



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

Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid

Module V – Buisleidingen
conceptversie januari 2025

Colofon

© RIVM 2025

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

Contact:

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)

Centrum Veiligheid

Postbus 1

3720 BA Bilthoven

Helpdesk Omgevingsveiligheid

omgevingsveiligheid@rivm.nl

Inhoudsopgave

Module V, deel 4: Waterstofleidingen	6
1	Inleiding 7
2	Rekenmethodiek 8
2.1	Stof 8
2.2	Uitstroomscenario's 8
2.3	Faalfrequentie 8
2.3.1	Diepteligging 8
2.3.2	Exploitant specifieke reductiefactor 9
2.3.3	Externe corrosie 9
2.4	Kenmerken leidingenbestand 9
2.5	Voorzieningen beschadiging door derden 10
2.5.1	Cluster 1 – regelgeving en casuïstiek 11
2.5.2	Cluster 2 – afdekking met beschermend materiaal 11
2.5.3	Cluster 3 – beheervoorzieningen 12
2.5.4	Cluster 4 – fysieke barrières op maaiveld 12
2.5.5	Cluster 5 – overige voorzieningen 12
2.6	Risico reducerende voorzieningen corrosie 13
2.7	Modellering van de scenario's 13
2.8	Gebeurtenissenbomen 13
3	Modelparameters 14
3.1	Inleiding 14
3.2	Rapportagespecifieke parameters 14
3.2.1	Voorgescreven parameters 14
3.2.2	Uitstroommodellering 15
3.2.3	Drukverlies ten gevolge van afsluiters en bochten 15
3.2.4	Modellering waterstof 16
3.2.5	Diepteligging en grondsoort 16
3.2.6	Tijdsafhankelijke uitstroming 16
3.2.7	Meteorologisch weerstation en parameters 16
3.2.8	Invloed windturbines 16
3.2.9	Ruwheidslengte van het vrijeveld oppervlak 16
4	Bijlage Randvoorwaarden reductiefactoren 17
4.1	Modelparameters (Hoofdstuk 3) 17
5	Bijlage Randvoorwaarden gebruik faalfrequentie aardgasleidingen voor waterstof 21
6	Bijlage Faalfrequenties aardgasleidingen ten behoeve van module V, deel 4: Waterstofleidingen 23
Referenties	27



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

Module V, deel 4: Waterstofleidingen

1 Inleiding

In deze module wordt voor het transport van waterstof door ondergrondse buisleidingen beschreven op welke wijze een risico- en effectberekening moet worden uitgevoerd. Hiervoor wordt het rekenpakket Safeti-NL gebruikt [8]. Indien wordt voldaan aan alle later benoemde randvoorwaarden (Hoofdstuk 5) kan worden gerekend met de faalfrequenties voor aardgasleidingen, beschreven in module V deel 1, met uitzondering van de exploitant specifieke reductiefactor (Paragraaf 2.3.2). Indien niet wordt voldaan aan één van de randvoorwaarden dient de hoogste faalfrequentie uit deel 1 of deel 3 van deze module te worden gebruikt. De effect- en risicoberekeningen dienen volgens deel 4 van deze module te worden uitgevoerd.

In Hoofdstuk 2 wordt de rekenmethodiek beschreven met daarin de uitstroomscenario's (Paragraaf 2.2). De faalfrequentie (Paragraaf 2.3) voor deze scenario's wordt bepaald door de basisfaalfrequentie (Hoofdstuk 6) te corrigeren voor de dieptelgging (Paragraaf 2.3.1) en de genomen voorzieningen tegen beschadiging door derden (Paragraaf 2.5). De informatie over de dieptelgging en de genomen voorzieningen kan worden verkregen uit een leidingbestand (Paragraaf 2.4). Daarnaast worden risico reducerende voorzieningen tegen corrosie beschreven in Paragraaf 2.6. Ten slotte volgt een beschrijving van de modellering van de scenario's (Paragraaf 2.7) en de gebeurtenissenbomen (Paragraaf 2.8).

Hoofdstuk 3 gaat dieper in op de parameters benodigd voor de berekening. De voorgeschreven parameters en de beschrijving en uitleg van deze parameters zijn te vinden in Paragraaf 3.2. In Hoofdstuk 4 volgen de randvoorwaarden voor de reductiefactoren die worden beschreven in paragraaf 2.5. In Hoofdstuk 5 volgen de randvoorwaarden voor het gebruik van de faalfrequentie van aardgasleidingen voor waterstofleidingen.

2 Rekenmethodiek

2.1 Stof

Deel 4 van module V is enkel geschikt voor het berekenen van veiligheidsrisico's van buisleidingen met puur waterstof met eventuele toevoegingen als odorant of corrosie bescherming. Voor mengsels van waterstof met een andere stof, bijvoorbeeld aardgas, is dit deel niet geschikt.

2.2 Uitstroombesonderheden

De volgende scenario's dienen ten minste te worden beschouwd:

Tabel 2.1 Scenario's voor transport waterstof in hogedrukaardgasleidingen.

