

Extern veiligheidsrapport

Leiding Grijpskerk - Wieringermeer
Compressorstation Grijpskerk

Door
G.R. Kuik
R. van Elteren

Afdeling
Gasunie Engineering and Technology Transport
Rapport
Extern veiligheidsrapport

Gereed
1 augustus 2005

Document
Risicoanalyse GWWL + CS Grijpskerk.doc

Datum, versie
1 augustus 2005, 1.0

Ons kenmerk
DET 05.0628

Status
Definitief

Samenvatting

Tussen Grijpskerk en Wieringermeer wordt binnen afzienbare tijd gestart met het aanleggen van een hoge druk aardgastransportleiding. De nieuw aan te leggen aardgastransportleiding zal starten in het bestaande reduceer- en injectiestation Grijpskerk. Ter verdere vergroting van de capaciteit is in de nabijheid van Grijpskerk een compressorstation gepland.

In het kader van een milieu effect rapportage is een risicostudie van het beoogde leidingtracé en het uit te breiden station nabij Grijpskerk vereist, die enerzijds ingaat op het risico voor de omgeving en anderzijds op het risico van activiteiten in de omgeving op de leiding of het station. In dit rapport wordt naast een veiligheidsanalyse op basis van het plaatsgebonden risico en groepsrisico ingegaan op de zoneringrichtlijn voor aardgastransportleidingen zoals die door de overheid is opgesteld. Tevens zijn een aantal alternatieven ten aanzien van de ligging van het tracé beschouwd.

De risicostudie in dit rapport is conform de in opdracht van de Nederlandse overheid opgestelde richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyses uitgevoerd met PIPESAFE en FRED. PIPESAFE is een door de Nederlandse overheid goedgekeurd softwarepakket voor risicoberekeningen aan hoge druk aardgastransportleidingen. Het software programma FRED is ontwikkeld en gevalideerd door Shell Global Solutions en omvat het modelleren van effecten als warmtestraling, explosie en dispersie.

Uit de berekeningen en analyses kan het volgende worden geconcludeerd:

Zowel met betrekking tot de A-652 als de A-653 voldoet de voorziene ligging aan de huidige regelgeving met betrekking tot zonering.

Met betrekking tot het plaatsgebonden risico (PR) voldoet het voorziene ontwerp van beide leidingen aan de door de Nederlandse overheid gestelde norm van $PR < 10^{-6}$ per jaar. Voor de installatie nabij Grijpskerk blijkt dat de 10^{-6} per jaar plaatsgebonden risicocontour binnen het hekwerk van de installatie ligt, waarmee de installatie tevens aan de norm voor plaatsgebonden risico voldoet.

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 met N of meer slachtoffers. Ook het groepsrisico van de installatie nabij Grijpskerk blijft onder de door de Nederlandse overheid gestelde oriënterende waarde voor installaties van $F \cdot N^2 < 10^{-3}$ per jaar.

Voor de omkasting van de compressoren is een explosieberekening uitgevoerd. De effecten van de overdruk blijven binnen het hekwerk van de installatie. Omdat de kans op een explosie kleiner is dan 10^{-8} per jaar, dragen explosies niet significant bij aan het externe risico van locatie Grijpskerk.

Op basis van een kwalitatieve beschouwing van de mogelijke alternatieven met betrekking tot de leidingligging kan worden geconcludeerd dat de huidige ligging de voorkeur geniet.

Inhoud

1 INLEIDING	5
2 RISICOANALYSE.....	6
2.1 Algemeen.....	6
2.2 Toetsingscriteria en regelgeving	7
2.2.1 Ondergrondse aardgastransportleidingen	7
2.2.2 Installaties	8
3 UITGANGSPUNTEN RISICOBEREKENINGEN	9
3.1 Atmosferische condities.....	9
3.2 Leiding tussen Grijpskerk en Wieringermeer.....	9
3.3 Installatie nabij Grijpskerk.....	10
3.4 Aardgassamenstelling	12
3.5 Bevolkingsgegevens	12
3.5.1 Uitbreiding Scharnegoutum.....	13
3.5.2 Uitbreiding Workum.....	15
3.5.3 Uitbreiding Medemblik.....	16
4 FAALSCENARIO'S EN FAALOORZAKEN	17
4.1 Leidingtracé	17
4.1.1 Faaloorzaken	17
4.1.2 Ondergrondse aardgastransportleiding	17
4.2 Installatie nabij Grijpskerk.....	18
4.2.1 Faaloorzaken.....	18
4.2.2 Ondergrondse leidingcomponenten	19
4.2.3 Bovengrondse leidingcomponenten	19
4.2.4 Gasophoping in afgesloten ruimte.....	20
5 EFFECTBEREKENINGEN	21
5.1 Uitstroom.....	21
5.1.1 Leidingtracé	21
5.1.2 Installatie nabij Grijpskerk.....	22
5.2 Warmtestraling	22
5.3 Effect van warmtestraling	23
6 RISICOBEREKENINGEN	24
6.1 Plaatsgebonden risico	24
6.2 Groepsrisico	24
7 RESULTATEN	26
7.1 Toetsing leidingtracé aan huidige zonering	26
7.1.1 A-652.....	26
7.1.2 A-653.....	28
7.2 Plaatsgebonden risico	30
7.2.1 Leidingtracé	30
7.2.2 Installatie nabij Grijpskerk.....	30
7.3 Groepsrisico	32

7.3.1 Leidingtracé	32
7.3.2 Installatie nabij Grijskerk.....	34
7.4 Effectberekeningen bij een explosie in de omkasting van een compressor.....	35
8 KWALITATIEVE BESCHOUWING ALTERNATIEVEN	36
8.1 Alternatief 1 nabij Earnewoude.....	36
8.2 Alternatief 2 nabij Workum	37
8.3 Alternatief 3 nabij Hindeloopen.....	38
9 CONCLUSIES	39
10 REFERENTIES	40
BIJLAGE A LEIDINGSPECIFICATIES LOCATIE GRIJPSKERK.....	41
A1 Reduceerstation	41
A2 Compressorstation.....	45
BIJLAGE B FAALFREQUENTIES	48
B1 Schade door derden.....	48
B2 Andere faaloorzaken	51
B3 Referenties.....	52

1 INLEIDING

Tussen Grijpskerk en Wieringermeer wordt binnen afzienbare tijd gestart met het aanleggen van een hoge druk aardgastransportleiding. Deze aanleg is nodig om de leveringszekerheid van gas in West Nederland te kunnen garanderen. Daarnaast versterkt de leiding de grensoverschrijdende energienetwerken. De leidingaanleg behelst twee fasen: tussen Grijpskerk en Workum wordt een 48" leiding (A-652) gelegd over een afstand van ongeveer 80 kilometer en tussen Workum en Wieringermeer wordt een ongeveer 30 kilometer lange, eveneens 48", leiding (A-653, de zogenaamde IJsselmeerleiding) voorzien. Beide leidingen zullen op maximaal 80 bar druk worden bedreven. De nieuw aan te leggen aardgastransportleiding zal starten in het bestaande reduceer- en injectiestation Grijpskerk. Dit reduceerstation ligt ten noorden van Grijpskerk, aan de zuidzijde van de ondergrondse gasopslaglocatie van de NAM. Ter verdere vergroting van de capaciteit is in de nabijheid van Grijpskerk een compressorstation gepland. De operationele druk van deze installatie is 80 bar.

In het kader van een milieu effect rapportage is een risicostudie van het beoogde leidingtracé en het uit te breiden station nabij Grijpskerk vereist, die enerzijds ingaat op het risico voor de omgeving en anderzijds op het risico van activiteiten in de omgeving op de leiding of het station. In dit rapport wordt naast een veiligheidsanalyse op basis van het plaatsgebonden risico en groepsrisico [1, 2] ingegaan op de zoneringrichtlijn voor aardgastransportleidingen [3] zoals die door de overheid is opgesteld.

De risicostudie in dit rapport is conform de in opdracht van de Nederlandse overheid opgestelde richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyses [4] uitgevoerd met PIPESAFE [5, 6] en FRED. 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 [7]. In het jaar 2000 heeft het ministerie van VROM besloten om Gasunie toestemming te verlenen risicoberekeningen met betrekking tot aardgastransport uit te voeren met PIPESAFE, voor zover dit conform CPR-18E plaatsvindt [8]. Het software programma FRED (Fire Release Explosion Dispersion) is ontwikkeld en gevalideerd door Shell Global Solutions en is gebruikt om de effecten ten gevolge van explosie te kwantificeren.

2 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 op basis van geldende regelgeving acceptabel zijn.

2.1 Algemeen

In het algemeen bestaat een risicoanalyse uit de volgende te ondernemen stappen:

1. *Verzamelen van gegevens.* Hierbij is het niet alleen van belang dat het leidingtracé en het station goed wordt beschreven, maar ook dat de omgeving van het tracé en het station op een gedegen manier in kaart wordt gebracht.
2. *Bepaling van mogelijke faalscenario's.* Met betrekking tot de te bestuderen componenten gaat het hierbij om het falen van gasvoerende 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 [4], 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 inrichting, transportroute of een buisleiding gedurende 24 uur onafgebroken zou verblijven, overlijdt als rechtstreeks gevolg van een ongewoon voorval binnen die inrichting, op die transportroute of 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 inrichting, een transportroute of een buisleiding en een ongewoon voorval binnen die inrichting, op die transportroute of met die buisleiding, waarbij een gevaarlijke stof betrokken is, uitgezet in een 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 vastgestelde 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.

2.2 Toetsingscriteria en regelgeving

Om te bepalen of de berekende risico's acceptabel zijn, wordt getoetst aan de normen die in een drietal documenten door de overheid zijn vastgelegd, zijnde de handreiking externe veiligheid vervoer gevaarlijke stoffen behorende bij de Nota Risiconormering Vervoer Gevaarlijke Stoffen [1], het Besluit externe veiligheid inrichtingen [2] en de circulaire VROM [3].

2.2.1 Ondergrondse aardgastransportleidingen

De circulaire bevat bebouwingsafstanden¹ die afhankelijk zijn van leidingdiameter, operationele druk en aard der bebouwing. Voor een 48" leiding met een operationele druk tussen 50 en 80 bar geldt een bebouwingsafstand van 50 meter indien er sprake is van een gebied waar relatief veel personen aanwezig zijn (gebiedsklasse 3 en 4). In dunbevolkte gebieden wordt de bebouwingsafstand gereduceerd tot 5 meter (gebiedsklasse 1 en 2).

Meer specifiek refereren gebiedsklasse 1 en 2 aan gebieden met geen of incidentele bebouwing, dan wel gebieden met bijzondere objecten uit categorie II (sporthal, zwembad, weidewinkel en relatief kleine hotels, kantoorgebouwen of industriegebouwen). Gebiedsklasse 3 of 4 wordt toegekend aan gebieden met woonwijken, flatgebouwen, scholen, ziekenhuizen en grote hotels of kantoorgebouwen. Voor een exacte beschrijving van de gebiedsklasse indeling wordt verwezen [3]. 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 48" leiding op 80 bar geldt een toetsingsafstand van 150 meter.

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.)

In het geval de bebouwingsafstand niet kan worden gerealiseerd wegens knelpuntsituaties ten gevolge van de aard van de bebouwing, kan de afstand worden gehalveerd (zie [3]). Echter, in zo'n geval moet de constructiefactor met 0.1 worden verlaagd en moet een risicobeperkende maatregel worden genomen, bestaand uit één van de volgende:

- 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 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. In deze handreiking

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.

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

wordt overigens opgemerkt dat met betrekking tot aardgastransport door buisleidingen de zoneringafstanden uit de circulaire [3] voor ruimtelijke ordening dezelfde betekenis hebben als de 10^{-6} per jaar plaatsgebonden risico afstand. Strikt genomen hoeft er dus voor aardgastransport door buisleidingen geen plaatsgebonden risicoberekening te worden uitgevoerd. Ondanks deze opmerking en ter ondersteuning van het waarborgen van de externe veiligheid is in deze studie echter, naast de toetsing aan de zoneringafstanden, tevens een plaatsgebonden risicoberekening uitgevoerd.

Voor het groepsrisico van ondergrondse gastransportleidingen is een oriënterende waarde gesteld van $F \cdot N^2 < 10^{-2} \text{ km}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$, waarbij F de frequentie is met N of meer 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.

2.2.2 Installaties

In 2004 is het Besluit externe veiligheid inrichtingen [2] van kracht geworden. Dit besluit schrijft voor dat de veiligheidszonering om een installatie gelijk is aan de $10^{-6} \text{ jaar}^{-1}$ plaatsgebonden risicocontour. Deze contour dient te worden vastgesteld conform CPR-18E [4]. Hiermee komt de zoneringregeling uit de NEN 1059 [9] in feite te vervallen.

Daarnaast is in het besluit opgenomen "de thans in het beleid inzake externe veiligheid gehanteerde waarde voor het groepsrisico als buitenwettelijke oriëntatiewaarde te handhaven". Hoewel het dus niet wettelijk verplicht wordt om een groepsrisicoberekening uit te voeren, is het station, als aanvulling op de plaatsgebonden risicoberekeningen, tevens getoetst aan de oriënterende waarde voor groepsrisico voor installaties, zijnde $F \cdot N^2 < 10^{-3}$ per jaar waarin F de frequentie is met N of meer slachtoffers.

