

Kwantitatieve Risicotoetsing Aansluitleidingen Mengstation Zuidbroek op HTL-netwerk

Door
M.Gielisse

Afdeling

Gasunie Engineering and Technology, DEI

Rapport

Kwantitatieve Risicotoetsing Aansluitleidingen Mengstation Zuidbroek op HTL

Gereed

17 november 2008

Medewerking (co-auteur)

A. van Vliet (RIVM)

Datum, versie

17 november 2008, 1.0

Ons kenmerk

DET 2008.R.0780

Status

Definitief

1 Samenvatting

In opdracht van TAM is een risicostudie uitgevoerd voor de aansluiting tussen mengstation Zuidbroek en het HTL netwerk, bestaande uit de leidingen A-514-05, A543-04 en A-610-01-01 (parallele leidingen). Dit rapport betreft de risicostudie van deze aansluitleidingen.

De risicostudie in dit rapport is conform de in opdracht van de Nederlandse overheid opgestelde richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyses uitgevoerd met PIPESAFE. PIPESAFE is een door de Nederlandse overheid goedgekeurd softwarepakket voor risicoberekeningen aan hoge druk aardgastransportleidingen. In de berekeningen is gebruik gemaakt van de bevolkingsdatabase van RIVM en de berekeningen zijn uitgevoerd conform de met RIVM overeengekomen en door VROM geaccepteerde rekenmethodologie.

Uit de berekeningen en analyses kan het volgende worden geconcludeerd:

De in dit rapport beschouwde tracés voldoen aan de huidige regelgeving, zijnde de circulaire "Zonering langs hoge druk aardgastransportleidingen".

Met betrekking tot het plaatsgebonden risico (PR) voldoet het voorziene ontwerp van de leidingen aan de door de Nederlandse overheid gestelde norm van $PR < 10^{-6}$ per jaar ter plaatse van al dan niet geprojecteerde (beperkt) kwetsbare objecten.

Het beoogde tracé, met het voorziene ontwerp, voldoet aan de oriënterende waarde voor groepsrisico, zijnde $F \cdot N^2 < 10^{-2}$ per km per jaar, waarbij F de frequentie is van een ongeval met N of meer dodelijke slachtoffers.

Inhoud

1 Samenvatting	2
2 Inleiding	5
3 Risicoanalyse	6
3.1 Algemeen.....	6
3.2 Toetsingscriteria en regelgeving.....	7
4 Uitgangspunten	9
4.1 Atmosferische condities	9
4.2 Leidingtracé	9
4.3 Aardgassamenstelling	11
4.4 Bevolkingsgegevens	11
5 Faalscenario's en faaloorzaken	12
5.1 Faaloorzaken	12
5.2 Faalscenario's	12
5.3 Domino-effecten	13
6 Faalfrequentie berekening	14
6.1 Faalfrequentie	14
6.2 Ontstekingskans	14
6.3 Ontstekingstijdstip	14
6.4 Faalfrequentie bij parallelligging.....	14
7 Effectberekeningen	16
7.1 Uitstroom.....	16
7.2 Warmtestraling	17
7.3 Letaliteit	17
8 Risicoberekeningen	19
8.1 Plaatsgebonden risico	19
8.1.1 Plaatsgebonden risico bij domino-effecten.....	19
8.2 Groepsrisico	19
8.2.1 Groepsrisico bij domino-effecten	20
9 Resultaten	21
9.1 Toetsing aan huidige zonering	21
9.1.1 A-514-05	22
9.1.2 A-543-04	22
9.1.3 A-610-01	22
9.2 Plaatsgebonden risico	22
9.3 Groepsrisico	25
9.3.1 Groepsrisico screening.....	25
10 Conclusies	26

11 Referenties	27
Bijlage A Faalfrequenties	29
A1 Schade door derden	29
A2 Andere faaloorzaken.....	31
A3 Referenties.....	31
Bijlage B Faalfrequentie bij domino-effecten.....	32
Verzendlijst.....	33

2 Inleiding

In opdracht van TAM is een risicostudie uitgevoerd voor de aansluiting tussen mengstation Zuidbroek en het HTL netwerk, bestaande uit de leidingen A-514-05, A543-04 en A-610-01-01. De genoemde leidingen zullen parallel komen te liggen op een dagmaat van 2m.

De bovengenoemde leidingen zijn getoetst aan eisen uit de circulaire VROM [2]. Tevens is het plaatsgebonden risico en groepsrisico getoetst aan de door de overheid voorgestelde normen.

De risicostudie in dit rapport is conform de in opdracht van de Nederlandse overheid opgestelde richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyses [3] uitgevoerd met PIPESAFE [4, 5]. PIPESAFE is een door de Nederlandse overheid goedgekeurd softwarepakket voor risicoberekeningen aan aardgastransport. PIPESAFE is in een periode van meer dan 10 jaar ontwikkeld in internationaal verband, is gebaseerd op jarenlang fundamenteel onderzoek naar de oorzaken en consequenties van falen van gastransportleidingen en is gevalideerd middels experimenten op zowel kleine als volle schaal [6]. In het jaar 2000 heeft het ministerie van VROM besloten om Gasunie toestemming te verlenen risicoberekeningen met betrekking tot aardgastransportleidingen uit te voeren met PIPESAFE, voor zover dit conform CPR-18E [3] plaatsvindt [7].

3 Risicoanalyse

Risicoanalyse is een gestructureerde methodiek die het nemen van beslissingen op het gebied van risicobeheersing ondersteunt. Bovendien biedt risicoanalyse de mogelijkheid om aan te tonen dat mogelijke effecten, tezamen met hun kans van optreden, op basis van geldende regelgeving acceptabel zijn.

3.1 Algemeen

In het algemeen bestaat een risicoanalyse van een aardgastransportleiding uit de volgende stappen:

1. *Verzamelen van gegevens.* Hierbij is het niet alleen van belang dat het leidingtracé goed wordt beschreven, maar ook dat de omgeving van het tracé op een gedegen manier in kaart wordt gebracht, onder meer met betrekking tot bevolkingsdata.
2. *Bepaling van mogelijke faalscenario's.* Met betrekking tot de te bestuderen leidingen gaat het hierbij om het falen van de leidingen als lek of als breuk.
3. *Faalfrequentie berekening.* Op basis van de faalscenario's worden faalfrequenties afgeleid. Indien wordt afgeweken van de waarden zoals die zijn opgenomen in [3], is het vereist dat de gehanteerde frequenties goed worden onderbouwd.
4. *Effectberekeningen.* Middels de geïdentificeerde faalscenario's kan worden bepaald welke gezondheidseffecten er naar verwachting zullen ontstaan ten gevolge van uitstroom van gas of brand.
5. *Risicoberekening.* Op basis van de berekende faalfrequenties en de effectberekeningen kan het plaatsgebonden risico (PR) en het groepsrisico (GR) worden bepaald.
 - a. *Plaatsgebonden risico*
Het PR wordt gedefinieerd als de kans per jaar dat een persoon die onbeschermd op een plaats buiten een buisleiding onafgebroken zou verblijven, overlijdt als rechtstreeks gevolg van een ongewoon voorval met die buisleiding, waarbij een gevaarlijke stof betrokken is.
 - b. *Groepsrisico*
Het GR wordt gedefinieerd als de cumulatieve kansen per jaar dat tenminste 10, 100 of 1000 personen overlijden als rechtstreeks gevolg van hun aanwezigheid in het invloedsgebied van een buisleiding en een ongewoon voorval met die buisleiding, waarbij een gevaarlijke stof betrokken is, uitgezet in een dubbellogaritmische grafiek (FN-curve) met op de horizontale as het aantal dodelijke slachtoffers en op de verticale as de cumulatieve kansen per jaar op tenminste dat aantal slachtoffers.
6. *Risicobeoordeling.* Op basis van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico en de door de overheid voorgestelde criteria voor deze risico's wordt beoordeeld of het berekende risico acceptabel is. Indien dit niet het geval is, moet het effect van risicobeperkende maatregelen worden bestudeerd. In de volgende sectie worden de toetsingscriteria nader toegelicht.

3.2 Toetsingscriteria en regelgeving

Om te bepalen of de berekende risico's acceptabel zijn, wordt getoetst aan de normen die in twee documenten door de overheid zijn vastgelegd, zijnde de handreiking externe veiligheid vervoer gevaarlijke stoffen behorende bij de Nota Risiconormering Vervoer Gevaarlijke Stoffen [1] en de circulaire VROM [2].

De circulaire bevat bebouwingsafstanden¹ die afhankelijk zijn van leidingdiameter, operationele druk en aard der bebouwing. In de beschouwde situatie van drie parallel liggende leidingen is de 36" leiding met een operationele druk van 70.8 bar maatgevend. Voor deze combinatie van druk en diameter geldt een bebouwingsafstand van 35 meter indien er sprake is van een gebied waar relatief veel personen aanwezig zijn (gebiedsklassen 3 en 4). In dunbevolkte gebieden wordt de bebouwingsafstand gereduceerd tot 5 meter (gebiedsklassen 1 en 2).

Meer specifiek refereren gebiedsklassen 1 en 2 aan gebieden met geen of incidentele bebouwing, dan wel gebieden met bijzondere objecten uit categorie II (zoals sporthal, zwembad, weidewinkel en relatief kleine hotels, kantoorgebouwen of industriegebouwen). Gebiedsklasse 3 of 4 wordt toegekend aan gebieden met o.a. woonwijken, flatgebouwen, scholen, ziekenhuizen en grote hotels of kantoorgebouwen. Voor een exacte beschrijving van de gebiedsklasse indeling wordt verwezen naar [2]. De gebiedsklasse dient te worden vastgesteld door een bepaalde strook aan weerszijden van de leiding te beoordelen op bebouwing. Deze strook wordt gedefinieerd door de zogenaamde toetsingsafstand (gemeten vanaf het hart van de leiding). Voor een 36" leiding op 70.8 bar geldt een toetsingsafstand van 115 meter.