Scenario
Breuk van de buisleiding

2.3 Faalfrequentie

Om te bepalen welke faalfrequentie kan worden gebruikt moet gekeken of er wordt voldaan aan de Hoofdstuk 5 benoemde randvoorwaarden. Indien aan deze randvoorwaarden wordt voldaan mogen de faalfrequenties voor hogedruk aardgasleidingen, beschreven in module V deel 1, worden gebruikt. Indien niet kan worden aangetoond dat aan alle randvoorwaarden wordt voldaan, moet uit oogpunt van conservatisme worden uitgegaan van de hoogste faalfrequentie uit deel 1 en deel 3 van deze module.

De faalfrequenties voor hogedruk aardgasleidingen zijn in de bijbehorende software, CAROLA, opgenomen. Om berekeningen in Safeti-NL uit te voeren dienen deze faalfrequenties ingevoerd te worden. De faalfrequentie bestaat uit twee delen: de basisfaalfrequentie voor beschadiging door derden, ook wel external interference (basis FF EI), en de faalfrequentie voor corrosie. De basisfaalfrequentie voor beschadiging door derden is gebaseerd op de leidingparameters: diameter, wanddikte, druk, rekgrens en Charpy energie. De faalfrequentie voor corrosie is in deze module niet opgenomen, zie Paragraaf 2.3.3.

De basisfaalfrequentie beschadiging door derden (basis FF EI) per leidingtype is opgenomen in hoofdstuk 6. Alvorens deze in te voeren in Safeti-NL dienen de correcties voor zowel de diepteligging (2.3.1) als de genomen voorzieningen (2.5) te worden uitgevoerd. Indien een buisleidingcombinatie niet in hoofdstuk 6 is opgenomen dan kan deze worden opgevraagd bij de helpdesk Omgevingsveiligheid. Als hulpmiddel voor het berekenen van de faalfrequentie volgens de hierboven genoemde methode kan gebruik worden gemaakt van de 'Invoermodule H2 buisleidingen', te vinden op de website van het RIVM.

2.3.1 Diepteligging

De diepteligging wordt verdisconteerd in de faaloorzaak 'Beschadiging door derden' [9]. De gecorrigeerde faalfrequentie is:

$$\text{Faalfrequentie}_{\text{beschadiging door derden, gecorrigeerd}} = \text{Faalfrequentie}_{\text{beschadiging door derden}} / \text{factor} \quad (2.1)$$

$$\text{factor} = e^{-2,4 \times (1,31 - z)} \quad (2.2)$$

waarbij:

z = diepteligging (m).

Voor de diepteligging voor de berekeningen van de faalfrequentie wordt 0,05 meter als minimum en 2,0 meter als maximum gehanteerd, ongeacht eventuele afwijkende waarden in het leidingenbestand. Bij gebruik van het kratermodel in Safeti-NL moet de daadwerkelijke diepteligging worden gebruikt.

Dekkingsovergangen van 20 cm of meer dienen te worden meegenomen in de berekeningen. Tevens dienen dekkingsovergangen van 10 cm of meer die over een leidingafstand van 50 meter of meer stand houden te worden meegenomen. Hiervan mag onderbouwd worden afgeweken bij gebruikmaking van een conservatief gekozen diepteligging. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn voor buisleidingen in landelijk gebied zonder objecten, waar een pragmatische benadering kan volstaan.

2.3.2 Exploitant specifieke reductiefactor

De exploitant specifieke reductiefactor op basis van casuïstiek (Cluster 1B) is voor alle operators 1, zie ook paragraaf 2.5.1 en Tabel 2.3.

2.3.3 Externe corrosie

De faalfrequenties voor externe corrosie zijn momenteel niet opgenomen in deze module. Deze faalfrequenties zijn opvraagbaar bij de helpdesk Omgevingsveiligheid. Zie paragraaf 2.6 en Tabel 2.3 voor het toepassen van deze faalfrequentie.

2.4 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 2.2. De voorzieningen beschadiging door derden (Cluster 1 t/m 5) worden toegelicht in hoofdstuk 2.5. De randvoorwaarden voor deze voorzieningen zijn weergegeven in hoofdstuk 4.

Tabel 2.2 Opbouw leidingbestand.

Kenmerken	Toegestane waarden
x-coördinaat	Rijksdriehoekscoördinaat
y-coördinaat	Rijksdriehoekscoördinaat
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 voorziening uit cluster 2	20 – 29
Nummer van voorziening uit cluster 3	30 – 39
Nummer van voorziening uit cluster 4	40 – 49
Nummer van voorziening uit cluster 5	50 – 59

Opmerkingen:

- Voor nieuw aan te leggen 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 voorzieningen uit cluster 2, 3, 4 en 5 mogen niet in de berekeningen worden verdisconteerd.
-
- De diepteligging en de extra gronddekking hebben een positieve waarde voor ondergrondse leidingen.
- De voorziening 'extra gronddekking' wordt aangegeven door de leidingexploitant in meters en moet worden meegenomen in de berekening van de faalfrequentie (voor de randvoorwaarden, zie paragraaf 4.1).

Het is 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 parameters van de leiding per coördinaat (diameter, druk, wanddikte, staalsoort, dekking, etc.).

Bij de berekeningen wordt rekening gehouden met de variërende locatiespecifieke leidingkenmerken over de lengte van 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 locatiespecifieke voorzieningen 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 opeenvolgende coördinaten dus niet geïnterpoleerd.

