZZO, Z, ZZW, WZW, W, WNW, NNW).

Ontsteking

De waarden voor 0 s en 120 s worden gebruikt.

Positie op radiale richtingen

Er worden 28 afstanden gebruikt, namelijk 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000m voor de radiale afstanden in de warmtestralingstabellen.

Tabellen*Warmtestraling*

Om de warmtestraling te specificeren worden 5-D-tabellen gebruikt voor diameter / druk / windsnelheid / windrichting / positie op radiale richtingen / en combinaties voor vertraagde ontsteking, waarbij zoals

³ Feitelijk wordt om historische redenen 40,5 J gebruikt.

gespecificeerd, de discrete waarden voor de diameter en de druk worden genomen. Diepteligging en de wanddikte hebben invloed op de warmtestraling (omdat deze van invloed zijn op de afmetingen van de krater en de inwendige diameter), maar deze parameters hebben standaard waarden zoals gespecificeerd in Tabel 16.

Tabel 16 Standaard diepteligging voor warmtestraling

Diameter (mm)	Diepteligging (m)
60,3 ... 406,4	1,2
457 ... 1219	1,75

De wanddikte (die is nodig omdat de uitstroom is afhankelijk van de inwendige diameter) wordt berekend uit de diameter (D) en druk (P), met

$$WT = \frac{P \cdot D}{20 \cdot 0,65 \cdot YS + P}, \quad YS = \begin{cases} 240 & \text{als } D < 300 \\ 415 & \text{als } 300 \leq D \leq 700 \\ 480 & \text{als } D > 700 \end{cases} \quad (11)$$

De warmtestraling is gegeven voor de vier windsnelheden (1,5; 3; 5 en 9 m/s) en op 7 radiale richtingen (de andere 5 richtingen kunnen worden verkregen door spiegeling). De warmtestraling wordt alleen berekend voor de wind uit het zuiden op deze 7 radiale richtingen. De radiale richting nummers 1 tot en met 7 stemmen overeen met N, NNO, ONO, O, OZO, ZZO en Z.

De grootte van de tabel wordt 19 (diameter) \times 18 (druk) \times 4 (windsnelheid) \times 7 (windrichting) \times 28 (positie op radiale richting) \times 2 (ontstekingstijdstip) = 536.256 cellen.

Faalfrequentie beschadiging door derden

De faalfrequentie vanwege beschadiging door derden is aangegeven als een 5-D tabel afhankelijk van de diameter, druk, constructiefactor, rekgrens en Charpy energie. De frequentie hangt ook af van de diepteligging, maar de tabel wordt gegenereerd voor een referentiediepteligging van $1,31\text{m}$.

De grootte van de tabel is $21 \times 18 \times 62 \times 10 \times 4 = 937.440$ cellen.

De correctie in de faalfrequentie (C_{ff}) voor de daadwerkelijke diepteligging gebeurt volgens [5], met

$$C_{ff} = e^{2,4 \cdot z_0 - 2,4 \cdot z} \quad (12)$$

met

z_0 = referentiediepteligging (m)

z = daadwerkelijke diepteligging (m)

Corrosiefaalfrequentie

De corrosiefaalfrequentie is aangegeven als een 4-D tabel afhankelijk van de diameter, druk, constructiefactor en de rekgrens.

De grootte van de tabel is $21 \times 18 \times 62 \times 10 = 234.360$ cellen.

Ontstekingskans

De ontstekingskans (IP) is beschikbaar als een functie. Deze functie is afhankelijk van de diameter (D) en de druk (P)

$$IP = \begin{cases} f(P,D) + 0,1 & \text{als } D < 410 \\ f(P,D) & \text{anders} \end{cases} \quad (13)$$

waarbij f de PIPESAFE-formule is voor de ontstekingskans [5].

Interpolatie en extrapolatie

In het algemeen vindt er geen extrapolatie plaats buiten de aangegeven marges. Interpolatie vindt niet plaats voor de windsnelheid, Charpy energie en vertraagde ontsteking.

Warmtestraling

Voor de warmtestraling, wordt geen interpolatie uitgevoerd voor de diameter. In plaats daarvan wordt deze gekozen met behulp van Tabel 17. De 5 mm is ongeveer 10% van 2 inch, 15 mm is ongeveer 10% van 6 inch. Op deze manier is de afronding normaliter conservatief.