In eerste instantie wordt conform de circulaire gepoogd om de afstand tussen bebouwing en leiding de toetsingsafstand te laten zijn. Hieraan wordt aandacht besteed bij de tracékeuzes. De tracélijn van de nieuw aan te leggen leidingen wordt daartoe zoveel mogelijk in landelijk gebied gekozen. Het meest optimale tracé is dan het tracé waar de meeste vrije ruimte langs de leiding bestaat. In Nederland is er echter in een aantal gevallen niet genoeg ruimte om de toetsingsafstand aan te houden.

In ons land wordt nieuwe vervoersinfrastructuur zoveel mogelijk gebundeld. Het voordeel hiervan is zo weinig mogelijk ruimtebeslag. Vanwege dit planologische en economische aspect (bundelingprincipe) kan de tracékeuze conflicteren met het streven van de circulaire om bebouwing buiten de toetsingsafstand van de leiding te houden. Verder is het niet altijd mogelijk om bij kruisingen van lintbebouwing en andere vormen van minder kwetsbare bebouwing de toetsingsafstand aan te houden. Ook in meer dichtbevolkte gebieden is bebouwing binnen de toetsingsafstand in incidentele gevallen niet te voorkomen omdat de bebouwde strook zich over kilometers kan voortzetten.

Derhalve voorziet de circulaire in een gestaffelde benadering van feitelijk na te streven situatie (toetsingsafstand) tot minimaal geëiste situatie (5 meter afstand tot de leiding: de zogenaamde belemmerde strook). Bij een nieuwe leiding in bestaande bebouwde omgeving (of een nieuw bestemmingsplan nabij een bestaande leiding) worden steeds de

¹ De bebouwingsafstand refereert aan een afstand tot aan het hart van de leiding en definieert zodoende een strook rond de leiding waarbinnen gebouwen niet zijn toegestaan.

mogelijkheden voor de meest veilige situatie nagegaan. Als de toetsingsafstand niet haalbaar blijkt, wordt op (kleinere) bebouwingsafstanden getoetst. Voorts is het zo dat in een bestaande bundel er sprake kan zijn van een in de tijd veranderde omgeving waarbij het bevoegd gezag, gebruik makend van de hiervoor genoemde mogelijkheden die de circulaire biedt, (al dan niet kwetsbare) bestemmingen binnen de toetsingsafstand heeft toegestaan. Dit feit is dan niet alleen aan de orde bij een bestaande leidingbundel, maar juist vanwege het bundelingprincipe, ook bij een nieuw te leggen leiding. Waar kwetsbare bebouwing een feit is vertaald het voorgaande zich dan ook in een toetsing aan bebouwingsafstanden.

In het geval de in eerste instantie aan te houden bebouwingsafstand niet kan worden gerealiseerd wegens knelpuntsituaties ten gevolge van de aard van de bebouwing, kan de afstand worden gehalveerd (zie [2]). Echter, in een dergelijk geval moet de constructiefactor met 0.1 worden verlaagd en moet een risicobeperkende maatregel worden genomen, waarbij gekozen kan worden uit onder andere:

- een gronddekking groter dan of gelijk aan 2 meter gecombineerd met extra markering of bewaking;
- een afdekking met betonplaten op het maaiveld boven de leiding;
- een damwandconstructie naast de leiding;
- het toepassen van materiaal met een hogere gespecificeerde minimum kerftaaiheid.

De constructie van de leiding is tevens afhankelijk van de gebiedsklasse. Doorgaans moet een constructiefactor² worden gehanteerd van minimaal 0.72 in gebiedsklasse 1; 0.65 in gebiedsklasse 2; 0.55 in gebiedsklasse 3 en 0.45 in gebiedsklasse 4. Afwijkende ontwerpfactoren worden gebruikt voor kruisingen (met wegen, spoorwegen, kanalen, dijken, etc.)

De handreiking [1] geeft voor nieuwe situaties (hetgeen bij aanleg van nieuwe leidingen het geval is) als norm voor het plaatsgebonden risico: $PR < 10^{-6}$ jaar⁻¹ ter plaatse van al dan niet geprojecteerde (beperkt) kwetsbare objecten. In deze studie is daarom naast de toetsing aan de zoneringsafstanden, tevens een plaatsgebonden risicoberekening uitgevoerd.

Voor het groepsrisico van ondergrondse gastransportleidingen is een oriënterende waarde gesteld van $F \cdot N^2 < 10^{-2}$ km⁻¹·jaar⁻¹, waarbij F de frequentie is met N of meer dodelijke slachtoffers (zie [1]). Met betrekking tot het groepsrisico als gevolg van aardgastransport door buisleidingen zijn in [1] een tweetal vuistregels opgenomen waaraan in eerste instantie gerefereerd kan worden voor het al dan niet uitvoeren van een groepsrisicoberekening. Het wordt echter benadrukt dat deze vuistregels grofstoffelijk zijn en geen rekening houden met details van de situatie die moet worden beoordeeld. Bij iedere toepassing van de vuistregels dient de gebruiker zich goed rekenschap te geven van de beperkingen. Ter voorkoming van onduidelijkheden is voor het gehele leidingtracé een screening van het groepsrisico uitgevoerd, zonder eerst te toetsen aan de genoemde vuistregels.

² De constructiefactor (CF) wordt gedefinieerd door $CF = \sigma_n / SMYS$, waarin σ_n de ringspanning en SMYS de minimum rekgrens van het materiaal. De laatste is afhankelijk van staalsoort, terwijl de ringspanning gedefinieerd wordt door $\sigma_n = p \cdot (D-t) / (2 \cdot t)$, waarin p de druk (in N·mm⁻²), D de diameter (in mm) en t de wanddikte (in mm).

4 Uitgangspunten

4.1 Atmosferische condities

De belangrijkste atmosferische condities die van toepassing zijn bij de risicoberekeningen zijn overgenomen uit de richtlijnen [3] en opgenomen in Tabel 1. De verdeling van de windsnelheden en de windroos is gekozen volgens [3]. De invulling van de kansen van optreden zijn gebaseerd op het Nederlands gemiddelde.

Parameter	Waarde in CPR-18E
Omgevingstemperatuur [K]	282
Temperatuur van het gas [K]	282
Atmosferische druk [bara]	1.0151
Luchtvochtigheid [%]	83
Aantal uren in een dag [-]	10.5

Tabel 1: Atmosferische condities zoals opgenomen in CPR-18E.

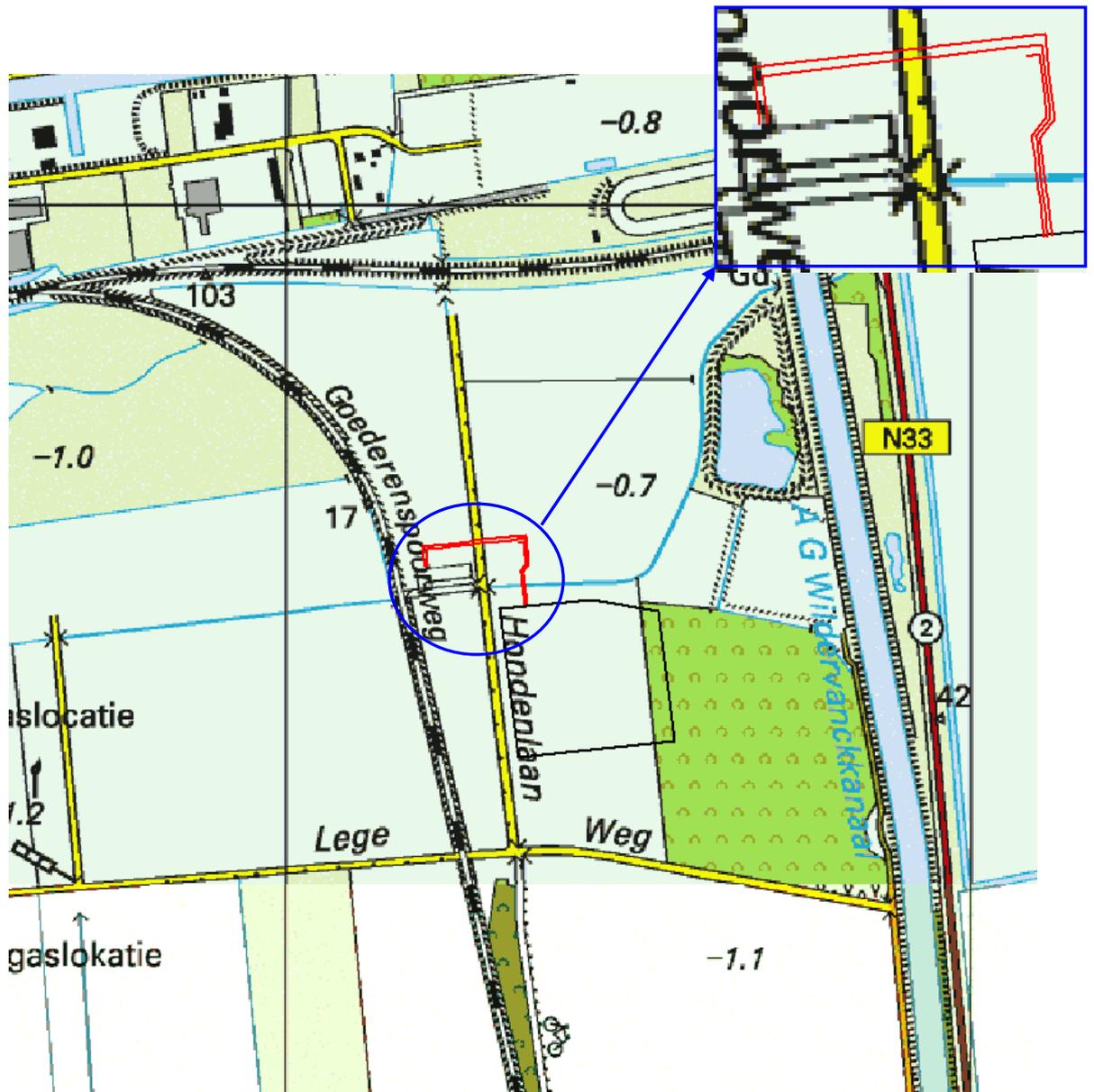
4.2 Leidingtracé

De in Tabel 2 opgenomen leidingen zijn in de risicostudie meegenomen. De coördinaten van deze leidingen zijn gebruikt zoals deze op 21 oktober 2008 zijn aangeleverd. De leidingen liggen parallel op een dagmaat³ van 2 m te leggen. Ter indicatie zijn de verschillende leidingen uit Tabel 2 weergegeven in Figuur 1.