2.5 Voorzieningen beschadiging door derden

Voor waterstofleidingen kan een aantal voorzieningen worden toegepast om het risico terug te brengen. De voorzieningen uit deze paragraaf grijpen in op de voornaamste faaloorzaak van aardgasleidingen, namelijk 'beschadiging door derden'. De bijbehorende randvoorwaarden zijn te vinden in Hoofdstuk 4 van deze Module. Hieraan moet worden voldaan wil de reductiefactor voor een voorziening kunnen worden toegepast. De leidingexploitant is verantwoordelijk voor het opnemen van eventuele voorzieningen 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 voorzieningen door middel van de formule:

$$\text{faalfrequentie}_{\text{beschadiging door derden, gecorrigeerd}} = \text{faalfrequentie}_{\text{beschadiging door derden}} \times \text{factor} \quad (2.3)$$

waarbij:

$$\text{factor} = \text{factor}_{\text{cluster1}} \times \text{factor}_{\text{cluster2}} \times \text{factor}_{\text{cluster3}} \times \text{factor}_{\text{cluster4}} \times \text{factor}_{\text{cluster5}} \quad (2.4)$$

Voor clusters 2 tot en met 5 kan slechts één voorziening gekozen worden per cluster. Deze voorzieningen zijn voor de clusters 2 – 5 genummerd van 0 – 9, wat leidt tot een nummering van de voorzieningen van 20 tot en met 59. De factor voor de clusters 2 tot en met 4 wordt de factor van de gekozen voorziening. Voor cluster 5 geldt een afhankelijkheid van cluster 1. Als voor de clusters 2, 3, 4 en 5 geen voorzieningen 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.

2.5.1 Cluster 1 – regelgeving en casuïstiek

De voorzieningen in cluster 1 betreffen de grondroerdersregeling (A), de reductie in de basisfaalfrequentie op basis van casuïstiek (B) en actief rappel (C). De grondroerdersregeling betreft de wet informatie-uitwisseling bovengrondse en ondergrondse netten en netwerken (WIBON) en geeft een factor 0,4 [5]. Zoals benoemd is de reductiefactor op basis van casuïstiek (B) voor alle leiding exploitanten 1,000. De totale factor voor een leidingexploitant op basis van mitigerende voorzieningen uit cluster 1 is het product van A, B en C.

Tabel 2.3 Overzicht van exploitantspecifieke factoren voor verschillende leidingexploitanten.

Exploitant	Cluster 1B Casuïstiek	Cluster 1C Actief rappel	Voorziening en corrosie
Alliander	1,000	1,000	1,000
BBL Company VOF	1,000	0,833	0,000
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
Nederlandse Aardolie Maatschappij BV – ONEGas	1,000	0,833	0,000
Noordgastransport BV	1,000	1,000	1,000
Northern Petroleum Nederland BV	1,000	0,833	1,000
NV Nederlandse Gasunie	1,000	0,833	0,000
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
Tulip Oil Netherlands BV	1,000	1,000	1,000

2.5.2 Cluster 2 – afdekking met beschermend materiaal

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

20. geen	factor: 1,000
21. waarschuwingslint	factor: 0,599
22. beschermplaten	factor: 0,200
23. waarschuwingslint + beschermplaten	factor: 0,033
27. waarschuwingslint + beschermplaten voorgesteld	factor: 0,033

28. beschermplaten voorgesteld	factor: 0,200
29. waarschuwinglint voorgesteld	factor: 0,599

2.5.3 Cluster 3 – beheervoorzieningen

Beheervoorzieningen 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
37. overeenkomst, beperkte restricties voorgesteld	factor: 0,625
38. overeenkomst, grondroeren verboden voorgesteld	factor: 0,100
39. overeenkomst, vergaande restricties voorgesteld	factor: 0,010

2.5.4 Cluster 4 – fysieke barrières op maaiveld

Dit betreffen voorzieningen 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
47. barrière op het maaiveld voorgesteld	factor: 0,125
48. dijklichaam voorgesteld	factor: 0,100
49. hekwerk voorgesteld	factor: 0,000

2.5.5 Cluster 5 – overige voorzieningen

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

$$\text{factor}_{\text{cluster5}} = (A \times C)^{-1} / \text{factor}_{\text{geselecteerde maatregel, cluster 5}} \quad (2.5)$$

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
58. cameratoezicht voorgesteld	factor: 6,5
59. strikte begeleiding werkzaamheden voorgesteld	factor: 7,5

2.5.5.1.1 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

2.6 Risico reducerende voorzieningen corrosie

De standaard faalfrequenties voor corrosie worden gecorrigeerd gegeven de leidingexploitant.

Wanneer er specifieke risico reducerende voorzieningen genomen worden qua onderhoud en inspectie en door de exploitant kan worden aangetoond dat er geen externe corrosie plaatsvindt, hoeft de bijdrage van corrosie niet meegenomen te worden in de berekeningen. 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.

2.7 Modelling van de scenario's

Voor de berekening moet gebruik worden gemaakt van de standaard modellering in Safeti-NL zoals gegeven in Tabel 2.1 en Tabel 2.4 [8]. In Hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de verschillende parameters en keuze mogelijkheden van deze scenario's.