De warmtestraling voor een bepaalde druk wordt verkregen door lineaire interpolatie van twee drukken waarvan de straling wordt gegeven, dat wil zeggen dat wanneer de warmtestraling op 50 bar is vereist, er wordt geïnterpoleerd tussen 48 en 66,2 bar. De interpolatie van de druk is onderdeel van de bibliotheek van CAROLA.

Het rekenpakket roteert de warmtestraling voor andere windrichtingen dan de wind uit het zuiden.

Hierboven is beschreven hoe de warmtestraling op de 28 posities van de 12 radiale richtingen wordt verkregen voor een bepaalde diameter, druk, windsnelheid, en ontsteking. Het berekenen van de warmtestraling op een specifieke coördinaat (dus interpolatie tussen de 12 radiale richtingen en 28 posities op de radiale richtingen) wordt uitgevoerd door het rekenpakket.

Tabel 17 Diameter gehanteerd door CAROLA, met boven en ondergrenzen

Onderdiameter (mm)	Bovendiameter (mm)	Diameter (mm)	Diameter (")
50 (handmatig gekozen)	65 (=diam+5)	60,3	2
65	94 (=diam+5)	88,9	3
94	119 (=diam+5)	114,3	4
119	173 (=diam+5)	168,3	6
173	224 (=diam+5)	219,1	8
224	278 (=diam+5)	273,1	10
278	329 (=diam+5)	323,9	12
329	361 (=diam+5)	355,6	14
361	411 (=diam+5)	406,4	16
411	462 (=diam+5)	457	18
462	513 (=diam+5)	508	20
513	564 (=diam+5)	559	22
564	615 (=diam+5)	610	24
615	665 (=diam+5)	660	26
665	716 (=diam+5)	711	28
716	777 (=diam+15)	762	30
777	929 (=diam+15)	914	36
929	1082 (=diam+15)	1067	42
1082	1234 (=diam+15)	1219	48

Faalfrequenties

De juiste frequentie voor een bepaalde diameter, druk, constructiefactor, en de rekgrens moeten worden verkregen door interpolatie. Deze interpolatie is onderdeel van de bibliotheek van CAROLA. Deze wordt uitgevoerd door eerst het vinden van de twee waarden voor de diameter, druk, constructiefactor en twee waarden voor de rekgrens om te gebruiken in de interpolatie. Dan wordt er een logaritmische interpolatie uitgevoerd voor de rekgrens, daarna logaritmische interpolatie voor de wanddikte, dan logaritmische interpolatie voor druk, en uiteindelijk bilogaritmische interpolatie voor de diameter.

Referenties

- [1] Acton MR, Baldwin PJ, Baldwin TR, Jager EEG. The development of the PIPESAFE Risk Assessment Package for Gas Transmission Pipelines. ASME International. Proceedings of the International Pipeline Conference 1998. Calgary, Canada, 7 – 11 juni 1998.
- [2] Acton MR, Baldwin TR, Jager EER. Recent Developments in the Design and Application of the PIPESAFE Risk Assessment Package for Gas Transmission Pipelines. ASME International. Proceedings of the International Pipeline Conference 2002 (IPC 2002). Calgary, Canada, 29 september – 3 oktober 2002.
- [3] CAROLA, versie 1.0.0.51. Associated Technology Pipeline Ltd en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. 2010. (www.rivm.nl/milieuportaal/bibliotheek/modellen/carola.jsp)
- [4] Laheij GMH, Vliet AAC van, Kooi ES. Achtergronden bij de vervanging van zoneringafstanden hogedruk aardgastransportleidingen van de N.V. Nederlandse Gasunie. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapport 620121001/2008. 2008.
- [5] Gielisse M, Dröge MT, Kuik, GR. Risicoanalyse aardgastransportleidingen. N.V. Nederlandse Gasunie. DEI 2008.R.0939. 2008.
- [6] Beijer K. Technical Note: Mogelijke verschillen in (externe veiligheid) risico tussen de operatie van natgas en drooggas transportleidingssystemen. Nederlandse Aardolie Maatschappij. EP200702210020, Rev.3. 3 maart 2009.
- [7] Laheij GMH. Risicomethodiek nat- en zuurgasleidingen. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-briefrapport 076/09. 23 maart 2009.
- [8] NAM. Toepassing reductiefactoren aardgastransportleidingen NAM. NAM. Brief EP201009306728JA. 21 september 2010.
- [9] Ministerie van IenM. Bevb-rekenmethodiek en rekenmodel buisleidingen met nat aardgas. Directie Risicobeleid. Brief RB/2010029497. 12 november 2010.
- [10] Lijst Toxiteitsgegevens en Probitrelaties uit Serida. <http://www.rivm.nl/milieuportaal/bibliotheek/databases/serida.jsp>. Geraadpleegd 20-12-2010.
- [11] Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 3, Guidelines for Quantitative Risk Assessment. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. PGS 3. 2005
- [12] Handleiding Risicoberekeningen Bevi, versie 3.2. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. 2009.
- [13] Staatsblad. Wet informatie-uitwisseling ondergrondse netten. Jaargang 2008. Nummer 120.
- [14] Risicomethodiek aardgastransportleidingen. RIVM-brief 390/06. 6 november 2006.
- [15] Ministerie van VROM. Levering gegevens registratiebesluit. Directie Risicobeleid. Brief RB/2009015955. 5 maart 2009.
- [16] RIVM. Consequentieonderzoek hogedruk aardgastransportleidingen overige exploitanten. RIVM-brief 004/10. 11 januari 2010.
- [17] Corder I. The application of risk techniques to the design and operation of Pipelines. IMechE. C502/016. 00 113 – 125. 1995.