Leiding	Tracé
A-514-05	Afvoerleiding G-gas van mengstation Zuidbroek naar HTL netwerk
A-543-04	Aansluitleiding mengstation Zuidbroek op HTL netwerk
A-610-01	Aansluitleiding mengstation Zuidbroek op HTL netwerk

Tabel 2: Leidingnummers en bijbehorend tracé.

³ De dagmaat wordt gedefinieerd als onderlinge afstand tussen de leidingen, gemeten vanaf de buitenrand van de leidingen.



Figuur 1: Visualisatie van de beschouwde leidingen op een topografische kaart.

De voor de berekening van belang zijnde leidingparameters en bijbehorende waarden, zijn samengevat in Tabel 3.

Parameter	A-514-05	A-543-04 / A-610-01
Diameter [inch]	30	36
Wanddikte [mm]	11.9 (deels 14.4)	14.1 (A-543-04 deels 17.1)
Staalsoort [-]	X70	X70
Ontwerpdruk [barg]	66.2	70.8
Minimale dekking [m]	1.25	1.25

Tabel 3: Leidingparameters.

4.3 Aardgassamenstelling

In Tabel 4 staan de fysische eigenschappen van hoogcalorisch gas (H-gas), waarmee in de risicostudie is gerekend.

Dichtheid, kg/m ³	0.8168
Calorische onderwaarde, MJ/m ³	36.4275
Moleculaire massa, kg/kmol	18.2568
Stoichiometrische concentratie in lucht, vol%	9.668
Verhouding specifieke warmte	1.32
Kritische temperatuur, K	205.016
Kritische druk, bar	47.4
Onderste ontvlambaarheidsgrens, vol%	4.8695
Specifieke warmtecapaciteit, J/kg·K	2341

Tabel 4: Fysische eigenschappen H-gas.

4.4 Bevolkingsgegevens

De omgevingsdata is geëxtraheerd uit een populatiebestand dat door RIVM ter beschikking is gesteld. Dit bestand geeft per object onder meer de code van het type object aan (bijvoorbeeld 1 = vrijstaande woning, 2 = twee-onder-één-kap woning, 10 = boerderij), als ook het aantal personen (wat overigens geen geheel getal is⁴) en de hoofdfunctie van het object. Deze hoofdfunctie wordt gekarakteriseerd door één of meerdere hoofdletters. Bijvoorbeeld: 'W' staat voor woning, 'R' voor recreatie, 'O' voor onderwijs en 'Z' voor zorginstelling.

Het wordt opgemerkt dat de aantallen personen vermeld bij 'R', 'Z' of 'O'-instellingen, het aantal werknemers betreft. In dat opzicht is de database dus niet volledig omdat de 'bewoners' van deze objecten ontbreken. Daarvoor worden aannames gehanteerd. Voor zorginstellingen bedraagt het aantal patiënten per werknemer 0.43. Voor onderwijsinstellingen bedraagt het aantal leerlingen per werknemer 9.0 en voor recreatie bedraagt het aantal recreanten per werknemer 3.9. Deze aantallen zijn gebaseerd op [14].

Het wordt opgemerkt dat het gebruikte populatiebestand enkel onder licentievoorwaarden kan worden gebruikt en alleen toegepast kan worden met uitdrukkelijke toestemming en medewerking van het RIVM. Het is om deze reden dat het RIVM als coauteur op het rapport vermeld staat. De risicoanalyse is door Gasunie uitgevoerd.

In de risicoberekening is geen rekening gehouden met uitbreidingsplannen en bestemmingsplannen in de gemeenten die binnen de inventarisatieafstand van het nieuwe tracé vallen, omdat ten tijde van het schrijven van dit rapport deze gegevens nog niet bekend waren.

⁴ Navraag bij RIVM leerde dat toekenning van het aantal personen per adres plaatsvindt op basis van het corresponderende postcodegebied. Voor een aantal woningen in een postcodegebied wordt het aantal personen geteld in die woningen. De gemiddelde waarde op basis van deze telling wordt van toepassing verklaard op alle woningen in dat postcodegebied.

5 Faalscenario's en faaloorzaken

De risicoberekeningen zijn uitgevoerd conform CPR-18E [3]. Met betrekking tot het falen van aardgasleidingen spreekt deze richtlijn over een tweetal scenario's, te weten lekken en breuken. Voor ondergrondse aardgastransportleidingen dient een lek gemodelleerd te worden als een rond gat met een diameter van 20 mm.

5.1 Faaloorzaken

Uit zowel data van Gasunie als internationale data, betreffende leidingbeschadigingen en leidingincidenten, blijkt dat schade door derden (external interference) de primaire faaloorzaak is voor ondergrondse gastransportleidingen.

Falen door corrosie wordt voldoende ondervangen in het zorgsysteem van Gasunie en de inspectie daarop door de overheid; in overleg met het ministerie van VROM wordt falen door corrosie daarom niet meegenomen bij de bepaling van de faalfrequentie van de leidingen.

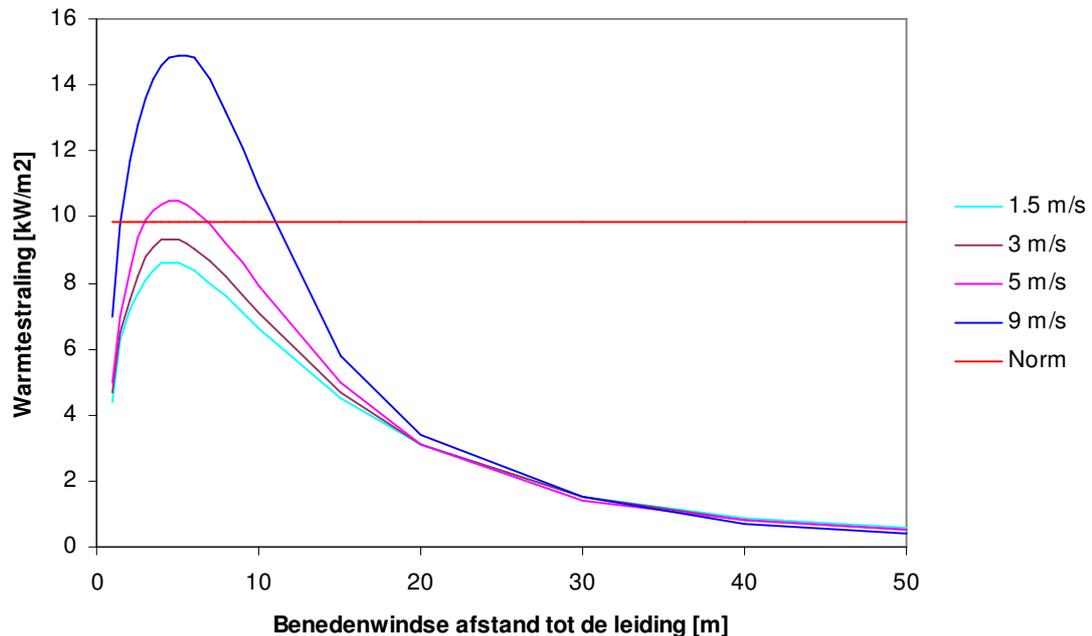
Ook materiaal- en constructiefouten, vermoeiing, SCC⁵ en aardverschuivingen zijn mogelijke faaloorzaken. Echter, de laatste twee faaloorzaken zijn in Nederland tot nog toe niet waargenomen. Ook worden de aardgastransportleidingen in Nederland niet sterk cyclisch belast zodat vermoeiing tevens kan worden uitgesloten als faaloorzaak. Bovendien worden de leidingen voor aanleg hydrostatisch beproefd, zodat de kans op constructie- en materiaalfouten nihil kan worden geacht.

In de faalfrequentie berekeningen wordt daarom alleen rekening gehouden met schade door derden als faaloorzaak. Voor meer details omtrent de faalfrequentie berekeningen wordt verwezen naar Bijlage A.

5.2 Faalscenario's

Hoewel de frequentie van falen als lek groter is dan de breukfrequentie, is de uitstroom verwaarloosbaar klein ten opzichte van de uitstroom behorend bij een breuk. Deze conclusie geldt ook voor het warmtestralingsprofiel. Ter illustratie zijn in Figuur 2 de benedenwindse warmtestralingsprofielen weergegeven voor een lek van 20 mm in een 70.8 bar leiding behorend bij de in [3] gespecificeerde windsnelheden van 1.5 m/s, 3 m/s, 5 m/s en 9 m/s. De profielen zijn bepaald met behulp van PIPESAFE.