Tabel 2.4 Scenario's en modellering in Safeti-NL.

Scenario	Safeti-NL
Leidingbreuk	Long Pipeline → Auto-generated sections → Section Breach

Opmerkingen:

- Het Long Pipeline model biedt de mogelijkheid om de leiding in verschillende secties te verdelen en de effecten en risico's per sectie te berekenen.
- De default waarde voor de parameter '*event spacing method*' in het long pipeline model is automatisch. Dit geeft niet in alle gevallen een nette contour. Als er geen nette contour gegenereerd wordt, moet gekozen worden voor '*user defined*' met een geschikte waarde voor de '*event spacing*'.

2.8 Gebeurtenissenbomen

Tabel 2.5 Ontstekingskansen bij breuk en lek.

	P _{direct}	P _{vertraagd}
Gassen		
- breuk	1*	0

* Gezien de lage ontstekingsenergie wordt verwacht dat breuk altijd leidt tot ontsteking.

3 Modelparameters

3.1 Inleiding

In een berekening met het rekenpakket Safeti-NL moet een aantal parameterwaarden worden ingevoerd. Dit hoofdstuk beschrijft de parameters die van belang zijn in de risico- en effectberekeningen voor waterstof in buisleidingen. Er wordt onderscheid gemaakt in twee typen parameters, namelijk:

- Parameters die de gebruiker kan wijzigen om de berekening in overeenstemming te brengen met de buisleidingspecifieke en locatiespecifieke omstandigheden (Rapportagespecifieke parameters, paragraaf 3.2). Hoe de invloed van windturbines moet worden bepaald staat beschreven in paragraaf 3.2.8 en Module IV van het rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid;
- Parameters die de gebruiker niet kan wijzigen, maar die kenmerkend zijn voor een berekening in Nederland. Deze parameters zijn vastgelegd in het softwarepakket en niet in deze Module beschreven.

3.2 Rapportagespecifieke parameters

3.2.1 Voorgeschreven parameters

In Tabel 3.1 en Tabel 3.2 wordt een overzicht gegeven van de standaard te gebruiken instellingen voor diverse rapportagespecifieke parameters. In de paragrafen hierna volgt voor enkele parameters een korte beschrijving van de parameter en de in te vullen waarde.

De parameters benoemd in Tabel 3.1 en Tabel 3.2 kunnen weliswaar door een gebruiker worden aangepast, maar de gegeven instellingen worden in deze methodiek voorgeschreven.

Tabel 3.1 Diverse parameterinstellingen van Long pipeline in Safeti-NL.

Parameter	Safeti-NL-instelling
Material	Hydrogen
Temperature	9,8 °C
Pressure	Maximale werkdruk van de buisleiding
Failure frequency model	User specified input
Failure frequency specified	Per supplied length
Failure frequency	Hoogste faalfrequentie van alle segmenten
Supplied length	1000 m
Probability of immediate ignition	Specify directly
Immediate ignition probability	1
Supply pipeline length	Gebruik indien leiding langer is dan alle segmenten samen
Pipe internal diameter	Interne diameter van de buisleiding
Pipe roughness	0,045 mm
Pipeline surrounding	Buried
Variations from default	Variaties van buisleidingparameters per segment
Method for calculating average rate	Brandbare stoffen: average between two times, 0-20 sec.

Opmerking:

- De afstand tot breuk ('*Distance to break*') wordt automatisch bepaald bij de keuze voor Auto generated sections.

Tabel 3.2 Diverse parameterinstellingen van Section breach in Safeti-NL (scenario breuk).

Parameter	Safeti-NL-instelling
Breach sizing method	Relative size
Relative branch aperture	1
Elevation	0,01 m
Accident type for buried sections	Full bore rupture
Event probability	1
Fracture length	12

Opmerkingen:

- De relatieve gatgrootte ('*rel. aperture*') voor breuk is gelijk aan 1. De corresponderende gatgrootte is dan $\sqrt{2}$ x de leidingdiameter i.v.m. de uitstroming van twee kanten.
- De 'outdoor release direction' is verticaal, deze wordt automatisch ingevuld wanneer in Long pipeline de optie 'Buried' is geselecteerd.

3.2.2 Uitstroommodellering

De toevoer van waterstof aan de buisleiding dient te worden meegenomen in de berekening door deze in te vullen bij 'Pumped inflow', te vinden in Long pipeline. Bij een ringleiding mag worden gekozen voor een pumped inflow van 0, hiermee wordt drukval in de leiding niet meegenomen, dit is een conservatieve aanname.

3.2.3 Drukverlies ten gevolge van afsluiters en bochten

In de berekening wordt geen rekening gehouden met drukverlies ten gevolge van de aanwezigheid van bochten en appendages.

3.2.4 Modelling waterstof

Voor waterstof wordt gerekend met het kratermodel. Voor de *pipeline surrounding characteristics* wordt de keuze *buried* geselecteerd en de bodemtype en diepteligging van de buisleiding ingevoerd.

3.2.5 Diepteligging en grondsoort

In het tabblad Long pipeline moet ook een diepteligging, grondsoort en faalfrequentie worden ingevuld.