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

Handleiding Risicoberekeningen Bevb

Module C - Buisleidingen met aardolieproducten

versie 1.0 – 20 december 2010

Colofon

© RIVM 2010

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

Contact:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Centrum Externe Veiligheid (ipc 110)
safeti-nl@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, in het kader van Rekenmethode buisleidingen

Inhoud

Inleiding—7

1 Rekenmethodiek—9

- 1.1 Leidingtypen—9
 - 1.1.1 Leidingen met klasse 0 vloeibare aardolieproducten—9
 - 1.1.2 Leidingen met klasse 1 vloeibare aardolieproducten—9
 - 1.1.3 Leidingen met klasse 2 of klasse 3 vloeibare aardolieproducten—9

2 Modelparameters—10

- 2.1 Inleiding—10
- 2.2 QRA specifieke parameters—10
 - 2.2.1 Positie van de uitstroming—10
 - 2.2.2 Uitstroombesluitingen—10
 - 2.2.3 Faalfrequenties—11
 - 2.2.4 Modelleren van de scenario's—12
 - 2.2.5 Mitigerende maatregelen beschadiging door derden—12
 - 2.2.6 Drukverlies ten gevolge van kleppen en bochten—13
 - 2.2.7 Ruwheidslengte van de omgeving—13
 - 2.2.8 Meteorologische weerstation en parameters—13
 - 2.2.9 Verdeling binnen en buiten—14
 - 2.2.10 Het modelleren van personen bij evenementen—14
- 2.3 Parameters specifiek voor een QRA in Nederland—14
 - 2.3.1 Maximum uitstroomtijd en blootstellingsduur—14
 - 2.3.2 Hoogte voor de berekening van de effecten—15
 - 2.3.3 Letaliteit - Probits—15
 - 2.3.4 Voorbeeldstoffen—15

3 Technische documentatie—17

- 3.1 Inleiding—17
- 3.2 Rapportageplicht voor een QRA aan bevoegd gezag—17

4 Bijlage Verantwoording—19

- 4.1 Hoofdstuk 2 Modelparameters—19

Referenties—21

Inleiding

In deze module wordt voor buisleidingen met aardolieproducten, die vallen onder het Bevb, beschreven op welke wijze een QRA moet worden uitgevoerd. De uitgangspunten van de berekeningen met het rekenpakket SAFETI-NL zijn in deze module beschreven.

De risicomethodiek voor ondergrondse transportleidingen met aardolieproducten is beschreven in een RIVM-rapport [1]. In dit rapport komen de scenario's, faalfrequenties, bronterm en de meegenomen effecten aan de orde. Dit rapport is toegankelijk via de website van het RIVM.

1 Rekenmethodiek

1.1 Leidingtypen

In het rekenpakket SAFETI-NL kunnen berekeningen worden uitgevoerd voor leidingen met verschillende soorten brandbare vloeistoffen. De methodiek zoals beschreven in deze module kan enkel worden toegepast voor het uitvoeren van risicoberekeningen voor ondergrondse transportleidingen met aardolieproducten. Onder aardolieproducten worden verstaan: aardolie, aardgasolie, vloeibare aardolieproducten en derivaten en voor zover deze brandbare vloeistof geen componenten bevat in hoeveelheden met toxische of explosieve effecten.

Op basis van hun vlampunt kunnen de leidingen met aardolieproducten worden onderverdeeld in klasse 1, klasse 2 en klasse 3.