⁵ SCC (Stress Corrosion Cracking) wordt veroorzaakt door spanningen. De trekspanningen leiden tot het optreden van kleine scheurtjes in het materiaal. Deze vorm van corrosie kan leiden tot het falen van leidingen als breuk, terwijl de overige corrosietypen veelal alleen lekkages veroorzaken.



Figuur 2: Benedenwindse warmtestralingprofielen bij een lek van 20 mm in een 70.8 bar leiding en windsnelheden van 1.5 m/s, 3 m/s, 5 m/s en 9 m/s.

Uit bovenstaande figuur is af te leiden dat de benedenwindse warmtestralingprofielen behorend bij 1.5, 3, 5 en 9 m/s de drempelwaarde van $9.84 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ weliswaar overschrijden⁶, maar vanaf een afstand van ongeveer 11 meter van het lek onder de in [3] gespecificeerde drempelwaarde blijven. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het risico behorend bij een lek met een diameter van 20 mm verwaarloosbaar is.

Derhalve wordt bij ondergrondse leidingen alleen gerekend met het breukscenario dat resulteert in tweezijdige verticale uitstroming.

5.3 Domino-effecten

Voor de beschouwde aansluitleidingen (zie Tabel 3) is het voornemen om het tracé uit parallel liggende leidingen te laten bestaan. De leidingen zullen op 2m dagmaat van elkaar komen te liggen. Wanneer een leiding breekt, zal de parallel liggende leiding bloot komen te liggen door de kratervorming. De parallelle leiding kan dan falen door overdruk of, indien de uitstroom uit de eerste leiding ontsteekt, door oververhitting indien de gasstroom in de parallel gelegen leiding niet groot genoeg is om de hitte af te voeren. Het falen door dergelijke domino-effecten is bestudeerd en verdisconteerd in de risicoberekening.

⁶ Volgens CPR-18E dienen risicoberekeningen te worden uitgevoerd tot op 1% letaliteit. Met de methodologie uit CPR-18E komt dit overeen met een warmtestraling van $9.84 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Deze waarde kan derhalve als een drempelwaarde worden gezien.

6 Faalfrequentie berekening

6.1 Faalfrequentie

De faalfrequentie voor schade door derden en corrosie wordt berekend met behulp van PIPESAFE. Voor de parameters wordt verwezen naar [11], meer details staan beschreven in Bijlage A.

6.2 Ontstekingskans

In de berekeningen is uitgegaan van een ontstekingskans die afhankelijk is van diameter en druk. De totale frequentie van falen met ontsteking voor een individuele leiding wordt gegeven door

$$FF_{tot} = ff_{EI} \cdot P_{ign}$$

waarin FF_{tot} de totale faalfrequentie met ontsteking is, ff_{EI} de faalfrequentie als gevolg van schade door derden en P_{ign} de kans op ontsteking.

6.3 Ontstekingstijdstip

In de (plaatsgebonden) risicoberekening wordt ervan uitgegaan dat als de uitstroom van gas ontsteekt, de kans 75% is dat dit direct gebeurt op tijdstip $t=0$ en de kans 25% is dat ontsteking pas 120 s na het optreden van de breuk plaatsvindt.

Indien een leiding faalt door domino-effecten als gevolg van parallelligging wordt ervan uitgegaan dat alleen directe ontsteking plaatsvindt, en wordt dus geen 75% / 25% verdeling gemaakt tussen directe en indirecte ontsteking.

6.4 Faalfrequentie bij parallelligging

Indien een leiding kan falen door aanstraling van een naburige leiding, moet dit in de faalfrequentie worden verrekend, het is immers een additionele faaloorzaak. Daarbij moet rekening worden gehouden met het feit dat de faalfrequenties voor naburige parallele leidingen als gevolg van schade door derden niet onafhankelijk zijn, maar een soort "common cause" deel bevatten. Dit in tegenstelling tot leidingen die zich op enige afstand van elkaar bevinden: de faalfrequenties voor elk van deze leidingen zijn dan even groot en onafhankelijk. Dit kan worden uitgelegd door een horizontale en een verticale graafactiviteit nader te beschouwen.

Als bijvoorbeeld bij drainage horizontaal door het tracé gegraven wordt, zal er van een bundel naburige parallele leidingen slechts één leiding geraakt worden, onafhankelijk van het aantal parallel liggende leidingen. De faalfrequenties van naburige leidingen zullen daardoor kleiner zijn, ze genieten een soort 'bescherming' door elkaars nabije ligging. Er wordt hierbij uitgegaan van leidingen met gelijke dekking en tevens wordt verondersteld dat de graafactiviteit stopt bij het raken van de eerste leiding. Bij verticale graafactiviteiten zijn de faalfrequenties van naburige parallele leidingen nog steeds even groot en onafhankelijk.

Om deze "common cause" factor te bepalen, worden de verschillende activiteiten bij schade door derden verdeeld in twee categorieën: activiteiten die vooral op één plek worden

uitgevoerd (V), zoals een verticale boring, en activiteiten die over een traject worden uitgevoerd (H), zoals drainage en een horizontale boring. Op die manier kan gesteld worden dat een faalfrequentie van een willekeurige leiding als gevolg van schade door derden gesplitst kan worden in

$$ff_{EI} = ff_{EI_V} + ff_{EI_H}$$

De verhouding tussen beide typen faalfrequenties is vastgesteld door middel van een analyse van interne leidingincidenten. Deze analyse is samengevat in Bijlage B. De uitkomst is dat

$$ff_{EI_V} = 0.3 \cdot ff_{EI}, \quad ff_{EI_H} = 0.7 \cdot ff_{EI}$$

Voor het bepalen van ff_{EI_H} wordt uitgegaan van het maximum van de faalfrequenties ff_{EI} van de betrokken leidingen. Voor de bijdrage in FF_{tot} van ff_{EI_H} wordt de faalfrequentie van de bijbehorende leiding genomen.

Vervolgens kan worden gesteld dat de totale frequentie van falen met ontsteking van leiding 1, waarbij leiding 1 kan worden aangestraald door leiding 2 en leiding 3, gegeven wordt door⁷

$$FF_{tot,1} = ff_{EI_V,1} \cdot P_{ign,1} + ff_{EI_V,2} \cdot P_{ign,2} + ff_{EI_V,3} \cdot P_{ign,3} + ff_{EI_H,max(1,2,3)} \cdot P_{ign,max(1,2,3)}$$

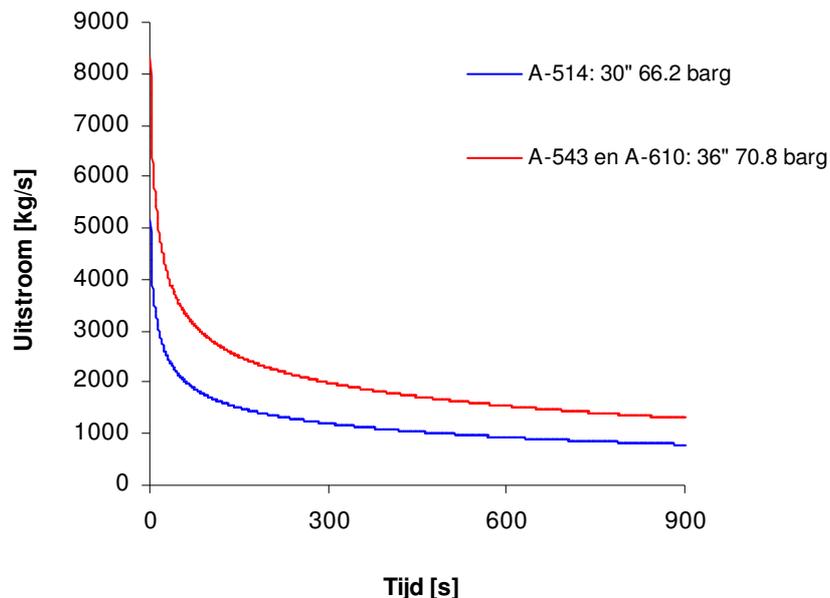
⁷ Uit berekeningen blijkt dat de parallel gelegen leiding niet faalt als gevolg van overdruk effecten, maar wel bloot komt te liggen als gevolg van de kraterforming bij falen van leiding 2 en leiding 3. Daarom wordt de ontstekingskans van leiding 2 en leiding 3 verdisconteerd in de totale faalfrequentie met ontsteking van leiding 1.

7 Effectberekeningen

Indien in een leiding een lek of breuk optreedt, zal dit direct resulteren in uitstroom van gas. Het vrijkomende debiet hangt af van de diameter en druk van de leiding. Omdat aardgas niet toxisch is, is het vrijkomen van aardgas op zich geen probleem. Echter, warmtestraling bij ontsteking van een gas-lucht mengsel kan letale gevolgen hebben. De uitstroom- en warmtestralingberekeningen zijn uitgevoerd met PIPESAFE.

7.1 Uitstroom

Voor de uitstroomberekeningen is de uitstroommodule PBREAK uit PIPESAFE gebruikt. De bepaling van de daadwerkelijke uitstroming is in feite gebaseerd op de behoudswetten voor massa en impuls die beschreven worden door Navier Stokes vergelijkingen. De tijdsafhankelijke uitstroming voor een 30" leiding op 66.2 bar en een 36" leiding op 70.8 bar is weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3: Tijdsafhankelijk uitstroomprofiel bij breuk van een 30" leiding op 66.2 bar en een 36" leiding op 70.8 bar.