3 UITGANGSPUNTEN RISICOBEREKENINGEN

3.1 Atmosferische condities

De belangrijkste atmosferische condities die van toepassing zijn bij de risicoberekeningen zijn overgenomen uit de richtlijnen [4] en opgenomen in Tabel 1. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de verdeling van de windsnelheden en de bijbehorende kans van optreden (inclusief de windroos) gelijk genomen is aan de in [4] gerapporteerde waarden voor Leeuwarden voor de A-652 en voor Den Helder voor de A-653. Voor het station nabij Grijpskerk is de windroos van Eelde gehanteerd in de risicoberekeningen.

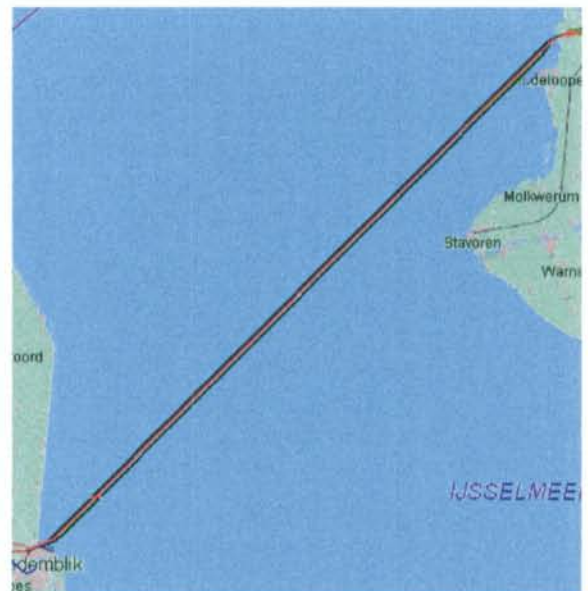
Tabel 1 Atmosferische condities zoals opgenomen in CPR-18E.

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

3.2 Leiding tussen Grijpskerk en Wieringermeer

Het gedeelte van het leidingtracé dat in het IJsselmeer ligt, is buiten beschouwing gelaten in de risicostudie. De reden hiervoor is enerzijds dat er geen bebouwing is waartegen de zonering kan worden getoetst. Anderzijds is de frequentie van falen in combinatie met de aanwezigheid van personen die blootgesteld worden aan warmtestraling ten gevolge van eventueel falen nihil. Derhalve wordt in het rapport daar waar van toepassing onderscheid gemaakt tussen het gedeelte van de A-653 vanaf Workum tot aan het IJsselmeer en het gedeelte van de A-653 vanaf het IJsselmeer tot aan Wieringermeer.

De voor de berekening van belang zijnde leidingparameters, tezamen met de waarde van deze parameters, zijn samengevat in Tabel 2. In deze tabel wordt onderscheid gemaakt tussen de leiding tussen Grijpskerk en Workum (A-652), de leiding tussen Workum en het IJsselmeer en de leiding vanaf het IJsselmeer tot aan Wieringermeer.



Tabel 2 Leidingparameters die gebruikt zijn in de risicoberekeningen.

Parameter	A-652	A-653 Workum- IJsselmeer	A-653 IJsselmeer- Wieringermeer
Diameter [inch]	48	48	48
Wanddikte [mm]	17.5	18.7	22.7
Staalsoort [-]	X70	X70	X70
Constructiefactor [-]	0.57	0.55	0.45
Ontwerpdruk [barg]	80	80	80
Minimale dekking [m]	1.20	1.20	1.20
Kerftaaiheid [J]	40	40	40

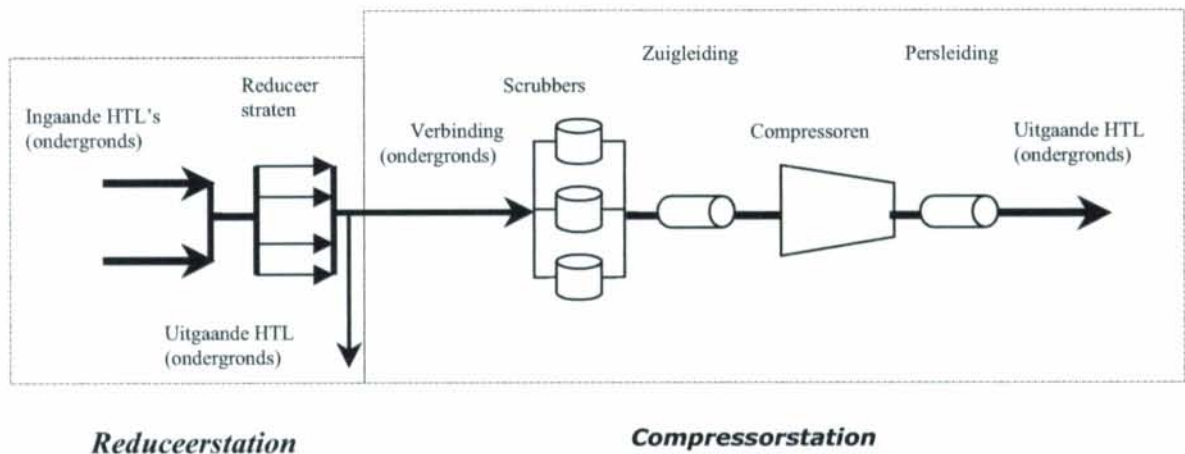
3.3 Installatie nabij Grijpskerk

De installatie nabij Grijpskerk zal in de toekomst bestaan uit een reduceerstation en een compressorstation. Het reduceerstation zorgt ervoor dat het gewonnen gas op een juiste druk het hoofdtransportnet binnenkomt. Het compressorstation zorgt ervoor dat de druk in het hoofdtransportnet op niveau blijft.

Het reduceerstation Grijpskerk wordt gevoed door acht ondergrondse hoge druk aardgastransportleidingen. Het compressorstation wordt gevoed door de vanaf het reduceerstation afkomstige A-652. Het gas wordt van deze leiding afgetakt en over de aanwezige scrubbers gevoerd. Deze scrubbers verwijderen eventueel aanwezige vocht- en vuildeeltjes uit het aardgas. Vervolgens stroomt het gas naar de lage druk (zuig)leiding, vanwaar het wordt aangezogen door de inlaat van de compressor. Aan de perszijde verlaat het gas de compressor en komt terecht in de hoge druk (pers)leiding. Het op druk gebrachte gas wordt teruggevoerd naar het uitgaande deel van de A-652. In Figuur 1 is een schematisch overzicht gegeven van de genoemde componenten.

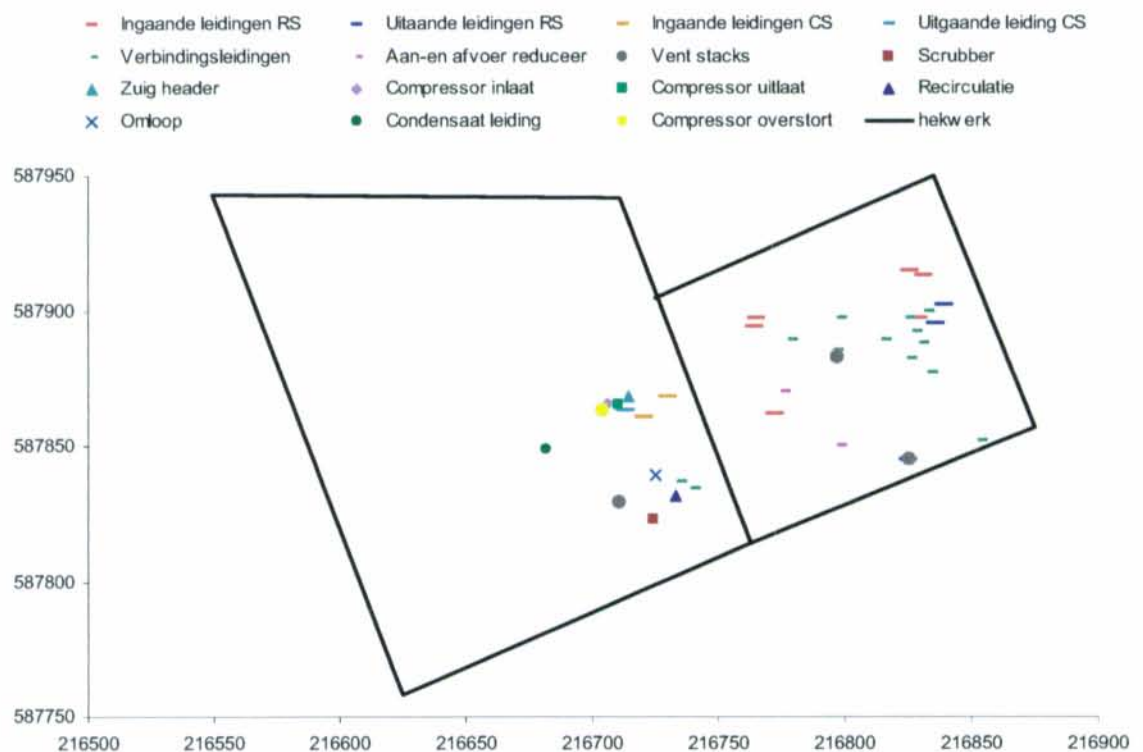
In de berekeningen zijn alleen componenten van de installatie meegenomen die significant bijdragen aan het risico. De op het compressorstation geplande condensaattank is in dit opzicht buiten beschouwing gelaten. Condensaattanks zijn deels ondergronds en liggen in een betonnen omkasting. Bij laden en lossen van de kleine hoeveelheden condensaat, kunnen er geen effecten optreden die buiten de installatie tot risico leiden. De componenten zoals die zijn meegenomen in de risicostudie staan gedetailleerd vermeld in Bijlage A. Naast de rijksdriehoek coördinaten van de componenten worden ook parameters als diameter, druk, aardgassamenstelling, wanddikte, metaaltype en lengte in deze bijlage gepresenteerd.

Het zogenaamde domino effect, waarbij het falen van een component leidt tot het falen van één of meerdere andere componenten op het terrein, is uitgesloten.



Figuur 1 Schematische weergave locatie Grijpskerk

Een schematisch overzicht van de ligging van de in de bijlage meegenomen componenten is weergegeven in Figuur 2. In deze figuur staat RS voor reduceerstation en CS voor compressorstation.



Figuur 2 Schematisch overzicht van de componenten op locatie Grijpskerk

3.4 Aardgassamenstelling

In onderstaande tabel staan de fysische eigenschappen van gas van "Groningen" kwaliteit (G-gas), waarmee in de risicostudie is gerekend.

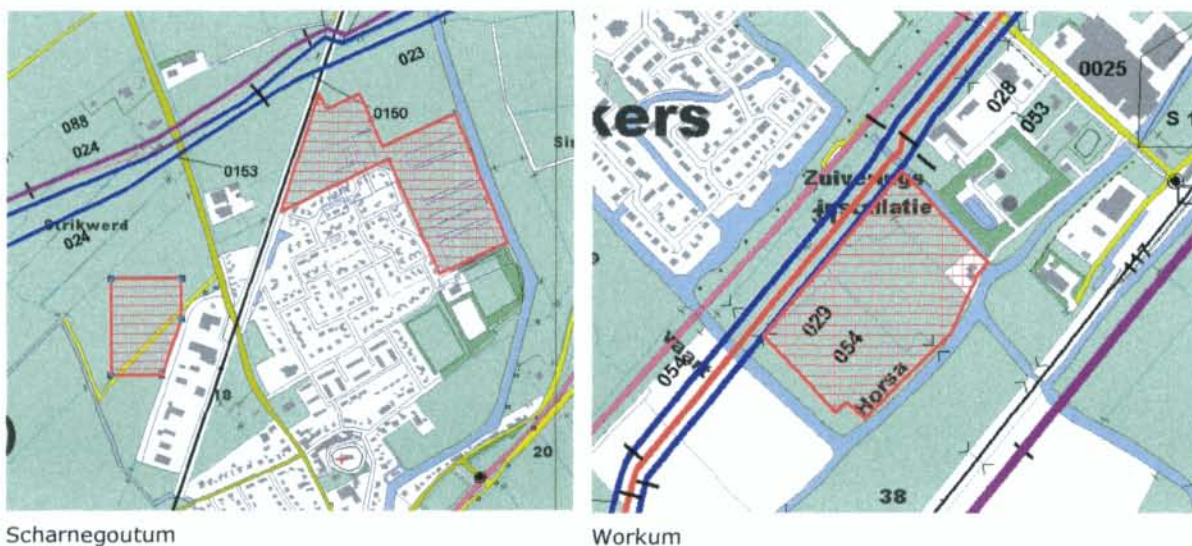
Tabel 3 Fysische eigenschappen G-gas

Naam van het gas	G-gas
Dichtheid, kg/m ³	0.8334
Calorische onderwaarde, MJ/m ³	31.6413
Moleculaire massa, kg/kmol	18.6381
Stoichiometrische concentratie in lucht, mol%	8.4077
Verhouding specifieke warmte	1.31
Kritische temperatuur, K	193.4074
Kritische druk, bar	46.1
Onderste brandbaarheidsgrens, mol%	5.54
Specifieke warmtecapaciteit, J/kg/K	2208

3.5 Bevolkingsgegevens

Bij alle berekeningen waar bevolkingsgegevens worden gebruikt zijn deze gedistilleerd uit de Bridgis database. Deze database deelt Nederland op in vakjes van 25 bij 25 meter, en geeft bij elk vakje het actuele aantal bewoners, werknemers en adressen aan.