Voor overige, niet gespecificeerde segmenten wordt de 'depth of soil cover' uit het Long pipeline model gebruikt. Vul hier de minimale diepteligging in, dit is conservatief. Let op, deze mag niet worden afgekapt op 2,00 m, deze afkapping geldt alleen voor de bepaling van de faalfrequentie. Voor de diepteligging dient de daadwerkelijke diepteligging van de leiding of het segment te worden aangehouden.

Voor de grondsoort dient een voor de situatie representatieve optie gekozen te worden.

3.2.6 Tijdsafhankelijke uitstroming

Bij breuk van een buisleiding zal het uitstroomdebiet variëren in de tijd. In Safeti-NL kan hier rekening mee worden gehouden door gebruik te maken van een tijdsafhankelijke uitstroming.

Voor waterstof wordt bij breuk uitgegaan van het uitstroomdebiet dat gemiddeld is over de periode 0 - 20 seconden.

3.2.7 Meteorologisch weerstation en parameters

Het meteorologisch weerstation dat qua ligging representatief is voor (delen van) de buisleiding moet worden gekozen. De gebruiker heeft de keuze uit de weerstations zoals gegeven in Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Meteorologische weerstations.

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

Aangenomen wordt dat de temperatuur van de te transporteren stof gelijk is aan de gemiddelde jaartemperatuur van de bodem, te weten 9,8 °C.

3.2.8 Invloed windturbines

De invloed van windturbines moet in de vaststelling van het risico worden meegenomen. De methode om de invloed van windturbines te bepalen wordt gegeven in Module IV van het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid. De invloed van windturbines op buisleidingen dient meegenomen te worden wanneer de buisleiding zich binnen de maximale werpafstand van de windturbine bevindt.

3.2.9 Ruwheidslengte van het vrijeveld oppervlak

De ruwheidslengte is niet van invloed op de effecten en risico's van een fakkel. Een waarde van 0,1 m kan gebruikt worden.

4 Bijlage Randvoorwaarden reductiefactoren

4.1 Modelparameters (Hoofdstuk 3)

Risico reducerende voorzieningen beschadiging door derden

Hieronder worden de randvoorwaarden bij de verschillende Risico reducerende voorzieningen gegeven.

Extra gronddekking

Randvoorwaarde bij deze Risico reducerende voorziening 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 WIBON wetgeving

- De randvoorwaarden worden in de WIBON gegeven [5].

1B Casuïstiek

De procedure hiervoor wordt beschreven in [6].

1C Actief rappel

- De exploitant moet binnen 10 werkdagen na de melding met de grondroerder contact opnemen als hij dat nog niet heeft gedaan.

Cluster 2

21 Waarschuwingslint, 22 Beschermplaten, 23 Waarschuwingslint en beschermplaten.

- 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 moet 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 beschermplaten [7]. De reductiefactor kan dan op dezelfde wijze worden afgeleid¹.
- Indien door de afdekking van een leiding ook andere leidingen worden afgedekt moet hierover met de andere leidingexploitanten worden overlegd.
- Deze voorziening kan alleen worden toegepast wanneer de leidingexploitant toestemming geeft voor het nemen van deze

¹ Indien in alle experimenten de voorziening effectief is gebleken, moet voor het afleiden van de reductiefactor worden aangenomen dat de voorziening 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.

voorziening. 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 (helikopter)inspecties 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, levert de overeenkomst hooguit de reductiefactor op 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 (helikopter)inspecties 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, moet het direct duidelijk zijn dat voor het betreffende leidingdeel een beheerovereenkomst van toepassing is.
- Indien een overeenkomst niet aan alle randvoorwaarden voldoet, levert de overeenkomst hooguit de reductiefactor op 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 (helikopter)inspecties 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 voorziening 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, als er toch gegraven mocht worden.
- De ophoging moet aaneengesloten zijn over het betreffende leidingstuk waarvoor de voorziening 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 risico en effectrapportage 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 voorziening moet in combinatie met markering plaatsvinden.
- De ophoging mag geen invloed hebben op de integriteit van de leiding.
- Deze voorziening moet in combinatie met markering worden toegepast.
- De bereikbaarheid van de leiding mag niet worden belemmerd.

43 Barrière op maaiveld

- 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 voorziening 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 elke 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.

5 Bijlage Randvoorwaarden gebruik faalfrequentie aardgasleidingen voor waterstof

De faalfrequentie van aardgasleidingen mogen pas worden toegepast voor het transport van waterstof wanneer de aardgasleiding voldoet aan de daarvoor geldende randvoorwaarden. In dit hoofdstuk worden die randvoorwaarden beschreven.

Randvoorwaarden voor transport waterstof door aardgasleidingen.

De belangrijkste voorwaarde voor het mogen toepassen van de faalfrequenties van aardgasleidingen is het voldoen aan alle hieronder benoemde randvoorwaarden. Indien niet wordt voldaan aan één van de randvoorwaarden dient de hoogste faalfrequentie uit deel 1 of deel 3 van deze module te worden gebruikt. De effect- en risicoberekeningen dienen volgens deel 4 van deze module te worden uitgevoerd.