Conform CPR-18E [3] en in aansluiting op [8] is in de risicoberekeningen uitgegaan van een blootstellingduur van 20 seconden en over deze periode een tijdsgemiddelde (en dus constante) uitstroom. Voor directe ontsteking wordt uitgegaan van de gemiddelde uitstroom tussen 0 s en 20 s en voor vertraagde ontsteking wordt uitgegaan van de gemiddelde uitstroom tussen 120 s en 140 s.

Voor de 30" leiding opererend op een druk van 66.2 bar is de tijdsgemiddelde uitstroom over de eerste 20 s gelijk aan ruim $3500 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ (voor een lek van 20 mm is de uitstroom nog geen $4 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$). De tijdsgemiddelde uitstroom voor dezelfde leiding tussen 120 en 140 s is gedaald tot minder dan $1600 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

Voor de 36" leidingen opererend op een druk van 70.8 bar is de tijdsgemiddelde uitstroom over de eerste 20 s gelijk aan bijna $5800 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ (voor een lek van 20 mm is de uitstroom nog geen $4 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$). De tijdsgemiddelde uitstroom voor dezelfde leiding tussen 120 en 140 s is gedaald tot ruim $2600 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

7.2 Warmtestraling

Indien een uitstroom van gas ontsteekt, zal dit resulteren in warmtestraling. Bij ondergrondse breuken resulteert dit in een verticaal gerichte fakkelbrand. Hierdoor ontstaan warmtestralingcontouren waarvan de vorm hoofdzakelijk afhangt van de diameter, de operationele leidingdruk en de heersende windrichting. Deze fakkelbrand is gemodelleerd met CRISTAL. CRISTAL is een module in PIPESAFE die gebouwd is om het warmtestralingsprofiel bij een fakkelbrand van een ondergrondse gastransportleiding te voorspellen, waarbij rekening wordt gehouden met de vorming van een krater en de invloed daarvan.

7.3 Letaliteit

Schade door warmtestraling wordt conform het zogenaamde Groene Boek [9] bepaald door de 'dosis' die een persoon ontvangt. Gegeven een ruimte- en tijdsafhankelijke straling $Q(x,y,z,t)$, uitgedrukt in $[\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}]$, dan wordt de dosis in het algemeen berekend met de formule

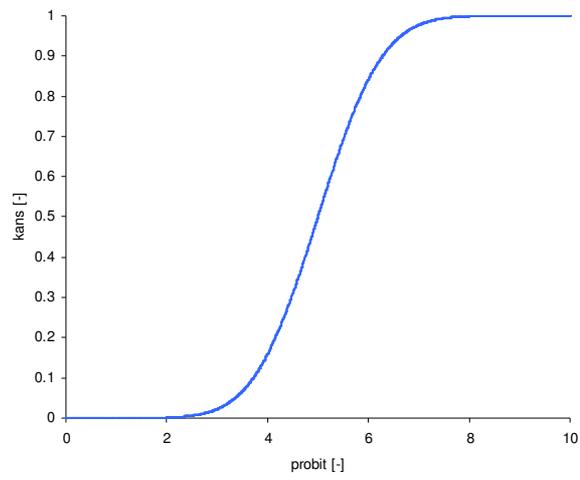
$$Dosis = \int_{T_0}^{T_1} Q(x, y, z, t)^{1,33} dt,$$

waarin T_0 het tijdstip van ontsteking is en $T_1 - T_0$ de blootstellingduur. In het specifieke geval, waarin de tijdsvariabele uit de warmtestraling is geïntegreerd en gerekend wordt met een blootstellingduur van 20 s, reduceert de formule voor de dosis tot $Dosis = Q(x,y,z)^{4/3} \cdot 20$

Het effect van warmtestraling wordt vervolgens bepaald met behulp van de zogenaamde probitfunctie. Deze probitfunctie, die afhankelijk is van de dosis, is in feite een hulpvariabele waarmee uiteindelijk de kans op overlijden ten gevolge van warmtestraling kan worden berekend. Voor verbranding van koolwaterstoffen (waaronder aardgas, dat immers voor een groot gedeelte uit methaan bestaat) wordt de probitfunctie gedefinieerd door

$$probit = -12.8 + 2.56 \cdot \ln(Dosis).$$

Gegeven nu een waarde *probit* van de probitfunctie, dan wordt de bijbehorende kans op overlijden bepaald door de uitdrukking $P(X \leq probit)$, waarin X een normaal verdeelde stochast is met gemiddelde 5 en standaarddeviatie 1 (zie Figuur 4).



Figuur 4: Kans op overlijden als functie van de probit.

8 Risicoberekeningen

Zowel het plaatsgebonden risico (PR) als het groepsrisico (GR) zijn berekend volgens de methodologie in CPR-18E [3]. In alle uitgevoerde risicoberekeningen zijn de voorgeschreven windsnelheden (1.5 m/s, 3 m/s, 5 m/s en 9 m/s) met bijbehorende windrozen verdisconteerd.

8.1 Plaatsgebonden risico

Voor het leidingtracé wordt het plaatsgebonden risico gepresenteerd als functie van de afstand tot de leiding en wordt in feite bepaald door het product van de faalfrequentie met het effect van falen te integreren over het leidingtracé. De berekeningen zijn uitgevoerd onder de aanname van een oneindig lange leiding met op die leiding constante leidingparameters zoals opgenomen in sectie 4.2, waarbij de interactielengte van de leiding bepaald is conform CPR-18E (risicoberekeningen dienen te worden uitgevoerd tot op 1% letaliteit).

Verder zijn de volgende aannames gebruikt:

- De faalfrequentie als gevolg van schade door derden is gecorrigeerd met een factor 2.5 als gevolg van een wettelijke grondroedersregeling;
- De faalfrequentie als gevolg van schade door derden is gecorrigeerd voor recent ingevoerde maatregelen (factor 1.2) en een dalende trend in leidingbreuken (factor 2.8) [12].

8.1.1 Plaatsgebonden risico bij domino-effecten

Indien domino-effecten worden meegenomen, zal het PR van een leiding toenemen. In aanvulling op bovenstaande aannames is bij de berekeningen van de risico's bij domino-effecten gebruikgemaakt van de faalfrequenties zoals beschreven in sectie 6.4.

8.2 Groepsrisico

In [3] staat voorgeschreven dat zowel de $35 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ -contour als de $9.84 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ -contour (die met de in CPR-18E voorgeschreven methodologie overeenkomt met 1% letaliteit) cruciaal zijn in de berekeningen van het groepsrisico. Binnen de $35 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ contour zullen zowel de mensen binnenshuis als de mensen buitenshuis overlijden. In de ring $35 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ – $9.84 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ zullen alleen de personen buitenshuis overlijden middels een afstandafhankelijke letaliteitsfunctie (die bepaald wordt middels de Eisenberg probitrelatie, zie sectie 7.3). Bovendien worden deze personen beschermd door het dragen van kleding, resulterend in een reductiefactor in het aantal slachtoffers van 0.14. Overdag is 70% van de bewoners aanwezig, waarvan 7% buitenshuis en 's nachts is 100% van de bewoners aanwezig en 1% buitenshuis. Met betrekking tot de werknemers is ervan uitgegaan dat deze overdag 100% aanwezig zijn (7% buiten). Er wordt verondersteld dat er 's nachts geen werknemers aanwezig zijn.

FN-curves voor leidingen worden bepaald voor segmenten van 1 kilometer lengte. Bij leidingen die langer zijn dan 1 kilometer is het probleem hierbij dat segment te vinden dat aanleiding geeft tot de worst case FN-curve. Daarom is de volgende aanpak gekozen.

Voor de leiding wordt per stationing de overschrijdingswaarde van het groepsrisico weergegeven. Deze is berekend door rondom elk punt op de leiding een kilometer segment te kiezen, die gecentreerd ligt ten opzichte van dit punt. Voor deze kilometer leiding is een FN-

curve berekend en voor deze FN-curve de overschrijdingsfactor. De overschrijdingsfactor is de maximale verhouding tussen de FN-curve en de oriënterende waarde. Daarmee is de overschrijdingsfactor een maat die aangeeft in hoeverre de oriënterende waarde wordt genaderd of overschreden. Een overschrijdingsfactor kleiner dan één geeft aan dat de FN-curve onder de oriënterende waarde blijft. Bij een waarde van één zal de FN-curve de oriënterende waarde raken. Bij een waarde groter dan één wordt de oriënterende waarde overschreden. Deze overschrijdingsfactor is vervolgens tegen de stationing uitgezet in een grafiek.

Bij het berekenen van eventuele FN-curves worden de volgende aannames gehanteerd:

- De faalfrequentie als gevolg van schade door derden is gecorrigeerd met een factor 2.5 als gevolg van een wettelijke grondroerdersregeling;
- De faalfrequentie als gevolg van schade door derden is gecorrigeerd voor recent ingevoerde maatregelen (factor 1.2) en een dalende trend in leidingbreuken (factor 2.8) [12];
- Van de in het Paarse Boek vermelde windrozen wordt de dichtstbijzijnde gebruikt voor de berekening;
- De opsplitsing in directe en vertraagde ontsteking wordt niet gemaakt, maar er wordt alleen (conservatief) gerekend met directe ontsteking.

8.2.1 Groepsrisico bij domino-effecten

Bij de berekening van het groepsrisico met domino-effecten worden dezelfde aannames gebruikt als in sectie 8.1.1 .

9 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd van de verschillende uitgevoerde berekeningen en analyses.