1.1.1 *Leidingen met klasse 0 vloeibare aardolieproducten*

Buisleidingen met aardolieproducten met een kookpunt van ten hoogste 308 K (35 °C) en een vlampunt lager dan 273 K (0 °C), vallen onder de methodiek voor overige leidingen.

1.1.2 *Leidingen met klasse 1 vloeibare aardolieproducten*

Buisleidingen met vloeibare aardolieproducten, waarbij de brandbare vloeistof (klasse 1) een vlampunt heeft van 273 K (0 °C) tot 294 K (21 °C).

1.1.3 *Leidingen met klasse 2 of klasse 3 vloeibare aardolieproducten*

Buisleidingen met vloeibare aardolieproducten, waarbij de brandbare vloeistof (klasse 2) een vlampunt heeft gelijk aan of boven 294 K (21 °C) en ten hoogste 328 K (55 °C), of waarbij de brandbare vloeistof (klasse 3) een vlampunt heeft boven 328 K (55°C) en ten hoogste 373 K (100 °C).

2 Modelparameters

2.1 Inleiding

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

- | | |
|-------------|--|
| Categorie 1 | Parameters die de gebruiker kan wijzigen om de berekening in overeenstemming te brengen met de leidingspecifieke en locatiespecifieke omstandigheden. Dit zijn de QRA specifieke parameters en deze zijn beschreven in paragraaf 2.2 |
| Categorie 2 | Parameters die de gebruiker niet kan wijzigen, maar die kenmerkend zijn voor een QRA berekening in Nederland. Deze zijn beschreven in paragraaf 2.3. |

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

2.2 QRA specifieke parameters

De parameters in deze categorie kunnen gewijzigd worden om de berekening in overeenstemming te brengen met de specifieke omstandigheden van de ondergrondse leiding.

2.2.1 *Positie van de uitstroming*

Aan elk scenario is een positie van de uitstroming gekoppeld. De positie wordt bepaald door de locatie (x, y) ten opzichte van de omgeving. Voor het uitstroombebiet is ook de lengte van de leiding van belang.

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

2.2.2 *Uitstroombesonderheden*

Voor ondergrondse leidingen met vloeibare aardolieproducten worden twee typen uitstroombesonderheden onderscheiden, namelijk breuk van een leiding en lekkage uit een leiding.

2.2.2.1 Breuk

In geval van een breuk zal er een uitstroom plaatsvinden richting het maaiveld. Er wordt aangenomen dat de vrijkomende vloeistof bovengronds komt en zich daar verspreidt. De volgende bijdragen aan de uitstroming komen bovengronds.

1. De vloeistof die vrijkomt binnen de sluittijd van de pomp.
Deze hoeveelheid wordt berekend door de afslagtijd van de pomp te vermenigvuldigen met het pompdebiet. Rekening houdend met het gestelde in paragraaf 2.3.1.
2. Uitstroming tengevolge van de expansie van de samengedrukte vloeistof.
Door afname van de druk in de leiding zal de samengedrukte vloeistof uitzetten. De toename van het volume wordt berekend met de formule:

$$V_e = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \times P \times C_e, \quad (1)$$

met:

V_e	volume toename van het product	(m ³)
D	inwendige diameter van de buisleiding	(m)
L	leidinglengte tussen pompen of pomp en het einde van de leiding	(m)
P	druk ter plaatse van het lek	(Pa)
C_e	compressibiliteit van het product	(m ² /N)

Aanbevolen wordt om in voorkomende gevallen rekening te houden met nalevering ten gevolge van een hellende leiding en extra uitstroom uit een leiding ten gevolge van terugstroming vanuit ontvangende opslagtanks.

2.2.2.2 Lekkage

Lekken zullen geen substantiële risicobijdrage leveren. Zij leiden enkel tot het ontstaan van een met vloeistof verzadigde bodem.

Een lek wordt gemodelleerd als uitstroming uit een gat met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van de buisleiding met een maximum van 20 mm. Een lekkage resulteert in een veel kleiner uitstroomdebiet dan een breuk. Het scenario 'lek' heeft hierdoor geen significante invloed op de ligging van de contouren van het plaatsgebonden risico. Dit geldt overigens niet in het geval van toxische vloeistoffen of vloeistoffen die toxische producten bevatten.