Tabel 5.1 Randvoorwaarden gebruik faalfrequentie aardgasleidingen.

Algemeen	<ol style="list-style-type: none"> De temperatuur van het medium bedraagt maximaal 50 °C en de druk is maximaal 80 barg. Bij een hogere temperatuur of druk moet de invloed op de faalfrequentie worden onderzocht omdat de bijdrage van verbrossing en/of andere faaloorzaken beïnvloed kan worden. Lekkagegevoelige leidingonderdelen, zoals afsluiters en flensverbindingen, moeten voldoende lekdicht zijn voor het transport van waterstof. De buisleiding voldoet voor de faaloorzaken inwendige corrosie, mechanisch falen, natuurlijke oorzaken en operationeel/overig falen aan de randvoorwaarden van een Stand der Techniek leiding zoals gesteld in Tabel 9-1 van deel 2.
Buismateriaal	<ol style="list-style-type: none"> Het staal bevat geen Ni-toevoegingen van meer dan 0,5%. Geen gebruik van staalsoorten met een rekgrens groter dan L485 (X70). Bij een grotere sterkte moet de invloed op de faalfrequentie worden onderzocht omdat de bijdrage van verbrossing en/of andere faaloorzaken beïnvloed kan worden.
Beschadiging door derden	<ol style="list-style-type: none"> Het transport van waterstof mag niet leiden tot een te grote aantasting van de trekeigenschappen en de breuktaaiheid van de buisleiding. Ten opzichte van een aardgasleiding mag de kans dat een lek zich ontwikkelt tot breuk niet groter worden.
Inwendige corrosie	<ol style="list-style-type: none"> Het waterdauwpunt van het waterstof in de buisleiding moet altijd kleiner dan 60% relatieve vochtigheid zijn en er mag geen vloeïstoffractie van het gas afscheiden bij een temperatuur van -20 °C en atmosferische druk. Microbiologisch geïnduceerde corrosie kan worden uitgesloten.
Vermoeiing als gevolg van cyclische belasting	<ol style="list-style-type: none"> De scheurgroeisnelheid mag niet groter zijn dan 0,01 µm per cyclus of er moet worden aangetoond dat er geen kritische wanddefecten aanwezig zijn die kunnen leiden tot het falen van de buisleiding.
Laswerkzaamheden	<ol style="list-style-type: none"> Bij een in gebruik zijnde waterstofleiding mogen geen laswerkzaamheden worden uitgevoerd tenzij aangetoond wordt dat deze geen substantiële invloed hebben op het ontstaan van waterstofverbrossing.

Metallurgische voorwaarden	<p>11. Gebruik van legeringen met homogene fijnkorrelige microstructuren heeft de voorkeur</p> <p>Vermijd gebruik van te harde of zeer sterke legeringen, max. X70.</p> <p>Vermijd gebruik van staal met niet-metalen insluitels, die de taaheid en weerstand tegen waterstofverbrossing verminderen.</p> <p>Gebruik componenten vrij van significante oppervlakte- en interne defecten.</p>
Erosie	<p>12. Voorafgaand aan het gebruik van de buisleiding voor het transport van waterstof, moet de buisleiding dusdanig gereinigd worden dat geen extra erosie aan de binnenzijde van de buisleiding kan optreden.</p>
Trillingen en pulsaties	<p>13. Aangevoerd moet worden dat stroming geïnduceerde pulsaties, turbulentie en akoestisch geïnduceerde trillingen bij aftakkingen en insteekhuizen niet bijdragen aan het falen.</p>
Inspecties bij ingebruikname	<p>14. De bestaande buisleiding die wordt omgezet naar waterstof wordt voorafgaand aan het gebruik geïnspecteerd op wanddefecten.</p>

6 Bijlage Faalfrequenties aardgasleidingen ten behoeve van module V, deel 4: Waterstofleidingen

De faalfrequentie van aardgasleidingen mogen pas worden toegepast voor het transport van waterstof wanneer de aardgasleiding voldoet aan de daarvoor geldende randvoorwaarden. Zie paragraaf 2.3 voor meer informatie en hoofdstuk 5 voor de randvoorwaarden.

De onderstaande faalfrequentie betreft de basis faalfrequentie beschadiging door derden (basis FF EI). Correcties voor genomen maatregelen en diepteligging dienen op deze basis FF EI te worden toegepast. Indien een buisleidingcombinatie niet in de tabel is opgenomen dan kan de faalfrequentie worden opgevraagd bij de helpdesk Omgevingsveiligheid.