9.1 Toetsing aan huidige zonering

In de circulaire [2] worden de in Tabel 5 en Tabel 6 gegeven toetsings- en bebouwingsafstanden gegeven voor de beschouwde leidingen (zie Tabel 3).

Toetsingsafstand [m]	Bebouwingsafstand [m] Gebiedsklasse 1 en 2	Bebouwingsafstand [m] Gebiedsklasse 3 en 4
95	5	30

Tabel 5: Toetsings- en bebouwingsafstanden voor een 30", 66.2 bar leiding.

Toetsingsafstand [m]	Bebouwingsafstand [m] Gebiedsklasse 1 en 2	Bebouwingsafstand [m] Gebiedsklasse 3 en 4
115	5	35

Tabel 6: Toetsings- en bebouwingsafstanden voor een 36", 70.8 bar leiding.

Op grond van bevolkingsgegevens kan de gebiedsklasse bepaald worden binnen de toetsingsafstand. Het gebied binnen de toetsingsafstand kan worden ingedeeld in de klassen 1 en 2. Volgens de circulaire [2] kan in dit geval worden volstaan met een constructiefactor van 0.65 (wanddikte 8.3mm voor 30" 66.2 bar en 10.8 voor 36" 70.8 bar). In de buurt van woonwijken en kruisingen en dergelijke eist de circulaire een kleinere ontwerpfactor: 0.55 (wanddikte 9.8mm voor 30" 66.2 bar en 12.6 voor 36" 70.8 bar) of zelfs 0.45 (wanddikte 12mm voor 30" 66.2 bar en 15.2 voor 36" 70.8 bar).

De omgeving van het tracé is getoetst aan de in de circulaire opgenomen bebouwingsafstanden. Hierbij is in eerste instantie uitgegaan van de bebouwingsafstand behorend bij gebiedsklasse 3 en 4. Om te waarborgen dat er geen potentiële knelpunten worden gemist doordat de coördinaten van een object niet samenvallen met de gevel van het object (waardoor het object dichterbij de leiding zou kunnen staan dan wordt gesuggereerd door zijn coördinaten) zijn de adressen uit de database met bewoningsgegevens hierbij opgevat als middelpunten van 25mx25m vakken. Vervolgens is bij elke leidingcoördinaat bepaald wat de afstand is tussen deze coördinaat en elk van de vier hoekpunten van het 25x25 meter vak met daarin een object. Indien elk van de vier afstanden groter is dan de bebouwingsafstand 50m wordt per definitie voldaan aan de circulaire.

Indien dit niet het geval is (één van de vier afstanden is kleiner dan 50m) is de gebiedsklasse van het omliggende gebied, afgebakend door de toetsingsafstand, bepaald. Indien het gebied ingedeeld kan worden in klasse 1 of 2 is op dezelfde wijze getoetst aan een bebouwingsafstand van 5m. Indien het gebied moet worden ingedeeld in klasse 3 of 4, moet de constructiefactor van de leiding met 0.1 worden verlaagd en dient een risicobeperkende maatregel zoals opgenomen in sectie 3.2 te worden toegepast.

9.1.1 A-514-05

Met betrekking tot de A-514-05 zijn geen knelpunten gevonden.

9.1.2 A-543-04

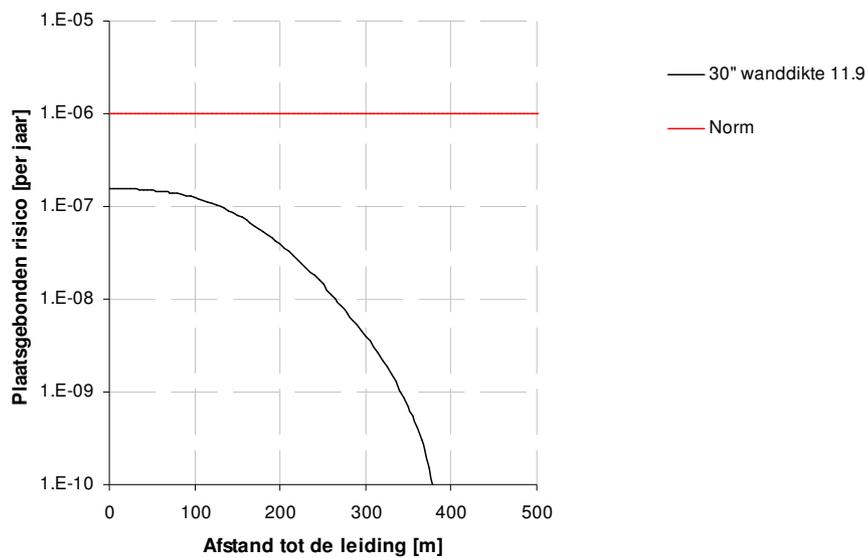
Met betrekking tot de A-543-04 zijn geen knelpunten gevonden.

9.1.3 A-610-01

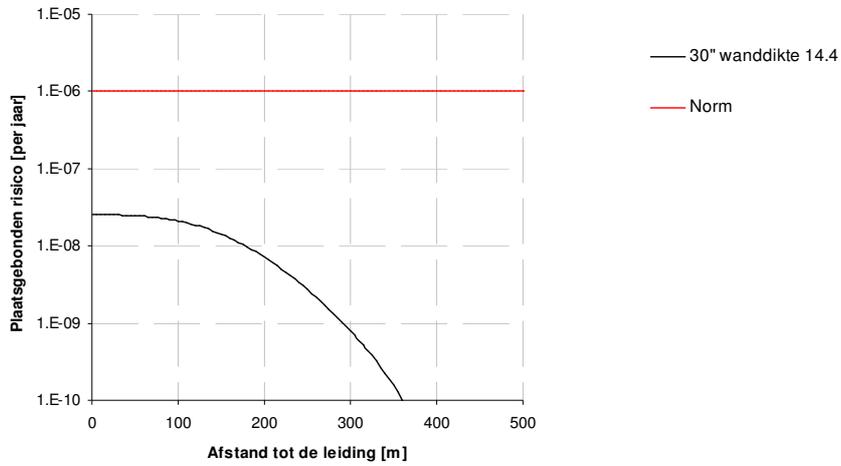
Met betrekking tot de A-610-01 zijn geen knelpunten gevonden.

9.2 Plaatsgebonden risico

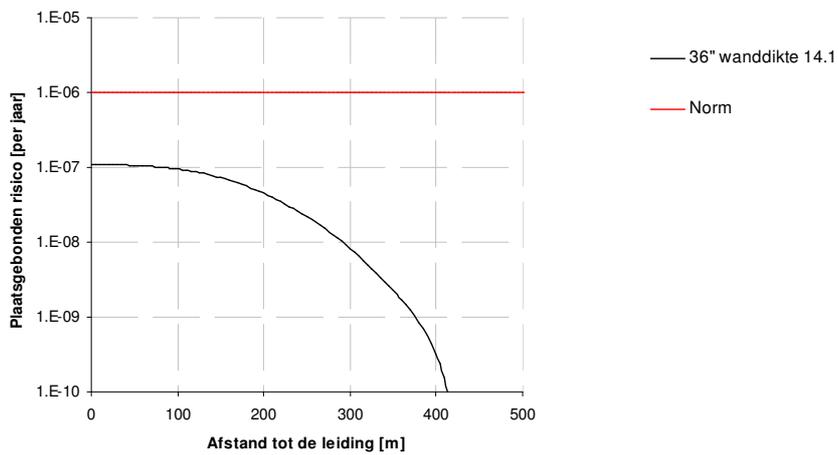
Het plaatsgebonden risico van de in Tabel 3 vermelde leidingen en bijbehorende parametrisering is gepresenteerd in Figuur 5 tot en met Figuur 8.



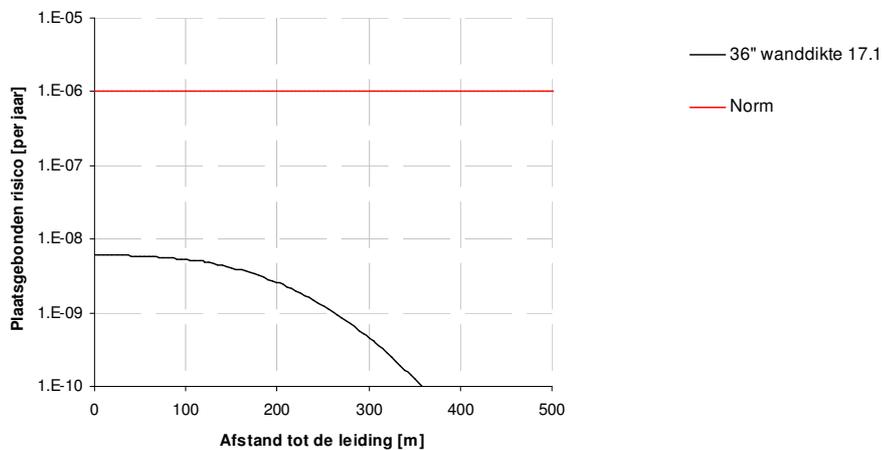
Figuur 5: PR van de A-514-05 bij een wanddikte van 11.9mm.