2.2.3 Faalfrequenties

De faalfrequenties voor een leiding gelden voor de leiding inclusief de verbindingen, zoals flenzen, lassen en kleppen en exclusief pompen. De scenario's en frequenties voor ondergrondse aardolieleidingen zijn gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Scenario's voor buisleidingen met aardolieproducten

Scenario	Faalfrequentie (km ⁻¹ jaar ⁻¹)
1. Breuk van de leiding	1,5 × 10 ⁻⁴

Opmerking:

1. Voor de breuk- als lekfrequentie geldt dat geen rekening is gehouden met de invloed van eventuele aanvullende veiligheidsvoorzieningen door leidingeigenaren.
2. De breukfrequentie is generiek bepaald voor alle relevante buisleidingen met aardolieproducten in Nederland.
3. Bij de faalfrequentie is de invloed de grondroedersregeling (WION) verdisconteerd door het aantal breuken als gevolg van beschadiging door derden (external interference) naar beneden te corrigeren met een factor 2,5 [4].

4. De onderliggende faaloorzaken voor de frequentie uit Tabel 1 zijn voor 55% external interference en 45 % wordt veroorzaakt door andere faaloorzaken [4].

2.2.4 *Modellering van de scenario's*

Voor de berekening van risico's en effecten dient een *Pool fire* model gebruikt te worden. Het volume van de plas wordt bepaald aan de hand van de bijdragen zoals genoemd in paragraaf 2.2.2.

De ondergrond waarop de vloeistof bovengronds uitstroomt, is van belang voor het bepalen van de effecten van een uitstroom. Voor een uitstroom wordt een standaardwaarde voor de plashoogte aangehouden van 0,05 meter. Dit kan worden gemodelleerd door een *Pool fire* te kiezen met een diameter volgens de formule:

$$d = 2 \times \sqrt{\frac{V}{\pi \times h}} \quad (4)$$

met:

- d* diameter van de plas (m)
- V* totale uitstroomvolume van het product (m³)
- D* plashoogte, standaard 0,05 meter (m)

De kans op directe en vertraagde ontsteking is afhankelijk van de stofcategorie. De waarden voor ondergrondse transportleidingen zijn gegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Ontstekingskansen

Vloeistof klasse	P_{totaal}	P_{direct}	P_{vertraagd}
klasse 1	1	0,065	0,935
klasse 2	0,01	0,01	0
klasse 3	0,01	0,01	0

Voor de mee te nemen frequentie voor de *Pool fire* geldt dat de frequentie uit Tabel 1 moet worden vermenigvuldigd met de van toepassing zijnde totale ontstekingskans uit Tabel 2.

2.2.5 *Mitigerende maatregelen beschadiging door derden*

Voor aardolieleidingen kan een aantal maatregelen worden toegepast om het risico terug te brengen. Voor de faaloorzaak 'beschadiging door derden' kan hierbij worden aangesloten bij de maatregelen zoals genoemd voor aardgastransportleidingen in Module B, en wel de paragrafen 2.4.6.2 tot en met 2.4.6.5 en de randvoorwaarden zoals genoemd in Hoofdstuk 5 van Module B. Hieraan moet worden voldaan wil de reductiefactor voor een maatregel kunnen worden ingeboekt. De leidingexploitant is verantwoordelijk voor het opnemen van eventuele maatregelen in zijn veiligheidsbeheersysteem en/of risicomanagementsysteem.

De standaard faalfrequentie voor beschadiging door derden kunnen worden gecorrigeerd, gegeven de te nemen en de genomen maatregelen door middel van de formule:

$$\text{faalfrequentie}_{\text{beschadiging door derden, gecorrigeerd}} = \text{faalfrequentie}_{\text{beschadiging door derden}} \times \text{factor} \quad (2)$$

waarbij:

$$\text{factor} = \text{factor}_{\text{cluster2}} \times \text{factor}_{\text{cluster3}} \times \text{factor}_{\text{cluster4}} \times 2,5 / \text{factor}_{\text{geselecteerde maatregel, cluster5}} \quad (3)$$

De totale faalfrequentie voor breuk van een aardolieleiding is dus:

$$\text{faalfrequentie}_{\text{breuk}} = (0,45 + 0,55 \times \text{factor}) \times 1,5 \times 10^{-4} \text{ per kilometer per jaar.}$$

Het is aannemelijk dat een relatie tussen diepteligging en external interference zoals bij aardgastransportleidingen (Module B, formule 12), ook bij aardolieleidingen toegepast kan worden. De te hanteren referentiediepteligging (z_0) voor aardolieleidingen moet nog worden vastgesteld.

2.2.6 *Drukverlies ten gevolge van kleppen en bochten*

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

2.2.7 *Ruwheidslengte van de omgeving*

De ruwheidslengte is een (kunstmatige) lengtemaat die de invloed van de omgeving op de windsnelheid aangeeft. De gebruikte ruwheidslengte van de omgeving voor de bepaling van het windprofiel is standaard 0,1 meter. De beschrijving van de omgeving is opgenomen in Tabel 3.