Daarnaast is in de berekeningen, daar waar van toepassing, rekening gehouden met de uitbreidingsplannen nabij Scharnegoutum, Workum en Medemblik. Ten noorden van Scharnegoutum is een woonwijk gepland en ten westen van Scharnegoutum een industriegebied. Ten zuidoosten van Workum is tevens een industriegebied (Horsa) gepland. Ten noorden van Medemblik is een woonwijk gepland. In Figuur 3 en Figuur 4 zijn de plannen schematisch (rood gearceerd) weergegeven. De paarse contour geeft de beoogde ligging van de leiding aan.



Figuur 3 Uitbreidingsplannen Scharnegoutum en Workum

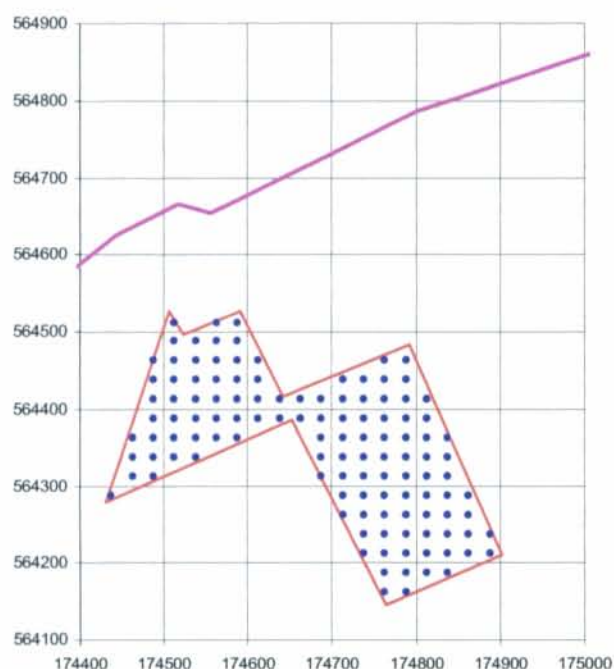


Medemblik

Figuur 4 Uitbreidingsplan Medemblik

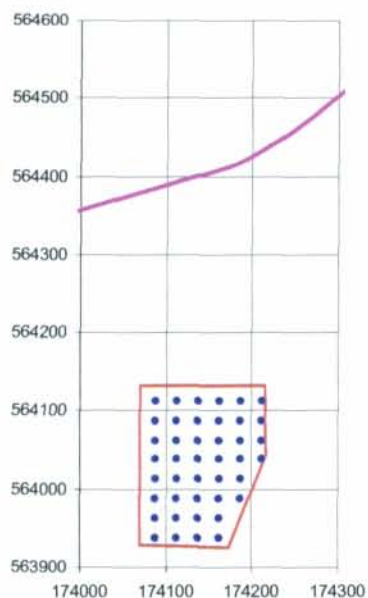
3.5.1 Uitbreiding Scharnegoutum

In de geplande woonwijk ten noorden van Scharnegoutum zijn 100 woningen voorzien. In de richtlijnen voor risicoberekeningen (CPR-18E [4]) is opgenomen dat er gemiddeld 2.4 personen in een woning aanwezig zijn. Dit komt overeen met 240 bewoners. In dit uitbreidingsplan is geen rekening gehouden met werknemers. Aangezien de exacte locatie van de woningen in dit uitbreidingsplan niet bekend is, is aangenomen dat de gegeven aantallen bewoners uniform zijn verdeeld over het betreffende gebied. Schematisch is deze verdeling, tezamen met het beoogde tracé, weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5 Uitbreidingsplan woonwijk Scharnegoutum

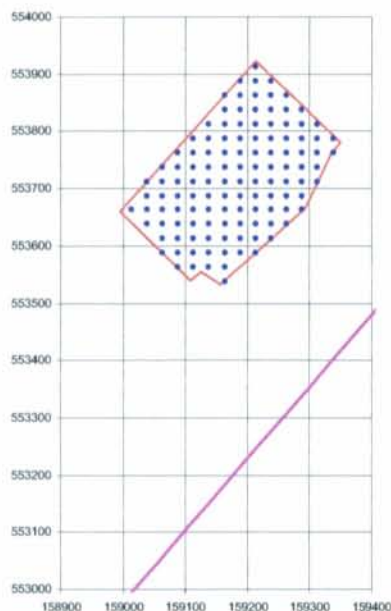
Navraag bij de gemeente Wymbritseradiel leerde dat op het moment van schrijven niet bekend is welk type bedrijven zich zullen vestigen in het toekomstige industriegebied ten westen van Scharnegoutum. Daarmee is tevens onduidelijk hoeveel bewoners dan wel werknemers er in dit gebied te verwachten zijn. Om toch een redelijke schatting van het te verwachten aantal personen in dit gebied te geven is gekeken naar een tweetal industriegebieden nabij Scharnegoutum: het bestaande industriegebied tussen het uitbreidingsplan en de spoorlijn en het bestaande industriegebied ten zuiden van Scharnegoutum langs de rivier de Zwette (zie de geel omkaderde gebieden in de figuur hiernaast; de licht getinte vierkanten zijn gebiedjes van 100 bij 100 meter met daarin aangegeven het aantal bewoners³ en het aantal werknemers gescheiden door een schuine streep). Het blijkt dat gemiddeld over deze gebieden er 4.7 mensen per hectare wonen en 9.3 mensen per hectare werken. Deze getallen zijn tevens representatief geacht voor het industrie-uitbreidingsplan. Aangezien de exacte locatie van bebouwing in dit uitbreidingsplan niet bekend is, is aangenomen dat de gegeven aantallen bewoners en werknemers uniform zijn verdeeld over het betreffende gebied. Deze verdeling is, tezamen met het beoogde tracé, schematisch weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6 Uitbreidingsplan industrie Scharnegoutum

³ Bewoners kunnen in dit geval ook geïnterpreteerd worden als werkplekken die 24 uur per dag aanwezigheid vereisen, zoals bijvoorbeeld bewaking.

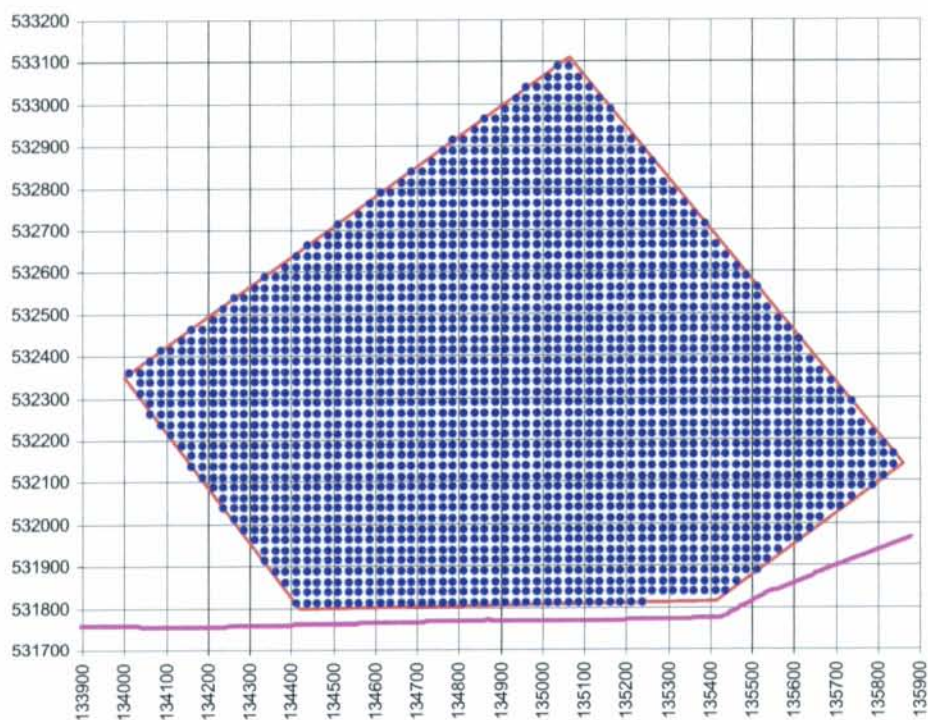
Navraag bij de gemeente Nyefurd leerde dat op het moment van schrijven niet bekend is welk type bedrijven zich zullen vestigen in het uitbreidingsplan Horsa. Daarmee is tevens onduidelijk hoeveel bewoners dan wel werknemers er in dit gebied te verwachten zijn. Om een redelijke schatting van het te verwachten aantal personen in dit gebied te geven is - evenals bij het industrie uitbreidingsplan nabij Scharnegoutum - gekeken naar de omliggende industriegebieden: het gebied met daarin de zuiveringsinstallatie en de zuivelfabriek en het gebied rond de jachthaven (zie de geel omkaderde gebieden in de

[illegible]

⁴ Bewoners kunnen in dit geval ook geïnterpreteerd worden als werkplekken die 24 uur per dag aanwezigheid vereisen, zoals bijvoorbeeld bewaking.

3.5.3 Uitbreiding Medemblik

In de geplande woonwijk ten noorden van Medemblik zijn 1500 woningen voorzien. In de richtlijnen voor risicoberekeningen (CPR-18E [4]) is opgenomen dat er gemiddeld 2.4 personen in een woning aanwezig zijn. Dit komt overeen met 3600 bewoners. In dit uitbreidingsplan is geen rekening gehouden met werknemers. Aangezien de exacte locatie van de woningen in dit uitbreidingsplan niet bekend is, is aangenomen dat de gegeven aantallen bewoners uniform zijn verdeeld over het betreffende gebied. Schematisch is deze verdeling, tezamen met het beoogde tracé, weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8 Uitbreidingsplan woonwijk Medemblik

4 FAALSCENARIO'S EN FAALLOORZAKEN

De risicoberekeningen zijn uitgevoerd conform CPR-18E [4]. 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. Voor lekken in bovengrondse leidingcomponenten op een installatie spreekt dit zogenaamde Paarse Boek over een gat met een diameter van 10% van de leidingdiameter met een maximum van 50 mm.

4.1 Leidingtracé

4.1.1 Faaloorzaken

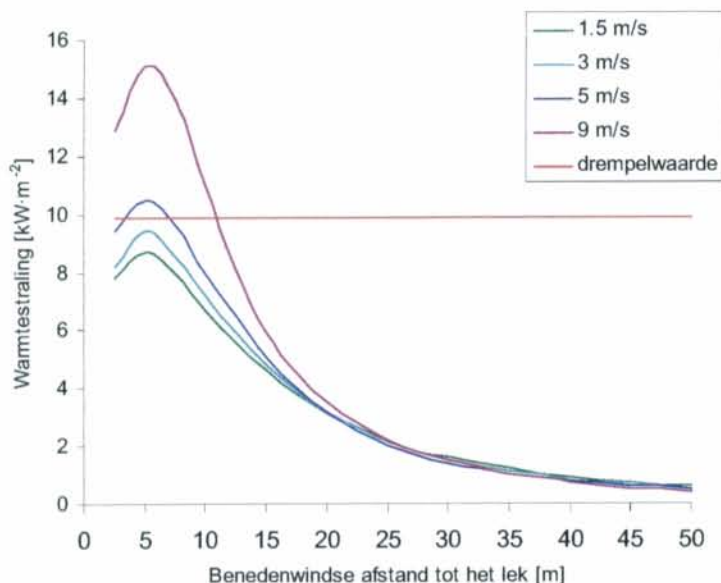
Uit zowel Gasunie als internationale data omtrent leidingbeschadigingen en leidingincidenten blijkt dat schade door derden (external interference) de primaire faaloorzaak is voor ondergrondse gastransportleidingen. Echter in het algemeen is ook corrosie een faaloorzaak, evenals materiaal- en constructiefouten, vermoeiing, SCC⁵ en aardverschuivingen. 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. Daarnaast worden de leidingen voor aanleg hydrostatisch beproefd, zodat de kans op constructie- en materiaalfouten nihil kan worden geacht.

Aangezien het een nieuw aan te leggen tracé betreft zijn de corrosie faalfrequenties ook buiten beschouwing gelaten. Echter, om enig gevoel te krijgen voor de bijdrage van corrosie in de totale faalfrequentie (met zowel schade door derden als corrosie als faaloorzaak) is deze bijdrage voor dezelfde leidingen berekend na 10 jaar in bedrijf te zijn. De bijdrage van corrosie blijft dan ruimschoots onder 1% (orde 10^{-11} per km per jaar ten opzichte van orde 10^{-6} per km per jaar). Derhalve is in de faalfrequentie berekeningen alleen rekening gehouden met schade door derden als faaloorzaak. Voor meer details omtrent de faalfrequentie berekeningen wordt verwezen naar Bijlage B.