Figuur 6: PR van de A-514-05 bij een wanddikte van 14.4mm



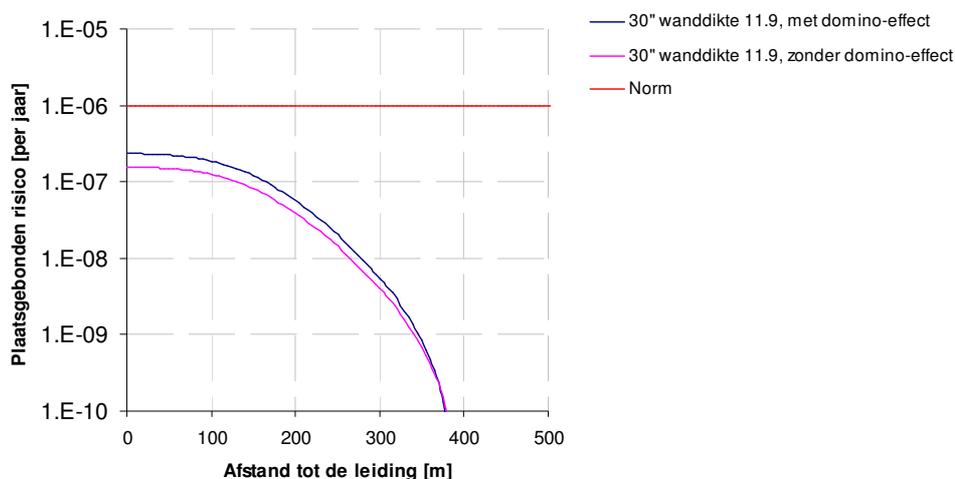
Figuur 7: PR van de A-543-04 en de A-610-01 bij een wanddikte van 14.1mm.



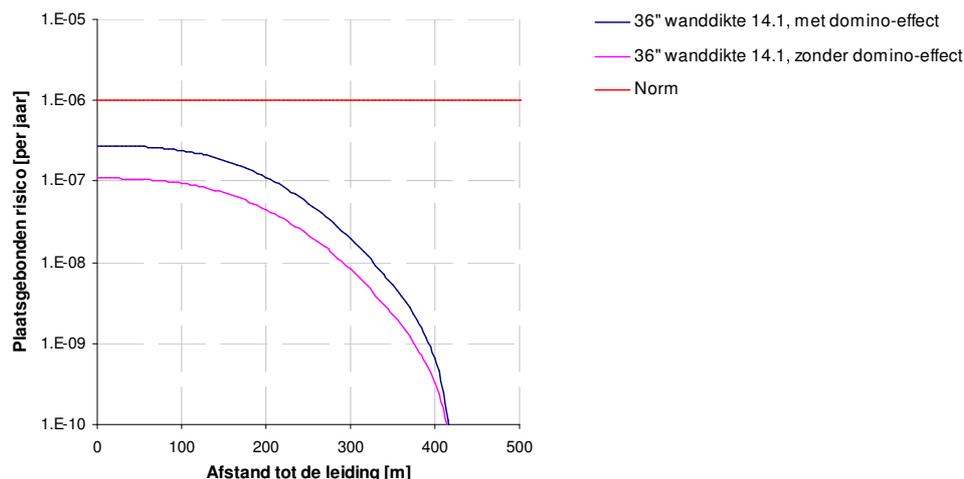
Figuur 8: PR van de A-543-04 en de A-610-01 bij een wanddikte van 17.1mm.

Uit Figuur 5 tot en met Figuur 7 kan worden geconcludeerd dat het plaatsgebonden risico nabij de leidingen reeds bij een ontwerpfactor van 0.65 lager is dan de door de Nederlandse overheid gestelde maximum waarde van 10^{-6} per jaar. Daarmee voldoet het voorziene leidingontwerp aan de regelgeving omtrent plaatsgebonden risico.

Aangezien het voornemen is enkele leidingen parallel te leggen op 2m dagmaat, is tevens het plaatsgebonden risico, rekening houdend met domino-effecten als gevolg van parallelligging, berekend. Daarbij is conservatief gerekend door uit te gaan van de kleinste wanddiktes uit Tabel 3. Het resultaat is weergegeven in Figuur 9 en Figuur 10.



Figuur 9: PR met domino-effecten voor de A-514-05 bij een wanddikte van 11.9mm.



Figuur 10: PR met domino-effecten voor de A-543-04 en de A-610-01 bij een wanddikte van 14.1mm.

Ook wanneer domino-effecten in de plaatsgebonden risicoberekening worden verdisconteerd voldoet het parallelle systeem aan de door de Nederlandse overheid gestelde grenswaarde voor het plaatsgebonden risico.

9.3 Groepsrisico

9.3.1 Groepsrisico screening

Uit berekeningen blijkt dat het maximale aantal slachtoffers lager is dan 10. Voor deze leidingen is daarom geen FN-curve getoond. Er kan dan ook worden geconcludeerd dat het voorziene leidingontwerp van de A-514-05, de A-543-04 en de A-610-01 voldoet aan de door de Nederlandse overheid gestelde oriënterende waarde voor het groepsrisico, zijnde $F \cdot N^2 < 10^{-2} \text{ km}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$.

10 Conclusies

Uit de berekeningen en analyses kan het volgende worden geconcludeerd.

Het tracé voldoet aan de huidige regelgeving, zijnde de circulaire "Zonering langs hoge druk aardgastransportleidingen".

Met betrekking tot het plaatsgebonden risico voldoet het voorziene ontwerp van de leidingen aan de door de Nederlandse overheid gestelde norm van $PR < 10^{-6}$ per jaar ter plaatse van (beperkt) kwetsbare objecten.

Het beoogde tracé, met het voorziene ontwerp, voldoet aan de oriënterende waarde voor groepsrisico, zijnde $F \cdot N^2 < 10^{-2}$ per km per jaar, waarbij F de frequentie is van een ongeval met N of meer dodelijke slachtoffers.

11 Referenties

- [1] *Handreiking Externe Veiligheid Vervoer Gevaarlijke Stoffen*, maart 1998
Nota Risiconormering Vervoer Gevaarlijke Stoffen; Tweede kamer, vergaderjaar 1995-1996, 24 611, nr 2.
- [2] *Circulaire Zonering langs hoge druk aardgastransportleidingen*; ministerie van VROM; 26 november 1984, kenmerk DGMH/B nr. 0104004.
- [3] Committee for the Prevention of Disasters, *Guidelines for Quantitative Risk Assessment CPR 18E*, 1999.
- [4] Acton M.R., Baldwin P.J., Baldwin T.R., Jager E.E.R., *The Development of the PIPESAFE Risk Assessment Package for Gas Transmission Pipelines*, Proceedings of the International Pipeline Conference, ASME International, Book no. G1075A, 1998.
- [5] Acton M.R., Baldwin P.J., Baldwin T.R., Jager E.E.R., *Recent Developments in the Design and Application of the PIPESAFE Risk Assessment Package for Gas Transmission Pipelines*, Proceedings of the International Pipeline Conference, IPC02-27196, Calgary, Canada, 2002.
- [6] M.R. Acton, G. Hankinson, B.P. Ashworth, M. Sanai, J.D. Colton, *A Full Scale Experimental Study of Fires following the Rupture of Natural Gas Transmission Pipelines*, Proceedings of the International Pipeline Conference, Calgary, ASME International.
- [7] *Toepasbaarheid van PIPESAFE voor risicoberekeningen van aardgastransportleidingen*, ministerie van VROM, VROM DGM/SVS/2000073018, 10 juli 2000.
- [8] Rein Bolt, Robert Kuik, Jeroen Zanting, Eric Jager: *Risicoanalyse Aardgas Transportleidingen*. Rapport RT 03.R.0355.
- [9] Committee for the Prevention of Disasters, *Methods for the determination of possible damage CPR 16E*, 1992.
- [10] Jeroen Zanting, Eric Jager, Robert Kuik, *Gasunie's three step approach in pipeline risk assessment, A Fast, efficient and accurate method of screening a transmission network*, Proceedings of the 27th ESReDA seminar, Glasgow, Scotland, November 2004.
- [11] Mirjam van Burgel, *Invoerparameters risico analyse PIPESAFE per 08-11-2006*, Memorandum DET 06.M09.
- [12] Brief van Ministerie van VROM aan N.V. Nederlandse Gasunie, *Risicomethodiek aardgastransportleidingen*, EV/2006.334302, 7 December 2006.
- [13] E-mail uitwisseling met Dr. M.R. Acton, Advantica, 28 November 2006.
- [14] Post J.G., Kooi E.S., Weijts J., *Ontwikkelingen van het groepsrisico rond Schiphol, 1990 – 2010*, RIVM rapport 620100004, 2005

- [15] Ministerie van VROM, *PGS 1*, maart 2005, Den Haag.
- [16] M.T. Dröge, J.L. Bos, A. van Vliet, *Kwantitatieve Risicotoetsing Tracé Rysum - Trips c.a.*, Rapport DET 2007.R.0320

Bijlage A Faalfrequenties

A1 Schade door derden

Veruit de belangrijkste oorzaak van falen van gastransportleidingen is uitwendige beschadiging door derden. Het voorspellen van de faalfrequentie van een leiding door uitwendige beschadiging gebeurt in drie stappen:

- vaststellen van de raakfrequentie;
- bepaling van kans op lekkage als gevolg van een kras en de combinatie kras-deuk;
- bepaling van de uiteindelijke breukfrequentie.

De veronderstelling is dat de raakfrequentie alleen afhangt van de diepteligging [A1, A2, A3]. Een analyse van de bij Gasunie gerapporteerde schades uit de periode 1977 – 2001 heeft geresulteerd in de volgende relatie tussen dekking d (in m) en raakfrequentie $f(d)$:

$$f(d) = e^{-2.4d-3.5} \quad [km^{-1} \cdot jaar^{-1}].$$

Dit betekent dat de raakfrequentie ongeveer een factor 10 kleiner wordt voor elke meter extra gronddekking. Voor meer details omtrent deze analyse wordt verwezen naar [A2].