Tabel 3 Beschrijving terreintype met ruwheidslengte

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

Opmerkingen:

1. x is een typische afstand tussen obstakels bovenwinds en h de typische hoogte van de obstakels.
2. Ruwheidslengtes van één meter en hoger zijn ruwe schattingen; de aërodynamische ruwheidslengte houdt geen rekening met de verspreiding rond grote obstakels.
3. Een typische ruwheidslengte voor een industrieterrein is één meter.

2.2.8 *Meteorologische weerstation en parameters*

Het meteorologische weerstation dat qua ligging representatief is voor de buisleiding moet worden gekozen. De gebruiker heeft de keuze uit de weerstations zoals gegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Meteorologische weerstations

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

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

Tabel 5 Standaardwaarden voor een aantal meteorologische parameters

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

Opmerking:

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

2.2.9 *Verdeling binnen en buiten*

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

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

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

Opmerking:

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

2.2.10 *Het modelleren van personen bij evenementen*

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

2.3 Parameters specifiek voor een QRA in Nederland

De parameters in deze categorie kunnen niet gewijzigd worden.

2.3.1 *Maximum uitstroomtijd en blootstellingsduur*

De maximale uitstroomtijd voor het uitvoeren van risicoberekeningen is 1800 seconden. Dit geldt ook voor de maximale tijdsduur van de plasverdamping. Aangenomen wordt dat na 1800 seconden ingrijpen succesvol is.

De blootstellingsduur is voor warmtestraling maximaal 20 seconden. De mogelijkheid van evacuatie wordt niet meegenomen in de QRA.

2.3.2 Hoogte voor de berekening van de effecten

De warmtestralingsdosis wordt berekend op een hoogte van één meter.

2.3.3 Letaliteit - Probits

De sterftekans, P_{letaal} , wordt berekend met behulp van de volgende probit:

$$P_{\text{letaal}} = 0,5 \times \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\operatorname{Pr} - 5}{\sqrt{2}} \right) \right], \quad (6)$$

waarbij

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (7)$$

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

$$\operatorname{Pr} = -36,38 + 2,56 \ln \left(\int Q^{4/3} dt \right), \quad (8)$$

met

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

De berekening van de letaliteit voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico is gegeven in Tabel 7. De minimumwaarde van P_{letaal} die nog meegenomen wordt in de berekening is gelijk aan 0,01.

Tabel 7 Overlijdenskans voor brandbare stoffen

Gebied	Plaatsgebonden	Groepsrisico	Groepsrisico
	risico	binnen	buiten
vlamgebied	1	1	1
warmtestraling > 35 kW m ⁻²	1	1	1
warmtestraling < 35 kW m ⁻²	P_{letaal}	0	$0,14 \times P_{\text{letaal}}$

Opmerkingen:

1. De maximum blootstellingsduur aan warmtestraling is gelijk aan 20 seconden.

2.3.4 Voorbeeldstoffen

Wanneer de getransporteerde vloeibare aardolieproducten een samenstelling zijn van meerdere stoffen kan bij de risicoberekeningen een voorbeeldstof worden gebruikt. In Tabel 8 wordt voor de verschillende klassen stoffen aangegeven wat de representatieve stof is en welke voorbeeldstof gebruikt is. Deze voorbeeldstoffen hebben hun vlampunt in het midden van het vlampuntgebied van de betreffende vloeistofcategorie.

Tabel 8 Keuze voorbeeldstoffen voor vloeibare aardolieproducten

Vloeistof klasse	Vlampunt (°C)	Representatieve stof	Voorbeeldstof	Dichtheid voorbeeldstof (kg/m³)	Vlampunt voorbeeldstof (°C)
klasse 1	0 – 21	Benzine	n-octaan	703	12
klasse 2	21 – 55	Kerosine	} n-nonaan	718	31
klasse 3	> 55	Gasolie			

Opmerking:

1. Aangezien de ontstekingskansen voor de klassen 2 en 3 gelijk zijn, zijn deze samengevoegd. De berekende risico's voor klasse 3 zijn hierdoor conservatief.

3 Technische documentatie

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is beschreven welke documentatie beschikbaar moet zijn om een QRA te kunnen beoordelen en wordt de rapportageplicht voor een QRA aan bevoegd gezag Wm nader gespecificeerd.