Tabel 6.1 Basis faalfrequentie voor external interference op basis van leidingparameters

Diameter (mm, uitwendig)	Wanddikte (mm)	Druk (barg)	Rekgrens (N/mm ²)	Charpy energie (J)	Basis FF EI
114,3	6,0	40,0	245,0	40,0	1,655E-05
114,3	6,0	66,2	245,0	40,0	3,963E-05
159,0	4,5	40,0	241,0	40,0	1,460E-04
168,3	4,8	40,0	241,0	40,0	1,260E-04
168,3	6,3	40,0	241,0	40,0	2,290E-05
168,3	6,3	40,0	245,0	40,0	2,202E-05
168,3	6,3	66,2	245,0	40,0	6,165E-05
168,3	7,1	40,0	245,0	40,0	1,058E-05
168,3	7,1	66,2	245,0	40,0	3,229E-05
212,0	5,5	40,0	241,0	40,0	7,480E-05
219,1	6,3	40,0	241,0	40,0	3,590E-05
219,1	6,3	40,0	245,0	40,0	3,463E-05
219,1	6,3	66,2	245,0	40,0	1,031E-04
219,1	7,9	40,0	245,0	40,0	8,351E-06
219,1	7,9	66,2	245,0	40,0	2,967E-05
219,1	7,9	40,0	241,0	40,0	8,610E-06
219,1	9,5	40,0	245,0	40,0	1,975E-06
219,1	9,5	66,2	245,0	40,0	8,038E-06
273,0	6,3	40,0	245,0	40,0	5,588E-05
273,0	7,8	40,0	245,0	40,0	1,445E-05
273,0	7,8	66,2	245,0	40,0	5,466E-05
273,0	9,3	40,0	245,0	40,0	3,841E-06
273,0	9,3	66,2	245,0	40,0	1,671E-05
273,0	11,1	40,0	245,0	40,0	7,421E-07
273,0	11,1	66,2	245,0	40,0	3,378E-06

323,8	7,1	40,0	241,0	40,0	4,190E-05
323,9	5,2	40,0	415,0	40,0	7,773E-05
323,9	5,2	66,2	415,0	40,0	2,016E-04
323,9	6,0	40,0	415,0	40,0	3,444E-05
323,9	6,0	66,2	415,0	40,0	1,088E-04
323,9	6,0	80,0	415,0	40,0	1,595E-04
323,9	7,1	40,0	241,0	40,0	4,329E-05
323,9	7,1	40,0	245,0	40,0	4,153E-05
323,9	7,1	40,0	415,0	40,0	1,146E-05
323,9	7,1	66,2	415,0	40,0	4,219E-05
323,9	9,5	66,2	241,0	40,0	2,388E-05
406,4	6,2	40,0	415,0	40,0	4,797E-05
406,4	6,2	66,2	415,0	40,0	1,457E-04
406,4	6,6	40,0	415,0	40,0	3,000E-05
406,4	6,6	66,2	415,0	40,0	1,067E-04
406,4	6,6	80,0	414,0	40,5	1,380E-04
406,4	7,4	40,0	415,0	40,0	1,381E-05
406,4	7,4	66,2	415,0	40,0	5,633E-05
406,4	8,7	40,0	245,0	40,0	1,943E-05
406,4	8,9	40,0	415,0	40,0	3,243E-06
406,4	8,9	66,2	415,0	40,0	1,642E-05
457,0	6,3	66,2	415,0	40,0	1,448E-04
457,0	7,0	66,2	415,0	40,0	1,016E-04
457,0	7,2	66,2	415,0	40,0	8,614E-05
457,0	7,2	80,0	414,0	40,5	1,128E-04
457,0	8,3	66,2	414,0	40,0	3,644E-05
457,0	8,3	66,2	415,0	40,0	3,625E-05
457,0	9,9	66,2	415,0	40,0	8,352E-06
457,2	6,0	66,2	414,0	40,0	2,180E-04
457,2	6,3	66,2	414,0	40,0	1,470E-04
457,2	7,0	66,2	414,0	40,0	1,000E-04
457,2	8,5	66,2	414,0	40,0	3,110E-05
508,0	6,8	66,2	415,0	40,0	1,204E-04
508,0	7,8	66,2	415,0	40,0	6,943E-05
508,0	9,2	66,2	415,0	40,0	2,421E-05
508,0	11,2	66,2	415,0	40,0	3,672E-06
609,6	7,9	66,2	414,0	24,0	1,160E-04
609,6	9,3	66,2	414,0	24,0	4,655E-05
610,0	7,5	66,2	386,0	14,0	2,298E-04
610,0	7,7	66,2	415,0	40,0	9,327E-05
610,0	7,9	66,2	386,0	14,0	1,877E-04
610,0	7,9	66,2	414,0	24,0	1,160E-04