4.1.2 Ondergrondse aardgastransportleiding

Zoals reeds aangegeven dient een lek in een ondergrondse gastransportleiding gemodelleerd te worden als een rond gat met een diameter van 20 mm. 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. De laatste conclusie geldt ook voor het warmtestralingsprofiel. Ter illustratie zijn in Figuur 9 de benedenwindse warmtestralingsprofielen weergegeven voor een lek van 20 mm behorend bij de in [4] 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 9 Benedenwindse warmtestralingprofielen bij een lek van 20 mm 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 m/s en 3 m/s de drempelwaarde van $9.84 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ niet overschrijden⁶. De warmtestraling behorend bij 5 m/s en 9 m/s blijft vanaf een afstand van ongeveer 10 meter van het lek onder de in [4] gespecificeerde drempelwaarde. Het 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.

4.2 Installatie nabij Grijpskerk

4.2.1 Faaloorzaken

Het terrein van de locatie Grijpskerk is afgesloten met een hekwerk, zodat derden (zonder opdracht van Gasunie of in bijzijn van Gasunie personeel) geen toegang hebben tot het terrein waar de installatie is opgesteld. Het is derhalve zeer onwaarschijnlijk dat derden die geen toegang tot het terrein hebben de op het terrein aanwezige leidingen zullen beschadigen. Wanneer er werkzaamheden op het terrein plaatsvinden (zoals bijvoorbeeld onderhoud) gebeurt dit met inachtneming van door Gasunie opgestelde procedures en eventueel werkvergunningen. Hiermee mag worden geconcludeerd dat external interference als faaloorzaak kan worden uitgesloten.

Met uitsluiting van schade door derden blijft in feite corrosie als faaloorzaak over (die - in tegenstelling tot bij ondergrondse gastransportleidingen - nu niet kan worden verwaarloost). Hierbij wordt opgemerkt dat de voor bovengrondse leidingen gehanteerde corrosie faalfrequenties als conservatief kunnen worden beschouwd omdat falen van bovengrondse leidingen ten gevolge van corrosie nihil wordt geacht door goed en preventief onderhoud.

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.

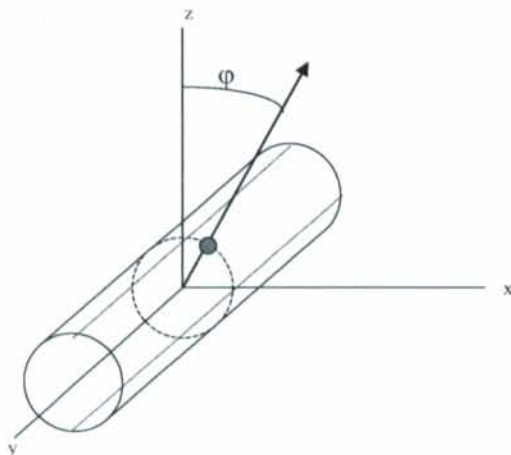
Indien van toepassing zijn de faalfrequenties geëxtraheerd uit een door de overheid geaccepteerd rapport [10]. Indien de frequenties niet rechtstreeks uit dit rapport kunnen worden overgenomen zijn ze op vergelijkbare wijze als in dit rapport bepaald met PIPESAFE.

4.2.2 Ondergrondse leidingcomponenten

In het faalscenario van de ondergrondse leidingcomponenten op de installatie is veelal uitgegaan van tweezijdige uitstroming. Lekken in ondergrondse leidingcomponenten zijn (met dezelfde reden als beschreven in sectie 4.1.2) buiten beschouwing gelaten.

4.2.3 Bovengrondse leidingcomponenten

Lekken in bovengrondse leidingen dienen volgens [4] gemodelleerd te worden als een rond gat met een diameter van 10% van de leidingdiameter met een maximum van 50 mm. Het is echter evident dat bij een lek in een bovengrondse leiding de uitstroomrichting een belangrijke rol speelt. In feite varieert deze uitstroomrichting in de omtreksrichting van de leiding (zie ook Figuur 10, waarin de uitstroomhoek met de positieve z-as, φ , variabel is).



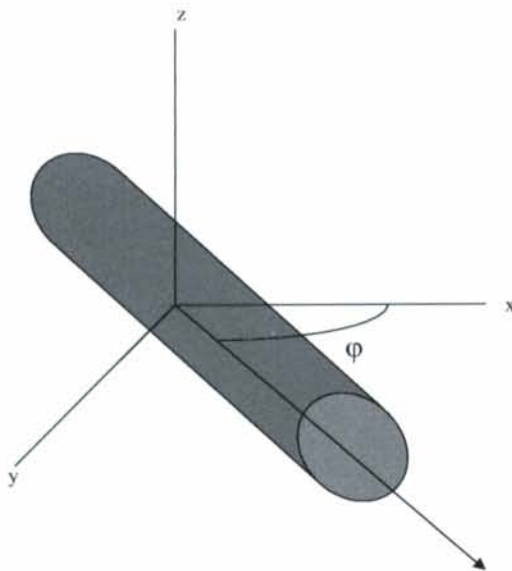
Figuur 10 Schematische weergave leidinglek in bovengrondse leiding

Daarmee is het tevens duidelijk dat bij een lek in een bovengrondse leiding horizontale uitstroming kan optreden (in dat geval heeft φ de waarde $\pi/2$ of $3\pi/2$). De bij ontsteking optredende horizontale vlam kan dan buiten het hekwerk van de installatie komen, zodat lekken in bovengrondse leidingen niet a-priori kunnen worden genegeerd. Lekken in bovengrondse leidingen in de open lucht kunnen derhalve significant bijdragen aan het risico en zijn om die reden meegenomen in de risicoanalyse. Uit conservatief oogpunt is hierbij alleen uitgegaan van horizontale uitstroming, waarbij de uitstroomrichting in het horizontale vlak is gevarieerd in twaalf richtingen met elk een gelijke kans van optreden.

Bij het falen van bovengrondse leidingen als breuk moet rekening worden gehouden met een eventueel aanwezig zijnde terugslagklep in het systeem wat al dan niet resulteert in eenzijdige uitstroming⁷. In dit scenario is, evenals bij lekken in bovengrondse leidingen,

⁷ In normale situaties zal bij een leidingbreuk tweezijdige uitstroming plaatsvinden: het gas stroomt uit beide leidinguiteinden uit de leiding. Echter, wanneer de breuk plaatsvindt aan het linker of rechter uiteinde van de leiding of wanneer er terugslagkleppen aanwezig zijn in een leidingsysteem, bestaat de mogelijkheid van eenzijdige uitstroming: het gas stroomt uit slechts één leidinguiteinde. Eenzijdige uitstroming is een scenario dat met name van toepassing is op installaties.

uitgegaan van twaalf verschillende uitstroomrichtingen in het horizontale vlak, op een hoogte van 1 meter boven het grondvlak. Het wordt aangenomen dat in elk van de twaalf richtingen er sprake is van horizontaal gerichte uitstroom (hetgeen als een worst case scenario kan worden gezien). Een en ander is schematisch weergegeven in Figuur 11. De uitstroomhoek met de positieve x-as, in de figuur aangeduid met φ , is gelijk genomen aan $2k\pi/12$, met $k = 0, 1, 2, \dots, 11$. De verdeling van uitstroomrichtingen wordt verondersteld uniform te zijn: elk van de twaalf uitstroomrichtingen heeft een gelijke kans van optreden.



Figuur 11 Schematische weergave leidingbreuk in bovengrondse leiding

4.2.4 Gasophoping in afgesloten ruimte

Op de installatie zijn compressor omkastingen aanwezig waarbinnen zich gasleidingen bevinden. Bij het ontsnappen van gas ten gevolge van een lek of breuk in zo'n leiding kan zich gas ophopen in een afgesloten ruimte, waarbij zich de kans op een explosie voordoet. Deze kans omvat de kans dat er een lek of een breuk optreedt, de kans dat detectieapparatuur faalt en de kans op een ontstekingsbron in de omkasting. Hoewel op basis van een kwalitatieve beschouwing de kans op een explosie verwaarloosbaar klein wordt geacht⁸, zijn de effecten ten gevolge van een explosie in dit rapport gekwantificeerd.

⁸ Op compressorstation Grijpskerk zijn 3 compressoren gepland. Binnen de omkastingen ligt in totaal ongeveer 20 meter 42" leiding. De kans op een lek of breuk van deze leidingsegmenten ligt in de orde van 10^{-8} per jaar. Naast het falen van de leiding bestaat de kans op een explosie tevens uit het falen van detectieapparatuur dat in de omkastingen aanwezig is en de kans op een ontstekingsbron. De laatste is erg klein aangezien alle componenten explosie veilig zijn uitgevoerd en eventueel uit te voeren werkzaamheden op de installatie onder strenge procedures en werkvoorschriften plaatsvindt.

5 EFFECTBEREKENINGEN

Indien in een leiding een lek of breuk optreedt zal dit direct resulteren in uitstroom van gas. Het vrijkomende debiet hangt sterk af van de diameter van de leiding en van de heersende druk en met name bij installaties ook van de plaats van de component op de installatie. Omdat aardgas niet toxisch is, is het vrijkomen van aardgas op zich geen probleem. Echter, overdruk en warmtestraling bij ontsteking van een gas-lucht mengsel kunnen letale gevolgen hebben. De overdrukberekeningen zijn uitgevoerd met het softwarepakket FRED, terwijl de uitstroom- en warmtestralingberekeningen zijn uitgevoerd met PIPESAFE.

5.1 Uitstroom

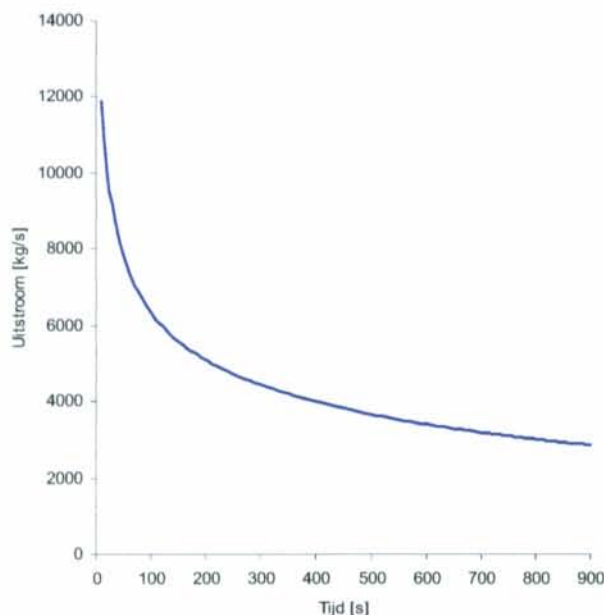
Voor de uitstroomberekeningen zijn de uitstroommodules PBREAK en BRAM uit PIPESAFE gebruikt. PBREAK is met name geschikt voor uitstroomberekeningen aan ondergrondse aardgastransportleidingen, terwijl BRAM (een module die door Gasunie is ontwikkeld) geschikt is voor het doorrekenen van netwerken.

5.1.1 Leidingtracé

In PBREAK is een breuk in een ondergrondse gastransportleiding gemodelleerd als:

$$\text{-----}\infty\text{-----R-----}\infty\text{-----},$$

waarbij $\text{-----}\infty\text{-----}$ staat voor een oneindig lange leiding en R voor een breuk (rupture). 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 48" leiding op 80 bar is weergegeven in Figuur 12.



Figuur 12 Tijdsafhankelijk uitstroomprofiel 48" leiding op 80 bar

Conform CPR-18E [4] en in aansluiting op [10] is in de risicoberekeningen uitgegaan van een blootstellingduur van 20 seconden en over deze periode een tijdsgemiddelde (en dus constante) uitstroom. Voor de 48" leiding opererend op een druk van 80 bar is deze

tijdsgemiddelde uitstroom gelijk aan ruim $12500 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ (voor een lek van 20 mm is de uitstroom nog geen $4 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$).

5.1.2 Installatie nabij Grijpskerk

In BRAM is de installatie nabij Grijpskerk gemodelleerd om de uitstroom uit de verschillende componenten te bepalen. Hierbij is rekening gehouden met de diameter, druk, wanddikte, wandruwheid en lengte van de leidingsegmenten. In Tabel 4 is de modellering schematisch weergegeven.

Tabel 4 Schematische modellering van de uitstroom bij de installatie

<i>Ondergronds</i>	<i>Zijdig</i>	<i>Uitstroom</i>	
HTL leidingen	2	Verticaal	-----∞-----R-----∞-----
Verbindingen HTL	1	Verticaal	-----∞-----R
Overige componenten	2	Verticaal	-----∞-----O-----R-----O-----∞-----
Overige componenten	1	Verticaal	-----∞-----O-----R
<i>Bovengronds</i>			
HTL leidingen	2	Horizontaal	-----∞-----R-----∞-----
Verbindingen HTL	1	Horizontaal	-----∞-----R
Overige componenten	2	Horizontaal	-----∞-----O-----R-----O-----∞-----
Overige componenten	1	Horizontaal	-----∞-----O-----R
<i>Legenda</i>			
O	knoop (aansluiting tussen twee leidingsegmenten);		
-----∞-----	staat voor een oneindig lange leiding;		
R	breuk (rupture)		

De resultaten van de uitstroomberekeningen zijn als tijdsgemiddelde uitstroom over de eerste 20 seconden opgenomen in Bijlage A.