3.2 Rapportageplicht voor een QRA aan bevoegd gezag

In Tabel 9 zijn de elementen opgenomen die in een QRA gerapporteerd moeten worden. In de als vertrouwelijk genoteerde elementen kan gevoelige informatie aanwezig zijn. Men kan dan overwegen een tweede, openbare tekst aan te leveren. De tweede tekst moet nog wel voldoende zijn om derden de mogelijkheid te geven om zich een oordeel te vormen over de veiligheid, c.q. de risico's (zie opmerking 1).

Tabel 9 specificeert de elementen voor een zelfstandige QRA. Vaak zal een QRA onderdeel zijn van een omvangrijker informatiepakket. Vanzelfsprekend kan in dergelijke gevallen voor bijvoorbeeld een procesbeschrijving worden volstaan met een verwijzing naar elders in het pakket opgenomen informatie.

Tabel 9 Overzicht van de elementen die in een QRA gerapporteerd moeten worden.

Onderwerp	Vertrouwelijk/ openbaar
1 Algemene rapportgegevens	
– Administratieve gegevens: <ul style="list-style-type: none"> • naam en adres van de leidingexploitant (volgens Bevb) • naam buisleiding • naam en adres van de opsteller van de QRA 	Openbaar
– Reden opstellen QRA	Openbaar
– Gevolgde methodiek: <ul style="list-style-type: none"> • rekenpakket met versienummer 	Openbaar
2 Algemene beschrijving van de buisleiding	
– Gegevens buisleiding (vanuit RRGs): <ul style="list-style-type: none"> • naam van de leidingeigenaar • stof • diameter • druk: maximale werkdruk • eventuele mitigerende maatregelen • ontwerpnorm incl. ontwerpfactor 	Openbaar
– Ligging van de leiding, aan de hand van kaart(en) op schaal. <ul style="list-style-type: none"> • Leiding • noordpijl en schaalindicatie 	Openbaar
– Beschrijving specifieke situaties (leidingstrook, kunstwerken, leidingtunnels e.d.)	Openbaar
3 Beschrijving omgeving	
– Omgevingsbebouwing en gebiedsfuncties <ul style="list-style-type: none"> • bestemmingsplannen al dan niet gedeeltelijk binnen de 10⁻⁶-contour en het invloedsgebied. 	Openbaar
– Actuele topografische kaart.	Openbaar
– Een beschrijving van de bevolking rond de buisleiding, onder opgave van de wijze waarop deze beschrijving tot stand is gekomen (o.a. incidentele bebouwing,	Openbaar

	lintbebouwing).	
	– Mogelijke gevaren van buiten de buisleiding die op de buisleiding effect kunnen hebben (risicoverhogende objecten, buurtbedrijven/activiteiten, vliegroutes, windturbines).	Openbaar
	– Gebruikte ruwheidslengte en weerstation.	Openbaar
4	Beschrijving van mogelijke risico's voor de omgeving	
	Samenvattend overzicht van de resultaten van de QRA, waarin tenminste is opgenomen:	
	– Kaart met berekende plaatsgebonden risico, met contouren voor 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} en 10^{-8} (indien aanwezig).	Openbaar
	– Bepaling van kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten binnen PR 10^{-6} .	Openbaar
	– FN-curve met het groepsrisico per buisleiding voor de kilometer buisleiding met de grootste overschrijding van de oriënterende waarde geldend voor transportleidingen.	Openbaar
	– Motivatie van de bepaling van de worst-case kilometer.	Openbaar
	– FN-datapunt waarbij de maximale overschrijding van de oriëntatiewaarde optreedt, inclusief de factor van de overschrijding.	Openbaar
	– Schadeafstanden voor weersklasse F1,5 en D5. (1% en 100% overlijdenskans bij blootstelling).	Mogelijk vertrouwelijk
	– Van toepassing zijnde preventieve en repressieve maatregelen die in de QRA worden voorgesteld.	Openbaar

Opmerkingen:

1. De SAFETI-NL-studie, waarmee de risico's zijn berekend, is integraal onderdeel van de documentatie. Dit bestand kan gedeeltelijk vertrouwelijke informatie bevatten. Onderzoek moet uitwijzen of de in dit bestand aanwezige niet-vertrouwelijke informatie op een zinvolle wijze kan worden geëxtraheerd. Voor de tussenliggende periode zijn werkafspraken geformuleerd, die inhouden dat bevoegd gezag de SAFETI-NL-studie bij het bedrijf kan inzien. Daarnaast moet in een apart document de belangrijkste karakteristieken van de QRA beschreven zijn met betrekking tot de risicoberekeningen. In het document moeten ten minste de in Tabel 9 gespecificeerde punten zijn opgenomen.
2. De SAFETI-NL-studie is tevens de basis voor het berekenen van het groepsrisico en daardoor nodig bij de herberekening van de FN-curve als onderdeel van de verantwoordingsplicht bij bijvoorbeeld een wijziging in een bestemmingsplan. Volgens de gemaakte werkafspraken zal het betreffende bedrijf zijn medewerking verlenen aan de bedoelde herberekening van de FN-curve.