610,0	8,6	66,2	386,0	14,0	1,280E-04
610,0	8,6	66,2	386,0	14,0	1,296E-04
610,0	9,3	66,2	386,0	14,0	8,790E-05
610,0	9,3	66,2	414,0	24,0	4,478E-05
610,0	9,3	66,2	414,0	40,0	2,955E-05
610,0	9,3	66,2	415,0	40,0	2,931E-05
610,0	9,3	80,0	415,0	40,0	5,311E-05
610,0	11,1	66,2	415,0	40,0	6,738E-06
610,0	11,1	79,9	414,0	40,0	1,100E-05
610,0	13,3	66,2	415,0	40,0	1,423E-06
610,0	13,3	79,9	414,0	40,0	2,700E-06
762,0	8,3	66,2	485,0	40,0	8,731E-05
762,0	9,8	66,2	485,0	40,0	3,032E-05
762,0	10,0	66,2	485,0	40,0	1,996E-05
762,0	11,9	66,2	485,0	40,0	4,671E-06
762,0	12,0	66,2	485,0	40,0	4,343E-06
762,0	14,4	66,2	485,0	40,0	7,280E-07
914,0	9,9	66,2	485,0	40,0	4,351E-05
914,0	11,2	66,2	386,0	14,0	4,215E-05
914,0	11,8	66,2	386,0	14,0	3,060E-05
914,0	11,8	66,2	483,0	40,0	9,281E-06
914,0	11,8	66,2	485,0	40,0	9,157E-06
914,0	12,1	66,2	485,0	40,0	7,304E-06
914,0	12,1	80,0	480,0	40,0	1,595E-05
914,0	12,9	66,2	386,0	14,0	1,730E-05
914,0	12,9	66,2	386,0	14,0	1,730E-05
914,0	14,1	66,2	485,0	40,0	1,711E-06
914,0	14,3	66,2	485,0	40,0	1,514E-06
914,0	17,1	66,2	485,0	40,0	1,229E-07
914,4	11,8	66,2	414,0	24,0	1,900E-05
1066,8	13,7	66,2	414,0	24,0	1,025E-05
1066,8	16,1	66,2	414,0	24,0	1,478E-06
1066,8	19,6	66,2	414,0	24,0	1,184E-07
1067,0	11,7	66,2	485,0	40,0	1,732E-05
1067,0	13,7	66,2	386,0	14,0	1,950E-05
1067,0	13,7	66,2	414,0	24,0	1,031E-05
1067,0	13,7	66,2	485,0	40,0	4,020E-06
1067,0	14,0	66,2	485,0	40,0	3,152E-06
1067,0	14,0	80,0	480,0	40,5	8,316E-06
1067,0	16,4	66,2	485,0	40,0	4,225E-07
1067,0	16,6	66,2	485,0	40,0	3,624E-07
1067,0	16,1	66,2	414,0	24,0	1,480E-06

1067,0	19,9	66,2	485,0	40,0	2,672E-08
1219,0	13,3	66,2	483,0	40,0	9,490E-06
1219,0	13,3	66,2	485,0	40,0	9,374E-06
1219,0	14,1	66,2	414,0	24,0	1,429E-05
1219,0	15,6	66,2	483,0	40,0	1,390E-06
1219,0	15,6	66,2	485,0	40,0	1,386E-06
1219,0	15,9	66,2	485,0	40,0	1,089E-06
1219,0	15,9	80,0	480,0	40,0	3,199E-06
1219,0	18,7	66,2	485,0	40,0	1,317E-07
1219,0	18,7	80,0	483,0	40,0	4,377E-07
1219,0	18,9	66,2	485,0	40,0	1,148E-07
1219,0	22,7	66,2	485,0	40,0	6,493E-09

Referenties

1. G.M.H. Laheij, *Risicomethodiek nat- en zuurgasleidingen*. RIVM-briefrapport 076/09, RIVM, 2009.
2. *Toepassing reductiefactoren aardgastransportleidingen NAM*, brief EP201009306728JA 2010.
3. *Bevb-rekenmethodiek en rekenmodel buisleidingen met nat aardgas*, Directie Risicobeleid, brief RB/2010029497 2010.
4. G.M.H. Laheij, A.A.C. van Vliet, en E.S. Kooi, *Achtergronden bij de vervanging van zoneringafstanden hogedruk aardgastransportleidingen van de N.V. Nederlandse Gasunie*, RIVM-rapport 620121001/2008, RIVM, 2008.
5. *Wet informatie-uitwisseling bovengrondse en ondergrondse netten en netwerken*. Beschikbaar via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0040728/2019-01-01>. (Geraadpleegd
6. Ministerie van VROM, *Levering gegevens registratiebesluit*. Directie Risicobeleid, brief RB/2009015955, 2009.
7. RIVM-brief, *Consequentieonderzoek hogedruk aardgastransportleidingen overige exploitanten*, kenmerk 004/10 2010.
8. Det Norske Veritas (DNV), *Software for the Assessment of flammable, explosive and toxic impact*. (SAFETI-NL) versie 8, 2019.
9. I&M Brief, *Aanvullende mitigerende maatregelen buisleidingen*, referentienummer IENM/BSK 2014/74036, 28 maart 2014.
10. RIVM-brief, *Invloed diepteligging en wanddikte op de faalfrequentie voor leidingen met aardolieproducten en overige leidingen*, referentienummer 165/11 CEV Vli/sij-3063. 26 juni 2011.
11. I. Corder, *The application of risk techniques to the design and operation of Pipelines*, 1995.
12. *Regeling externe veiligheid buisleidingen*, artikel 6, lid 2.,
13. *Register risicosituaties gevaarlijke stoffen (RRGS)*, situatie maart 2010.
14. RIVM-brief, *Analyse faalkans CONCAWE-database*, referentienummer 099-08/CEV Rik/mjd, 11 april 2008.
15. Publicatierreeks Gevaarlijke Stoffen 2, *Methods for the calculation of physical effects ('Gele boek')*, Ministerie van VROM, 2005.
16. F. Ullmann, *Ullmann's Encyclopedia of industrial Chemistry*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH, 2001.
17. *3650-2:2020 (NL) Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 2: Aanvullende eisen voor leidingen van staal*, NEN 2020.