5.2 Warmtestraling

In de risicoberekeningen is er van uitgegaan dat het uitstromende gas onmiddellijk en met kans 1 ontsteekt en daardoor resulteert 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. Voor de ondergrondse gasleidingen is deze fakkelbrand gemodelleerd met CRISTAL. CRISTAL is een module in PIPESAFE die gebouwd is om de warmtestralingen bij een fakkelbrand van een ondergrondse gastransportleiding te voorspellen, waarbij rekening wordt gehouden met de vorming van een krater en de invloed daarvan.

In sectie 4.2.3 is reeds aangegeven dat bij bovengrondse leidingen een lek of breuk kan resulteren in horizontale uitstroming. Bij ontsteking zullen in dat geval de effectafstanden beduidend groter zijn dan bij verticale uitstroming omdat de lengte van de gevormde vlam zich direct uitstrekt over het terrein. Voor de bovengrondse gasleidingen is met het

PIPESAFE model THRAIN het scenario van een horizontaal gerichte fakkelbrand gemodelleerd.

5.3 Effect van warmtestraling

Schade door warmtestraling wordt conform het zogenaamde Groene Boek [11] bepaald door de 'dosis' die een persoon ontvangt. Gegeven een ruimte- en tijdsafhankelijke straling $Q(x,y,z,t)$, uitgedrukt in $[kW \cdot m^{-2}]$, dan wordt de dosis in het algemeen berekend met de formule

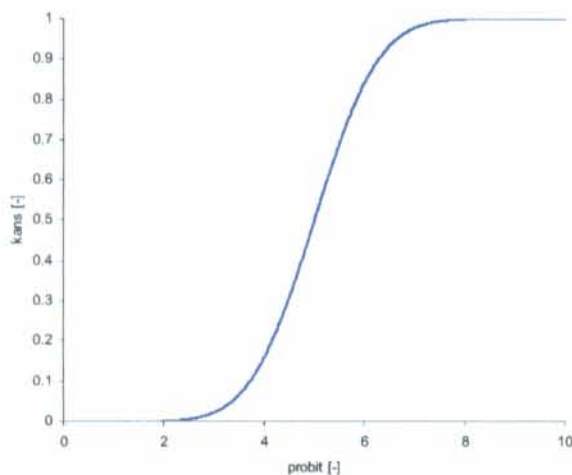
$$Dosis = \int_{T_0}^{T_1} Q(x,y,z,t)^{1,33} dt,$$

waarin T_0 het tijdstip van ontsteking is en $T_1 - T_0$ de blootstellingduur. In dit specifieke geval, waarin de tijdsvariabele uit de warmtestraling is geïntegreerd en gerekend wordt met onmiddellijke ontsteking ($T_0 = 0$) en 20 seconden blootstelling ($T_1 = 20$), reduceert de formule voor de dosis tot $Dosis = Q(x,y,z)^{1,33} \cdot 20$.

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 13).



Figuur 13 Kans op overlijden als functie van de probit

6 RISICOBEREKENINGEN

Zowel het plaatsgebonden risico (PR) als het groepsrisico (GR) zijn berekend volgens de methodologie in CPR-18E. 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. In de berekeningen is uitgegaan van de conservatieve aanname van onmiddellijke ontsteking met kans 1.

6.1 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 de consequentie 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 3.2, waarbij de interactielengte van de leiding bepaald is conform CPR-18E (risicoberekeningen dienen te worden uitgevoerd tot op 1% letaliteit).

Voor de installatie bestaat het plaatsgebonden risico op een gegeven coördinaat uit het gesommeerde plaatsgebonden risico van elk van de componenten op de installatie die een significante bijdrage aan het risico leveren. Per component is rekening gehouden met het corresponderende scenario: verticale of horizontale uitstroming, eenzijdige of tweezijdige uitstroming, lek of breuk.

6.2 Groepsrisico

In [4] 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 met kans 1. 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 5.3). Bovendien worden deze personen beschermd door het dragen van kleding, resulterend in een reductiefactor 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). 's Nachts wordt verondersteld dat er geen werknemers aanwezig zijn.

Het groepsrisico voor een installatie wordt gepresenteerd in de vorm van een FN-curve. Zo'n FN-curve is in feite een grafiek met op de horizontale as het aantal dodelijke slachtoffers en op de verticale as de cumulatieve kansen per jaar op tenminste dat aantal slachtoffers. Voor het groepsrisico op installaties geldt de oriënterende waarde van $F\cdot N^2 < 10^{-3}$ per jaar.

Echter, voor leidingen worden FN-curves bepaald voor segmenten van 1 kilometer lengte, en het probleem hierbij is dat segment te vinden dat aanleiding geeft tot de worst case FN-curve. Met de methodiek van het *relatieve groepsrisico* kunnen de "hot spots" met betrekking tot groepsrisico voor leidingen echter eenvoudig worden opgespoord: indien voor een geselecteerde kilometer leiding de oriënterende waarde van het groepsrisico wordt overschreden, zal de relatieve groepsrisico score ergens op die kilometer de gestelde

grenswaarde van 0.01 overschrijden. Met andere woorden: indien op een aaneengesloten stuk leiding van tenminste 1 kilometer de relatieve groepsrisico score onder de grenswaarde van 0.01 blijft, is het zeker dat op dat segment er geen overschrijding van de oriënterende waarde voor groepsrisico optreedt. Van de uit de screening overgebleven hot spots kunnen vervolgens FN-curves worden gemaakt.

De methodiek van het relatieve groepsrisico wordt in detail en meer algemeen beschreven in [12] en kan als volgt worden samengevat: per leidingcoördinaat wordt de relatieve groepsrisico score bepaald met de formule

$$\text{Relatieve GR} = \max(FN_{dag}^2, FN_{nacht}^2),$$

waarin F de faalfrequentie (uitgedrukt per km per jaar) is behorend bij de parameterwaarden van de betreffende coördinaat en waarin N_{dag} en N_{nacht} het aantal slachtoffers per dag en per nacht is bij een breuk ter plekke van de betreffende coördinaat. (In de berekening van de relatieve groepsrisico score wordt er van uitgegaan dat de warmtestralingcontouren cirkelvormig zijn. Aangezien dit in werkelijkheid niet het geval is, is in de analyse per warmtestralingniveau met de maximale afstand gerekend uit de verzameling van benedenwindse afstanden behorend bij de in CPR-18E gespecificeerde windsnelheden van 1.5 m/s, 3 m/s, 5 m/s en 9 m/s.)

7 RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd van de verschillende uitgevoerde berekeningen en analyses. In de presentatie van de resultaten wordt onderscheid gemaakt tussen de A-652 (de 48" leiding tussen Grijpskerk en Workum), het gedeelte van de A-653 tot aan het IJsselmeer, het gedeelte van de A-653 vanaf het IJsselmeer tot aan Wieringermeer en de installatie nabij Grijpskerk.

Zoals reeds eerder aangegeven wordt het gedeelte van het leidingtracé dat in het IJsselmeer ligt buiten beschouwing gelaten. In de presentatie van de resultaten met betrekking tot de installatie Grijpskerk zijn het reduceerstation en het compressorstation beschouwd als één locatie waarvoor als geheel berekeningen zijn uitgevoerd.

7.1 Toetsing leidingtracé aan huidige zonering

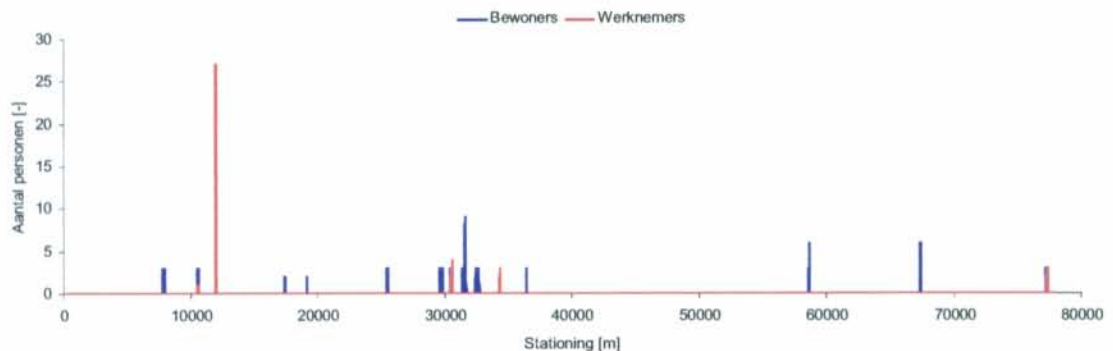
De omgeving van het leidingtracé is in eerste instantie getoetst op gebiedsklasse. Op basis van een kwalitatieve beschouwing van de fotokaarten van het tracé en de omgeving kan worden geconcludeerd dat het merendeel van het gebied binnen de toetsingsafstand van 150 meter kan worden ingedeeld in de klassen 1 en 2. Volgens de circulaire [3] kan in dit geval worden volstaan met B-pijp (constructiefactor 0.65). Echter zo'n 12 kilometer leiding van de A-652 moet minimaal met constructiefactor 0.55 worden uitgevoerd als ook het gedeelte van de A-653 vanaf het IJsselmeer dat langs Medemblik loopt. De reden hiervoor is gelegen in het feit dat of het omliggende gebied ingedeeld wordt in gebiedsklasse 3 (leiding loopt langs een woonwijk of een recreatieterrein) of het betreft een kruising (al dan niet in combinatie met een horizontale boring). Het gehele tracé van zowel de A-652 als de A-653 is zo ontworpen dat het voldoet aan de ontwerpeisen zoals die zijn opgenomen in de circulaire.

Daarnaast is de omgeving van het tracé getoetst aan de in de circulaire opgenomen bebouwingsafstand van 50 meter (de bebouwingsafstand behorend bij een 48" leiding met een operationele druk tussen 50 en 80 bar in gebieden die zijn ingedeeld in de klassen 3 en 4). In het geval dat er zich bewoning bevindt binnen de genoemde bebouwingsafstand moet het betreffende gebied kunnen worden geclassificeerd als gebiedsklasse 1 of 2 of moet een risicobeperkende maatregel zoals opgenomen in sectie 2.2.1 zijn toegepast.

7.1.1 A-652

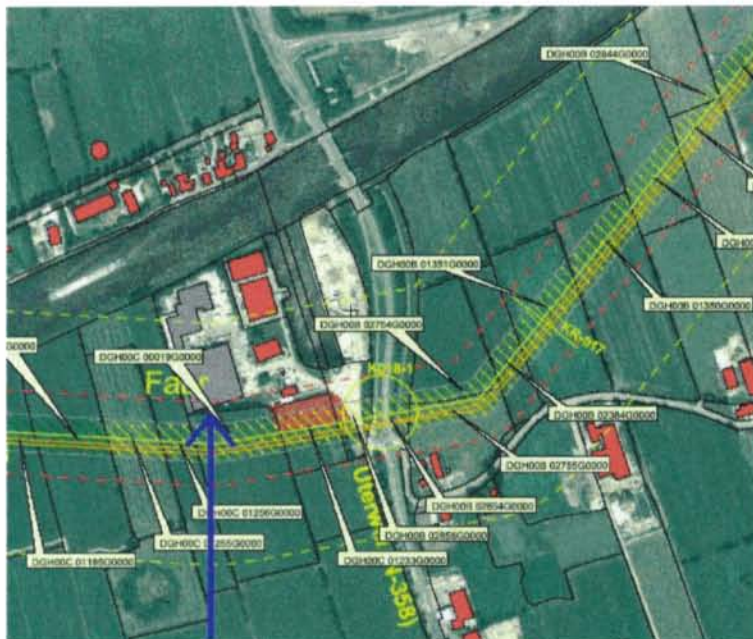
Met betrekking tot de A-652 bevindt zich in de omgeving van bepaalde leidingsegmenten bebouwing binnen een strook van 50 meter. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 14. Hierin wordt per geanalyseerde leidingcoördinaat het aantal bewoners en het aantal werknemers binnen een cirkel met een straal van 50 meter gepresenteerd⁹.

⁹ Bij elke leidingcoördinaat is bepaald wat de afstand is tussen deze coördinaat en de centrumcoördinaten van elk van de vakjes met bewoningsgegevens. Voor elk van de vakjes waarbij de afstand tussen de centrumcoördinaten en de leidingcoördinaat kleiner of gelijk is aan de bebouwingsafstand, worden de corresponderende aantallen bewoners en werknemers gesommeerd. Op deze manier worden de knelpunten met betrekking tot bebouwingsafstanden opgespoord, mits de lengte tussen opeenvolgende leidingcoördinaten niet te groot is. In de uitgevoerde analyses is een maximum afstand tussen opeenvolgende leidingcoördinaten van 10 meter gehanteerd.



Figuur 14 Per geanalyseerde leidingcoördinaat van de A-652 het aantal bewoners en werknemers binnen een cirkel met als straal de bebouwingsafstand behorend bij gebiedsklasse 3 en 4 (50 meter).

Opvallend in bovenstaande figuur is de piek van 27 werknemers nabij de (Rijksdriehoek-) coördinaten (207450, 582370). De omgeving is schematisch weergegeven in Figuur 15.