4 Bijlage Verantwoording

4.1 Hoofdstuk 2 Modelparameters

In deze paragraaf zijn de uitgangspunten opgenomen voor de berekening van de PR 10^{-6} waarden uit de afstandentabel voor aardolieleidingen.

Bij de berekening van de waarden uit de afstandentabel zijn de voorschriften uit Hoofdstuk 2 gevolgd. Hierbij is gebruikt gemaakt van de volgende generieke gegevens.

Voor het terrein is gebruik gemaakt van een ruwheidslengte van 0,10 meter.

1. De vloeistof die vrijkomt binnen de sluittijd van de pomp.

Voor de uitstroom is aangenomen dat de helft van het pompdebiet zorgt voor uitstroming. Hierbij is uitgegaan van de waarden in Tabel 10 [2].

Tabel 10 Uitstroomdebiet binnen sluittijd van de pomp

Leidingdiameter (inch)	Afslagtijd pomp (s)	Uitstroming (m ³)
4	5	0,02
8	10	0,16
16	15	0,90
24	20	2,74
36	30	9,24

Opmerking:

1. Voor de overige leidingdiameters is de uitstroming geïnterpoleerd op basis van de waarden in de tabel.

2. Uitstroming tengevolge van de expansie van de samengedrukte vloeistof.

Voor de uitstroming vanwege de expansie van de vloeistof bij wegvallende druk is formule (1) toegepast. Hierbij is voor de leidinglengte L generiek uitgegaan van 50×10^3 meter en voor de compressibiliteit is de waarde gebruikt van $0,88 \times 10^{-9}$ m²/N.

De resulterende afstandentabel is weergegeven in Tabel 11. De waarden uit deze tabel zijn gebruikt voor het consequentieonderzoek voor aardolieleidingen [3].

Tabel 11 Plaatsgebonden risicoafstanden (PR) 10^{-6} per jaar (in meters) voor buisleidingen met aardolieproducten van klasse 1

Buisdiameter (inch)/(mm)	3	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Druk (bar / 10² kPa)	76.2	127	152.4	203.2	254	304.8	355.6	406.4	457.2	508	558.8	609.6	660.4	711.2	762	812.8	863.6	914.4
16	< 5	< 5	5	7	9	9	10	11	11	12	12	13	14	15	16	18	19	20
20	< 5	5	7	9	10	11	12	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	26
30	< 5	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19	20	21	23	24	26	29
40	< 5	8	9	11	12	12	14	15	16	18	20	21	23	25	26	28	29	32
50	< 5	8	10	11	12	13	15	16	18	20	22	23	25	26	28	31	33	34
60	5	9	10	12	13	14	16	17	19	21	23	25	27	28	31	33	36	38
70	6	9	11	12	13	15	17	19	21	23	25	27	28	30	33	36	38	40
80	7	9	11	12	13	15	18	20	22	24	27	29	30	32	35	38	41	43
90	7	10	11	12	13	16	18	20	22	25	27	29	31	33	36	39	42	44
100	7	10	10	12	13	16	18	20	23	25	27	30	32	35	38	40	43	45
125	8	10	10	12	14	16	20	23	25	27	30	33	36	38	41	44	47	50
150	8	10	10	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54
200	9	10																

Referenties

- [1] Vliet AAC van, Laheij GMH, Wolting AG. Risicoanalyse voor buisleidingen met brandbare vloeistoffen. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapport 6201120001/2006. 2006.
- [2] Afstandenregeling voor vloeistofleidingen, Bronsterkte berekening vlakke leidingen. Den Haag: ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Werkgroep Risico Analyse VELIN. 1986.
- [3] Consequentieonderzoek transportleidingen met brandbare vloeistoffen van de K1-, K2- en K3-categorie. RIVM-brief 237/09 CEV Vli/tr-1635. 28 juli 2009.
- [4] Analyse faalkans CONCAWE-database. RIVM-brief 099-08/CEV Rik/mjd. 11 april 2008.