Het faalfrequentie model FFREQ gebruikt als input inwendige druk, staalsoort, wanddikte, taaiheid van het staal, diameter en diepteligging, en berekent hiermee een lek- en breukfrequentie voor platteland en stedelijke gebieden. Het model is gebaseerd op breukmechanica en Weibull-verdelingen van Britse leidingbeschadigingen door graafwerkzaamheden of andere grondroeractiviteiten. In [A2] staat beschreven hoe de resultaten van FFREQ dienen te worden gecorrigeerd voor diepteligging met bovenstaande vergelijking, zodat de uitkomst consistent wordt met faaldata van Gasunie-leidingen.

In het volgende wordt de procedure uitgelegd waarmee FFREQ faalfrequenties, met een breuk als gevolg, berekent. De achterliggende gedachte bij deze procedure is het bepalen van de kritieke gatgrootte als gevolg van een kras en/of deuk. Ligt een berekende gatgrootte boven de kritieke waarde, dan faalt de leiding als breuk. Hierbij dient te worden opgemerkt dat FFREQ aanneemt dat kraslengte en krasdiepte onafhankelijk zijn. In werkelijkheid is het waarschijnlijk dat er enige correlatie is tussen diepte en lengte van een kras.

De diepte van een kras, d , die nodig is om een leiding te laten falen wordt gegeven door de vergelijking

$$d = t \frac{1.15 - \sigma_f / \sigma_{SMYS}}{1.15 - \sigma_f / (M \sigma_{SMYS})},$$

waarin t de wanddikte, σ_f de faalwaarde van de ringspanning, σ_{SMYS} de vloeispanning en M de Folias factor. Deze Folias factor wordt gedefinieerd door

$$M = \sqrt{1 + 0.26 \left(\frac{L^2}{Rt} \right)},$$

met L de kraslengte, en R de straal van de leiding. De kritieke kraslengte wordt gevonden uit de vergelijking $\sigma_f / \sigma_{SMYS} = 1.15 \cdot M^{-1}$. De stappen die nu in FFREQ worden ondernomen om de breukkans middels een kras te berekenen, zijn:

1. Bepaal de kritieke lengte L_{crit} . Krassen met lengte groter gelijk deze kritieke lengte kunnen resulteren in een leidingbreuk; krassen met een kortere lengte kunnen slechts resulteren in een lek.
2. Maak een partitie van het interval (L_{crit}, L_{max}) , waarbij L_{max} de maximaal voorkomende lengte van een kras is.
3. Bepaal de kans op een kraslengte in het eerste interval en bepaal de gemiddelde lengte.
4. Gebruik de vergelijking voor d om de krasdiepte te bepalen die, in combinatie met deze eerste gemiddelde kraslengte, tot falen leidt.
5. Bereken de kans op zo'n krasdiepte en bereken de faalkans van de leiding met een kras met deze afmeting.

De breukkans middels een kras, P_{gouger} , wordt nu verkregen door de stappen 3 tot en met 5 te herhalen voor elk interval waaruit de partitie van (L_{crit}, L_{max}) bestaat en de bijbehorende faalkansen op te tellen. De kraslengte en krasdiepte worden verondersteld Weibull verdeeld te zijn.

Echter een breuk kan ook ontstaan door de combinatie kras/deuk. Op een soortgelijke manier als bij krassen kan de diepte van een deuk die, in combinatie met de diepte van een kras, nodig is om een leiding te laten falen, worden afgeleid uit de vergelijking voor het falen van een leiding door de combinatie kras-deuk. Deze diepte van de deuk (aangegeven met D) is onder andere afhankelijk van de krasdiepte en de kerfslagwaarde. Middels een Folias factor kan ook hier weer de kritieke lengte L_{crit} voor krassen worden bepaald. De stappen die nu in FFREQ worden ondernomen om de breukkans middels de combinatie kras-deuk te berekenen, zijn:

1. Bepaal de kritieke lengte L_{crit} . Krassen met lengte groter gelijk deze kritieke lengte kunnen resulteren in een leidingbreuk.
2. Maak een partitie van het interval (L_{crit}, L_{max}) , waarin L_{max} de maximaal voorkomende lengte van een kras is.
3. Bepaal de kans op een kraslengte in het eerste interval en bepaal de gemiddelde lengte.
4. Gebruik de vergelijking voor d om de krasdiepte te bepalen die, in combinatie met deze eerste gemiddelde kraslengte en afwezigheid van een deuk, tot falen leidt. Geef deze lengte de naam d_{max} .
5. Maak een partitie van het interval $(0, d_{max})$.
6. Bepaal de kans op een krasdiepte in het eerste interval en bepaal de gemiddelde krasdiepte.

7. Bereken de diepte van de deuk uit een vergelijking voor D bij deze eerste gemiddelde krasdiepte en bepaal de kans op deze diepte.
8. Bereken de faalkans van de leiding met een combinatie kras-deuk met deze afmetingen.
9. Herhaal de stappen 6 tot en met 8 voor elk interval waaruit de partitie van $(0, d_{max})$ bestaat.

De breukkans middels de combinatie kras-deuk, $P_{gouge-dent}$, wordt nu verkregen door de stappen 3 tot en met 9 te herhalen voor elk interval waaruit de partitie van (L_{crit}, L_{max}) bestaat en de bijbehorende faalkansen op te tellen.

De uiteindelijke breukfrequentie van de leiding veroorzaakt door derden, wordt nu gegeven door

$$F = F_{gouge} P_{gouge} + F_{gouge-dent} P_{gouge-dent},$$

waarin F_{gouge} de frequentie van krasincidenten en $F_{gouge-dent}$ de frequentie van kras-deuk incidenten.

A2 Andere faalorzaken

Eén van de faalfrequentie modellen in PIPESAFE voorspelt falen ten gevolge van vermoeiing van leidingen door sterke cyclische belasting op druk. Aangezien de Gasunie leidingen niet sterk cyclisch belast worden geeft dit geen bijdrage aan de faalfrequentie. Aardbevingen en terroristische aanslagen worden buiten beschouwing gelaten.

Het corrosiemodel CORROSION gebruikt een distributie van waargenomen corrosiesnelheden op Britse gasleidingen. Deze hangen af van kathodische beschermingskwaliteit, coatingtype en conditie. Wanddikte, staalsoort, diameter, inwendige druk en leeftijd bepalen dan de faalfrequentie. Het falen als breuk levert een lage frequentie omdat de corrosie niet alleen diep moet zijn maar ook uitgebreid. Bij Gasunie heeft corrosie alleen maar geleid tot lekken en niet tot breuken.

A3 Referenties

- [A1] Eric Jager, Fenna Noltes, Gerard Stallenberg, Alida Zwaagstra: *Assessing the Integrity of a Pipeline System by using an Accident Database and Statistical Analysis*, ESReDA Antwerp, 1998.
- [A2] Eric Jager, Robert Kuik, Gerard Stallenberg, Jeroen Zanting: *A Qualitative Risk Assessment of the Gastransport Services Pipeline System Network Based on GIS Data*, ICT, Prague, 2002.
- [A3] Eric Jager, Robert Kuik, Gerard Stallenberg, Jeroen Zanting: *The Influence of Land Use and Depth of Cover on the Failure Rate of Gas Transmission Pipelines*, Proceedings of the International Pipeline Conference, Calgary, Canada, 2002.
- [A4] EGIG, 5th EGIG report 1970 – 2001, 2002.

Bijlage B Faalfrequentie bij domino-effecten

In een interne database omtrent leidingbeschadigingen zijn de in Tabel B7 beschreven activiteiten die kunnen leiden tot leidingbeschadigingen door derden opgenomen. Van de in totaal 1225 vermelde incidenten, zijn er 59 incidenten (56 met vermelde oorzaak) die betrekking hebben schade door derden op een HTL leiding. In totaal kunnen hiervan 11 incidenten aangemerkt worden als veroorzaakt door activiteiten die op één of meerdere plek(ken) plaatsvinden (in tabel gelabeld met 'V') en 27 incidenten door activiteiten die plaatsvinden op een traject (gelabeld met 'H'). Dit geeft bij benadering een 30% / 70% verdeling.

Beschrijving activiteit	Code in GDLI	Aantal	Categorie
Algemene industriële activiteiten	ACT	0	-
Activiteiten voor de aanleg van kabels	CABLE	2	H
Activiteiten van Gasunie zelf	COMP	5	V
Activiteiten voor algemene constructie	CONST	2	-
Drainage	DA	8	H
Sloopwerkzaamheden	DEM	0	-
Sloten opschonen	DITCL	1	H
Sloten graven	DITDI	3	H
Sloten uitbaggeren	DITDR	1	H
Horizontale boring	DRILHZ	2	H
Verticale boring/bronnering	DRILW	4	V
Agrarisch werk	FARM	2	-
Grondverzet (niet nader gespecificeerd)	GRNDMO	8	-
Foutieve aanboring	HOTTAP	2	-
Onbekend	NS	2	-
Overig	OTHER	2	-
Heien met palen	PILE	2	V
Activiteiten voor de aanleg van pijpleidingen	PIPCON	4	H
Ploegen	PLOW	0	H
Activiteiten voor de aanleg van wegen	ROAD	1	H
Heien met damwanden	SHEET	2	H
Terrorisme/vandalisme	VAND	0	-
Activiteiten voor riolering of waterleidingen	WATER	3	H

Tabel B7: Activiteiten uit interne database met het aantal vermeldingen bij schade door derden op HTL leidingen en de indeling in categorie.

Verzendlijst

Archief

TAM (G.R. Kuik, P.C.A. Kassenberg)

TL (S.H. Stratingh)

TNI (W. Knops)

TNH (A. Draijer)

DEI (M. T. Dröge)

EKC