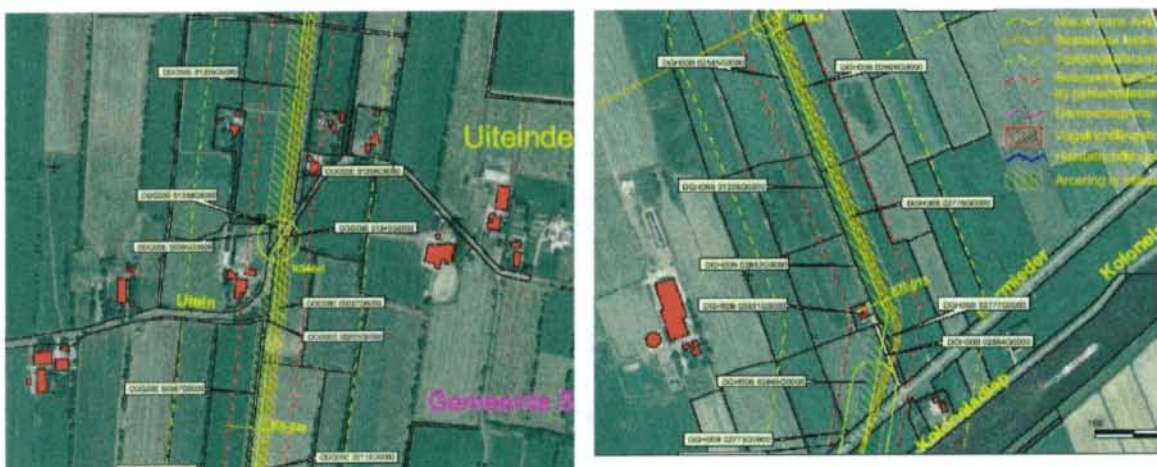
Figuur 15 Bebouwing nabij Augustinusga

De situatie in het verleden was dat hier één fabriek stond. In Figuur 15 wordt de betreffende fabriek aangewezen met de blauwe pijl. Echter, uit nader onderzoek blijkt dat er momenteel in deze omgeving een viertal bedrijfjes gehuisvest zijn, namelijk een steen- en grindhandel, een kleinschalig tuincentrum, een overslag van zand en/of grind en mogelijk een kunstmestoverslag. De arcering in de figuur geeft aan dat hier nog een bouwblok gaat ontstaan voor één vrijstaande woning tot op minimaal 5 meter van de nieuw aan te leggen leiding.

Het is twijfelachtig of het betreffende gebied kan worden geclassificeerd als een gebied met gebiedsklasse 1 of 2 (het betreft een clustering van bijzondere objecten uit categorie II). Mogelijk valt het gebied in klasse 3 (industriegebied met zwaar of druk verkeer, een aanzienlijk aantal leidingen, buizen, kabels en dergelijke in de buurt, frequent graafwerk in

het gebied) en derhalve zou een bebouwingsafstand van 50 meter gelden. Echter, omdat hier – als uitzondering – een segment is voorzien met constructiefactor 0.45, tezamen met een dekking van minimaal 2 meter en waarschuwingslint als risicobeperkende maatregel, kan in dit geval de bebouwingsafstand van 50 meter worden gehalveerd, zodat dit segment voldoet aan de heersende regelgeving omtrent zonering.

In totaal zijn 26 segmenten op de A-652 geïdentificeerd waar potentieel een overschrijding is van de bebouwingsafstand van 50 meter uit de circulaire (één hiervan is reeds in bovenstaande beschreven). De omgeving van elk van de overige 25 segmenten is tevens in meer detail bestudeerd om na te gaan welke gebiedsklasse het betreft. Volgens de definitie van incidentele bebouwing zoals die is opgenomen in [3] (*"vrijstaande woningen verspreid over een groot gebied en lintbebouwing loodrecht op de leiding"*), kunnen de gebieden rond de overige 25 segmenten allen worden geclassificeerd als incidentele bebouwing en derhalve kan bij de betrokken segmenten een bebouwingsafstand van 5 meter worden gehanteerd. Binnen een strook van 5 meter aan weerszijden van de leiding bevinden zich geen objecten. Een impressie van de omgeving van de 25 segmenten is weergegeven in Figuur 16.



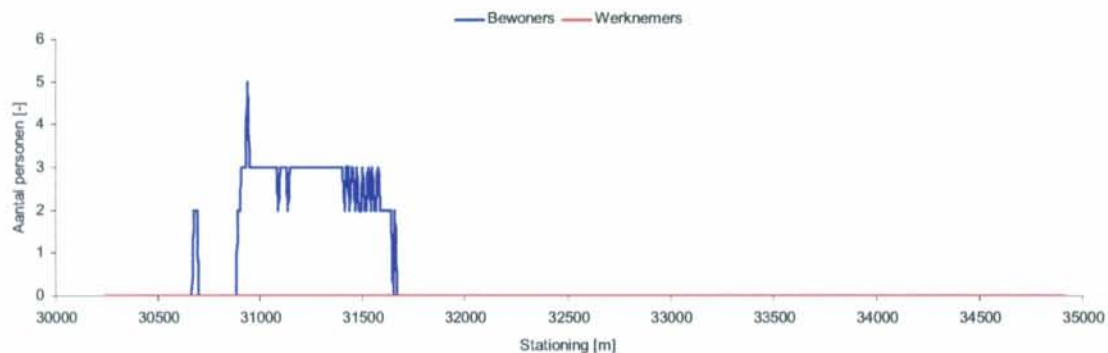
Figuur 16 Impressie van segmenten waarbij een overschrijding is van de bebouwingsafstand behorend bij gebiedsklasse 3 en 4. De gebieden kunnen allemaal worden geclassificeerd als incidentele bebouwing.

Het kan worden geconcludeerd dat de voorgenomen ligging van de A-652 niet strijdig is met de huidige regelgeving omtrent zonering.

7.1.2 A-653

Het beoogde tracé van de A-653 tussen Workum en het IJsselmeer vormt geen knelpunt met betrekking tot een bebouwingsafstand van 50 meter: binnen een strook van 50 meter aan weerszijden van de leiding bevinden zich geen objecten.

De resultaten van de toetsing van de A-653 vanaf het IJsselmeer zijn weergegeven in Figuur 17.



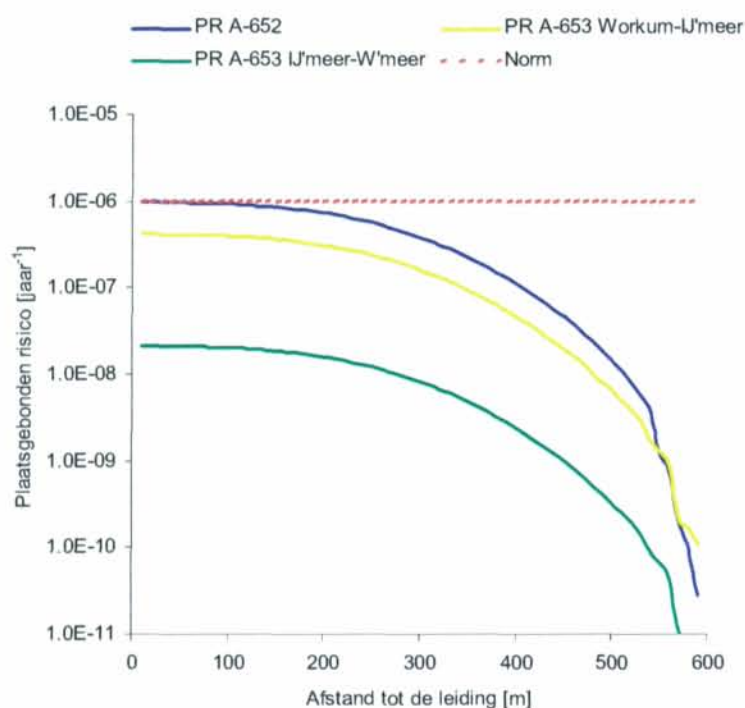
Figuur 17 Per geanalyseerde leidingcoördinaat van de A-653 vanaf het IJsselmeer het aantal bewoners en werknemers binnen een cirkel met als straal de bebouwingsafstand behorend bij gebiedsklasse 3 en 4 (50 meter).

Uit deze analyse kan worden geconcludeerd dat het beoogde tracé niet conflicteert met de zoneringafstanden en de huidige situatie: de knelpunten in Figuur 17 ontstaan bij het uitbreidingsplan. Echter, omdat hier een segment is voorzien met constructiefactor 0.45, tezamen met een dekking van minimaal 2 meter en waarschuwinglint als risicobeperkende maatregel, kan in dit geval de bebouwingsafstand van 50 meter worden gehalveerd. Binnen een strook van 25 meter aan weerszijden van de leiding bevinden zich geen objecten, zodat de ligging van de A-653 eveneens voldoet aan de heersende regelgeving omtrent zonering.

7.2 Plaatsgebonden risico

7.2.1 Leidingtracé

Het plaatsgebonden risico van het leidingtracé is gepresenteerd in Figuur 18.



Figuur 18 PR van de A-652 en beide segmenten van de A-653

Het kan worden geconcludeerd dat voor zowel de A-652 als de A-653 het risico nabij de leiding lager is dan de door de Nederlandse overheid gestelde maximum waarde van 10^{-6} per jaar en daarmee voldoet het voorziene leidingontwerp aan de regelgeving omtrent plaatsgebonden risico.

7.2.2 Installatie nabij Grijpskerk

Het besluit externe veiligheid inrichtingen schrijft voor dat de veiligheidszoner om een installatie gelijk is aan de 10^{-6} jaar⁻¹ plaatsgebonden risicocontour. De resultaten van de plaatsgebonden risicoberekening met betrekking tot de installatie Grijpskerk zijn weergegeven in Figuur 19.



Figuur 19 PR van de installatie nabij Grijpskerk

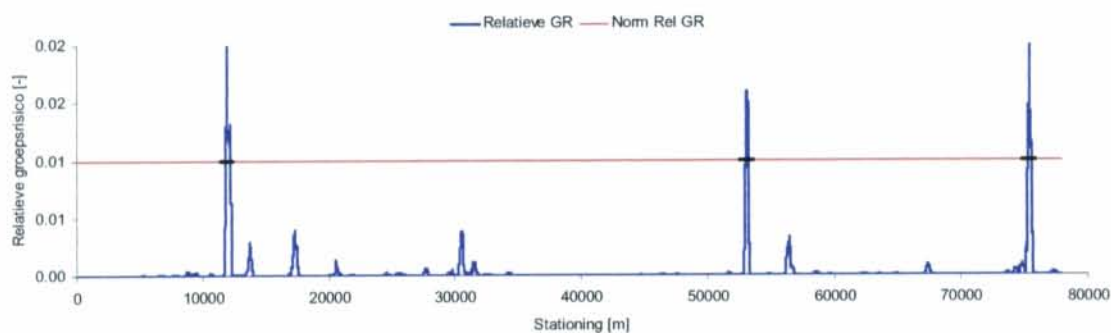
In deze figuur zijn de 10^{-6} (blauw), 10^{-7} (paars) en 10^{-8} (groen) per jaar plaatsgebonden risico contouren getekend. De 10^{-7} contour blijkt ten opzichte van het gewogen centrum van de installatie op een afstand van 350 meter rondom de installatie te liggen en de 10^{-8} contour op een afstand van 600 meter. De linker 10^{-6} contour in Figuur 19 is van het reduceergeedeelte op de locatie en de rechter 10^{-6} contour is van het compressorgeedeelte.

Uit de berekeningen van het plaatsgebonden risico blijkt dat de 10^{-6} per jaar plaatsgebonden risicocontour binnen het hekwerk van locatie Grijpskerk ligt. Hiermee wordt met betrekking tot het plaatsgebonden risico voldaan aan de gestelde norm van $PR < 10^{-6}$ per jaar.

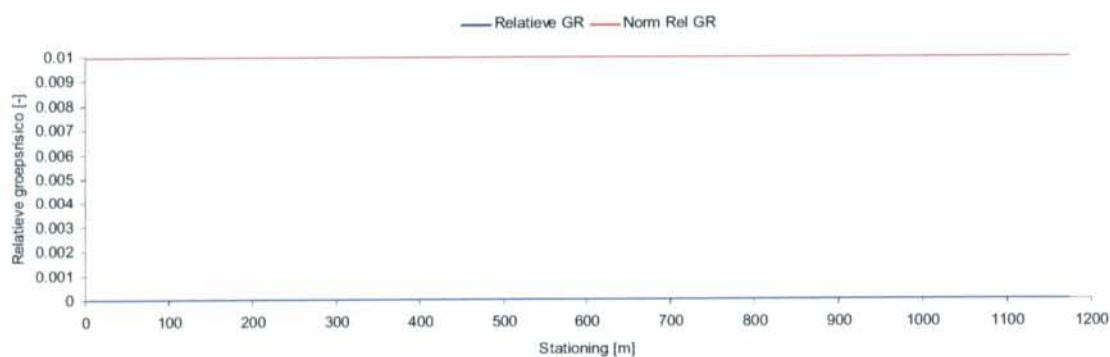
7.3 Groepsrisico

7.3.1 Leidingtracé

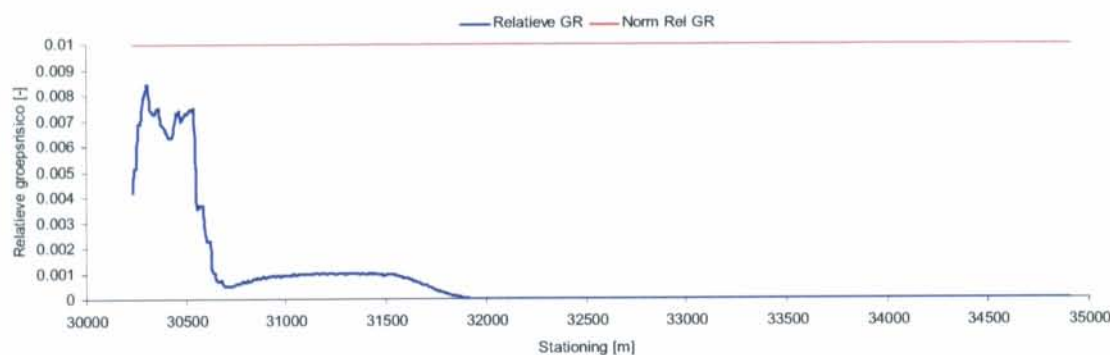
Voor de leidingen wordt in eerste instantie de relatieve groepsrisico ranking gepresenteerd, waarbij wordt opgemerkt dat indien voor een geselecteerde kilometer leiding de oriënterende waarde van het groepsrisico wordt overschreden, de relatieve groepsrisico score ergens op die kilometer de gestelde grenswaarde van 0.01 zal overschrijden.



Figuur 20 Relatieve groepsrisico ranking van de A-652



Figuur 21 Relatieve groepsrisico ranking van de A-653 Workum-IJsselmeer

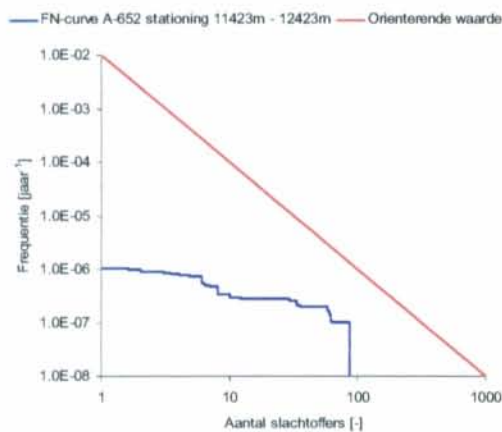


Figuur 22 Relatieve groepsrisico ranking van de A-653 IJsselmeer-Wieringermeer

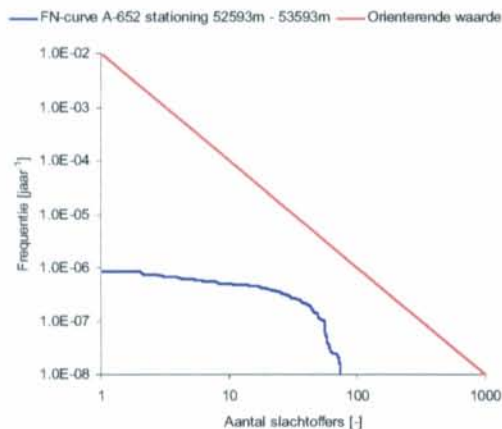
Uit bovenstaande figuren kan worden geconcludeerd dat het beoogde tracé van de A-653 voldoet aan de oriënterende waarde voor groepsrisico, zijnde $F \cdot N^2 < 10^{-2}$ per km per jaar. Aangezien het relatieve groepsrisico van de A-652 op een drietal segmenten de grenswaarde van 0.01 overschrijdt, wordt voor deze drie segmenten een FN-curve gepresenteerd. Het betreft de segmenten:

- stationing 11423m – 12423m; de hoogste relatieve groepsrisico score op dit segment is gelijk aan $2.17 \cdot 10^{-2}$ ter hoogte van stationing 11923m
- stationing 52593m – 53593m; de hoogste relatieve groepsrisico score op dit segment is gelijk aan $1.59 \cdot 10^{-2}$ ter hoogte van stationing 53093m
- stationing 74834m – 75834m; de hoogste relatieve groepsrisico score op dit segment is gelijk aan $2.16 \cdot 10^{-2}$ ter hoogte van stationing 75334m

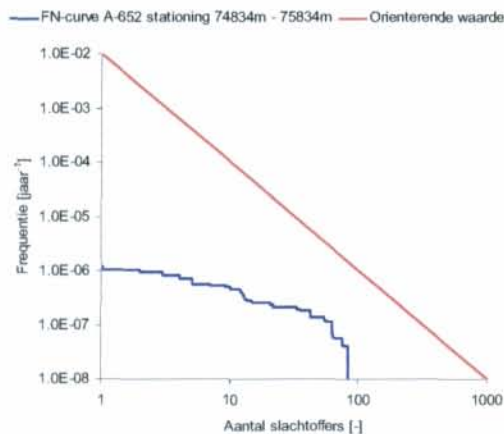
De drie segmenten waarvan een FN-curve wordt gepresenteerd zijn middels zwarte lijnen ter hoogte van de grenswaarde gepresenteerd in Figuur 20. De resultaten van de groepsrisicoberekeningen voor de genoemde segmenten zijn weergegeven in Figuur 23, Figuur 24 en Figuur 25



Figuur 23 FN-curve voor de kilometer leiding van de A-652 rondom stationing 11923m.



Figuur 24 FN-curve voor de kilometer leiding van de A-652 rondom stationing 535093m.

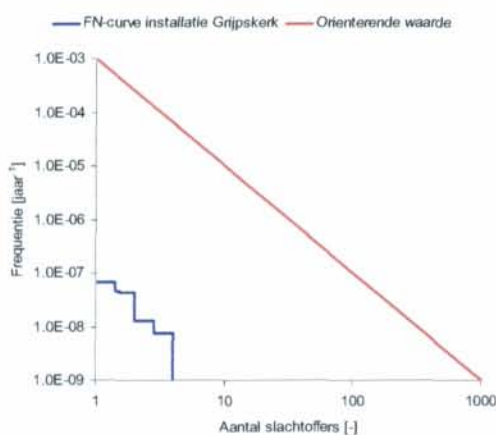


Figuur 25 FN-curve voor de kilometer leiding van de A-652 rondom stationing 75334m.

Uit bovenstaande kan worden geconcludeerd dat voor zowel de A-652 als de A-653 het voorziene ontwerp voldoet aan de door de Nederlandse overheid gestelde oriënterende waarde voor groepsrisico, zijnde $F \cdot N^2 < 10^{-2}$ per km per jaar.

7.3.2 Installatie nabij Grijpskerk

De uitgevoerde berekeningen voor de installatie nabij Grijpskerk tonen aan dat het groepsrisico beneden de door de Nederlandse overheid gestelde oriënterende waarde voor installaties blijft. De FN-curve behorend bij de installatie en de corresponderende oriënterende waarde is weergegeven in Figuur 26.



Figuur 26 FN-curve behorend bij de installatie nabij Grijpskerk

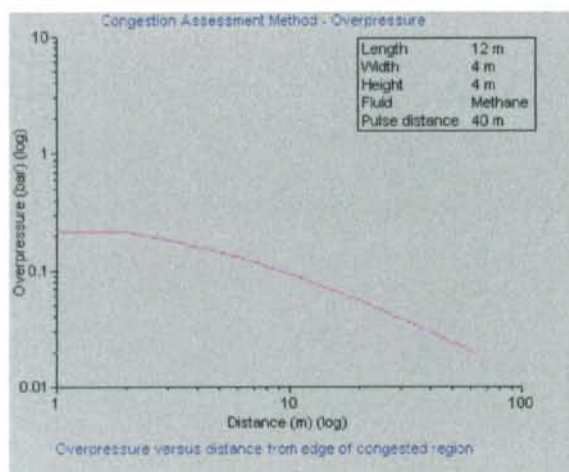
7.4 Effectberekeningen bij een explosie in de omkasting van een compressor

Voor de omkasting van de compressor zijn aan de hand van explosieberekeningen effectafstanden bepaald. De resultaten hiervan zijn samengevat in Tabel 5.

Tabel 5 Resultaten explosieberekening omkasting compressor

Scenario	Overdruk bij scenario [mbar]	Afstand tot scenario [m]
Helft van de ramen breekt	20	62
Rondvliegend glas dat letsel veroorzaakt	50	22
Herstelbare schade aan gebouwen	100	9
Zware/Onherstelbare schade aan gebouwen	340	0

In Figuur 27 is het drukverloop en een aantal invoerparameters weergegeven (voor de omkasting is uitgegaan van een afmeting l x b x h = 12m x 4m x 4m).



Figuur 27 Drukverloop bij explosie in omkasting compressor

Op basis van de berekende afstanden zal een explosie in de omkasting van de compressoren geen gevolgen hebben voor de aanwezige bebouwing in de omgeving van de installatie. De letale effecten van de overdruk blijven binnen het hekwerk van de installatie. Tezamen met de zeer kleine kans van optreden kan het risico van een explosie verwaarloosbaar worden geacht.

8 KWALITATIEVE BESCHOUWING ALTERNATIEVEN

Met name voor de ligging van de leiding zijn een aantal alternatieven mogelijk. In dit hoofdstuk worden de verschillende alternatieven in relatie tot externe veiligheid beschouwd. Op voorhand is er echter vanuit het oogpunt van externe veiligheid geen reden om de ligging te wijzigen aangezien het voorziene ontwerp tezamen met de voorziene ligging aan alle door de Nederlandse overheid gestelde voorwaarden met betrekking tot veiligheid voldoet:

- het ontwerp is conform [3] uitgevoerd;
- de ligging voldoet aan de in [3] opgenomen eisen met betrekking tot bebouwingsafstanden;
- het plaatsgebonden risico, dat conform de in opdracht van de Nederlandse overheid opgestelde richtlijnen [4] is gekwantificeerd, voldoet aan de norm van $PR < 10^{-6}$ per jaar;
- over het gehele tracé zijn geen overschrijdingen van de door de Nederlandse overheid gehanteerde oriënterende waarde voor groepsrisico, zijnde $F \cdot N^2 < 10^{-2} \text{ km}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$, waarin F de frequentie is met N of meer slachtoffers.

8.1 Alternatief 1 nabij Earnewoude

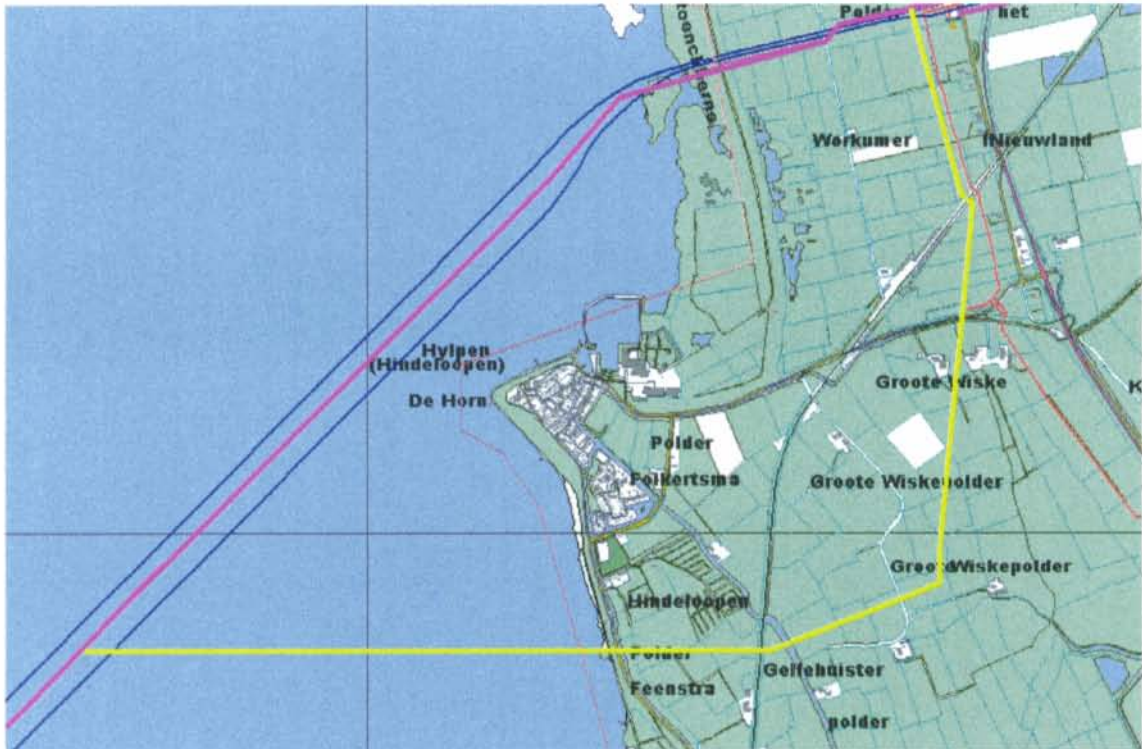
De alternatieve ligging is weergegeven als de gele contour in Figuur 28 met daarin tevens de voorziene ligging weergegeven als de paarse contour. Aangezien de gele contour drie maal lintbebouwing doorkruist geniet vanuit veiligheidsoogpunt de huidige ligging de voorkeur.



Figuur 28 Alternatief 1 (gele contour) tezamen met voorziene ligging (paarse contour)

8.2 Alternatief 2 nabij Workum

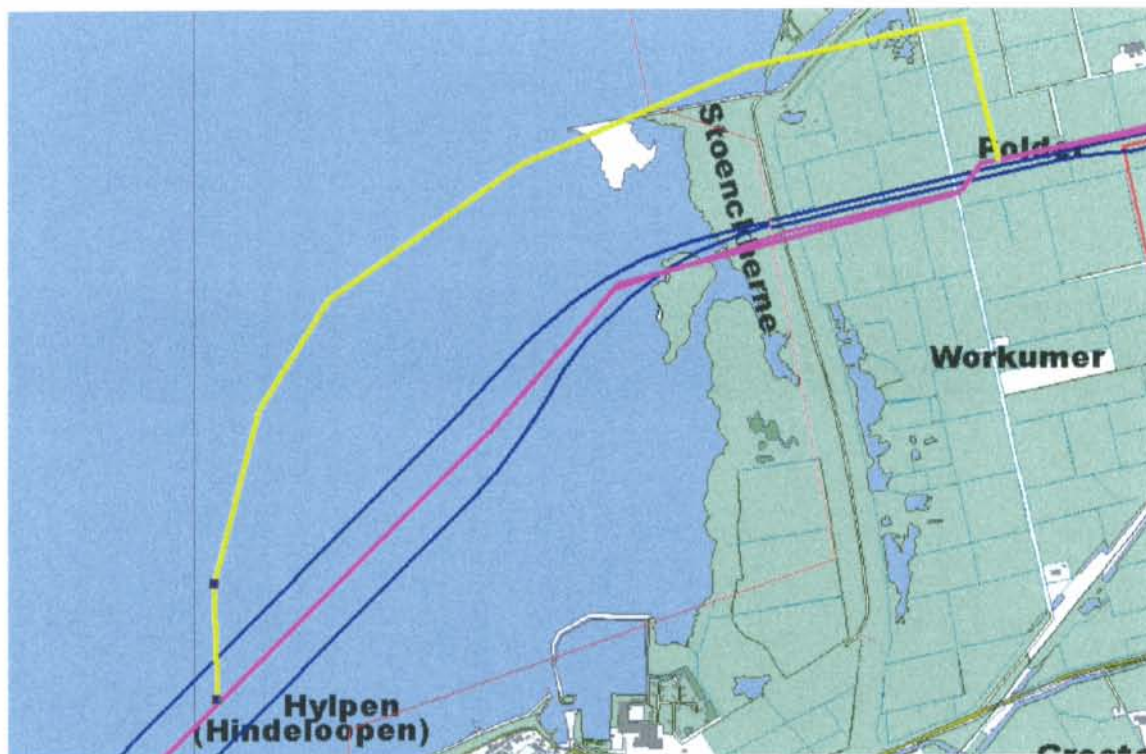
De alternatieve ligging nabij Workum is weergegeven als de gele contour in Figuur 29 met daarin tevens de voorziene ligging weergegeven als de paarse contour. Ook hier gaat de voorkeur uit naar de huidige ligging aangezien deze in het IJsselmeer ligt en daarmee geen effect heeft op de externe veiligheid.



Figuur 29 Alternatief 2 (gele contour) tezamen met voorziene ligging (paarse contour)

8.3 Alternatief 3 nabij Hindeloopen

De alternatieve ligging nabij Hindeloopen is weergegeven als de gele contour in Figuur 30 met daarin tevens de voorziene ligging weergegeven als de paarse contour. Vanuit het oogpunt van veiligheid heeft noch het alternatief noch het voorziene tracé de voorkeur.



Figuur 30 Alternatief 2 (gele contour) tezamen met voorziene ligging (paarse contour)

9 CONCLUSIES

Uit de berekeningen en analyses kan het volgende worden geconcludeerd:

Zowel met betrekking tot de A-652 als de A-653 voldoet de voorziene ligging aan de huidige regelgeving met betrekking tot zonering.

Met betrekking tot het plaatsgebonden risico (PR) voldoet het voorziene ontwerp van beide leidingen aan de door de Nederlandse overheid gestelde norm van $PR < 10^{-6}$ per jaar. Voor de installatie nabij Grijpskerk blijkt dat de 10^{-6} per jaar plaatsgebonden risicocontour binnen het hekwerk van de installatie ligt, waarmee de installatie tevens aan de norm voor plaatsgebonden risico voldoet.

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 met N of meer slachtoffers. Ook het groepsrisico van de installatie nabij Grijpskerk blijft onder de door de Nederlandse overheid gestelde oriënterende waarde voor installaties van $F \cdot N^2 < 10^{-3}$ per jaar.

Voor de omkasting van de compressoren is een explosieberekening uitgevoerd. De effecten van de overdruk blijven binnen het hekwerk van de installatie. Omdat de kans op een explosie kleiner is dan 10^{-8} per jaar, dragen explosies niet significant bij aan het externe risico van locatie Grijpskerk.

Op basis van een kwalitatieve beschouwing van de mogelijke alternatieven met betrekking tot de leidingligging kan worden geconcludeerd dat de huidige ligging de voorkeur geniet.

10 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] Besluit van 27 mei 2004, houdende milieukwaliteitseisen voor externe veiligheid van inrichten milieubeheer (Besluit externe veiligheid inrichten), Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, jaargang 2004, 250.
- [3] Circulaire Zonering langs hoge druk aardgastransportleidingen; ministerie van VROM; 26 november 1984, kenmerk DGMH/B nr. 0104004
- [4] Committee for the Prevention of Disasters, *Guidelines for Quantitative Risk Assessment CPR 18E*, 1999
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 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
- [8] Toepasbaarheid van PIPESAFE voor risicoberekeningen van aardgastransportleidingen, ministerie van VROM, VROM DGM/SVS/2000073018, 10 juli 2000
- [9] NEN 1059, Gasvoorzieningssystemen, Gasdrukregelstations voor transport- en distributie, mei 2003
- [10] Rein Bolt, Robert Kuik, Jeroen Zanting, Eric Jager: *Risicoanalyse Aardgas Transportleidingen*. Rapport RT 03.R.0355
- [11] Committee for the Prevention of Disasters, *Methods for the determination of possible damage CPR 16E*, 1992
- [12] 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.

BIJLAGE A LEIDINGSPECIFICATIES LOCATIE GRIJPSKERK

A1 Reduceerstation

Specificaties ondergrondse leidingcomponenten bij breuk

Specificaties componenten reduceerstation (tweezijdige uitstroom)

Component	L (m)	D (inch)	D (mm)	Binnen D (mm)	Wand (mm)	Metaal soort	Gas	Druk (bar)	Uitstroom (kg·s ⁻¹)	FF (·10 ⁻⁶ km ⁻¹ ·jr ⁻¹)
A-601-08	95	30	762.0	734.4	13.8	X60	H	80	4793	0.584
A-639-01	23	30	762.0	734.4	13.8	X60	H	80	4793	0.584
A-639-02	15	30	762.0	734.4	13.8	X60	H	80	4793	0.584
A-638	60	36	914.0	881.2	16.4	X60	H	80	6112	0.325
A-639	68	48	1219.0	1175.6	21.7	X60	H	80	9595	0.078
A-541	35	42	1067.0	1028.8	19.1	X60	H	80	8915	0.160
A-640-01	73	24	610.0	587.8	11.1	X60	H	80	2272	1.016
A-640	58	42	1067.0	1028.8	19.1	X60	H	80	8930	0.160
A-652 RS	23	48	1219.0	1175.6	21.7	X60	H	80	14024	0.078
Verbinding HTL's 42	70	42	1067.0	1028.8	19.1	X60	H	80	9567	0.160
Verbinding HTL's 30	90	30	762.0	734.4	13.8	X60	H	80	4793	0.584
Verbinding RS met A-652	90	30	762.0	734.4	13.8	X60	H	80	8189	0.584
Verbinding A- 639 op A-652	75	48	1219.0	1175.6	21.7	X60	H	80	14024	0.078
Verbinding A- 601/A-640-01	60	18	457.0	440.4	8.3	X60	H	80	2890	1.730
Verbinding DN300	28	12	323.9	301.9	11.0	Grade B	H	80	962	1.096
Verbinding DN400	15	16	406.4	378.0	14.2	Grade B	H	80	3318	0.744
Verbinding DN450	10	18	457.0	440.4	8.3	X60	H	80	3187	1.730
Verbinding DN750	18	30	762.0	734.4	13.8	X60	H	80	5863	0.584
Verbinding DN900	20	36	914.0	881.2	16.4	X60	H	80	7420	0.325
Verbinding DN300/DN400	35	16	406.4	378.0	14.2	Grade B	H	80	1940	0.744
Aanvoer reduceer	63	30	762.0	734.4	13.8	X60	H	80	4853	0.584
Afvoer reduceer	10	30	762.0	734.4	13.8	X60	H	80	4853	0.584

Coördinaten componenten reduceerstation (tweezijdige uitstroom)

Component	Coördinaten middelpunt component	
	X	Y
A-601-08	216772	587862
A-639-01	216764	587894
A-639-02	216765	587897
A-638	216829	587897
A-639	216836	587895
A-541	216831	587913
A-640-01	216826	587915
A-640	216839	587902
A-652 RS	216825	587845
Verbinding HTL's 42	216796	587885
Verbinding HTL's 30	216797	587897
Verbinding RS met A-652	216778	587889
Verbinding A-639 op A-652	216853	587852
Verbinding A601/A640-01	216815	587889
Verbinding DN300	216830	587888
Verbinding DN400	216832	587900
Verbinding DN450	216824	587897
Verbinding DN750	216825	587882
Verbinding DN900	216827	587892
Verbinding DN300/DN400	216833	587877
Aanvoer reduceer	216797	587850
Afvoer reduceer	216775	587870

Specificaties componenten reduceerstation (eenzijdige uitstroom)

Component	L (m)	D (inch)	D (mm)	Binnen D (mm)	Wand (mm)	Metaal soort	Gas	Druk (bar)	Uitstroom (kg·s ⁻¹)	FF (·10 ⁻⁶ Km ⁻¹ ·jr ⁻¹)
Vent stack 6"	200	6	168.3	0.1557	6.3	Grade B	H	80	67	2.522
Vent stack 16"	33	16	406.4	378.0	14.2	Grade B	H	80	514	0.744

Coördinaten componenten reduceerstation (eenzijdige uitstroom)

Component	Coördinaten middelpunt component	
	X	Y
Vent stack 6"	216797	587883
Vent stack 16"	216826	587845

Specificaties bovengrondse leidingcomponenten bij breuk

Specificaties componenten reduceerstation (tweezijdige uitstroom)

Component	L (m)	D (inch)	D (mm)	Binnen D (mm)	Wand (mm)	Metaal soort	Gas	Druk (bar)	Uitstroom (kg·s ⁻¹)	FF (·10 ⁻⁶ Km ⁻¹ ·jr ⁻¹)
A-601-08	8	30	762.0	734.4	13.8	X60	H	80	4793	0.584
A-541	5	42	1067.0	1028.8	19.1	X60	H	80	8915	0.160
Verbinding HTL's 42	18	42	1067.0	1028.8	19.1	X60	H	80	9567	0.160
Verbinding HTL's 30	8	30	762.0	734.4	13.8	X60	H	80	4793	0.584
Verbinding A601/A640-01	13	18	457.0	440.4	8.3	X60	H	80	2890	1.730
Verbinding DN400	15	16	406.4	378.0	14.2	Grade B	H	80	3318	0.744
Verbinding DN450	8	18	457.0	440.4	8.3	X60	H	80	3187	1.730
Verbinding DN750	5	30	762.0	734.4	13.8	X60	H	80	5863	0.584
Verbinding DN900	18	36	914.0	881.2	16.4	X60	H	80	7420	0.325

Coördinaten componenten reduceerstation (tweezijdige uitstroom)

Component	Coördinaten middelpunt component	
	X	Y
A-601-08	216772	587862
A-541	216831	587913
Verbinding HTL's 42	216796	587885
Verbinding HTL's 30	216824	587897
Verbinding A601/A640-01	216815	587889
Verbinding DN400	216832	587900
Verbinding DN450	216824	587897
Verbinding DN750	216825	587882
Verbinding DN900	216827	587892

Specificaties bovengrondse leidingcomponenten bij lek

Specificaties componenten reduceerstation

Component	L (m)	D (inch)	D (mm)	Lek D (mm)	Wand (mm)	Metaal soort	Gas	Druk (bar)	Uitstroom (kg·s ⁻¹)	FF (·10 ⁻⁶ Km ⁻¹ ·jr ⁻¹)
A-601-08	8	30	762.0	50.0	13.8	X60	H	80	91.4	0.132
A-541	5	42	1067.0	50.0	19.1	X60	H	80	91.4	0.166
Verbinding HTL's 42	18	42	1067.0	50.0	19.1	X60	H	80	91.4	0.166
Verbinding HTL's 30	8	30	762.0	50.0	13.8	X60	H	80	70.8	0.132
Verbinding A601/A640-01	13	18	457.0	45.7	8.3	X60	H	80	76.3	0.001
Verbinding DN400	15	16	406.4	40.6	14.2	Grade B	H	80	60.3	0.001
Verbinding DN450	8	18	457.0	45.7	8.3	X60	H	80	76.3	0.001
Verbinding DN750	5	30	762.0	50.0	13.8	X60	H	80	91.4	0.132
Verbinding DN900	18	36	914.0	50.0	16.4	X60	H	80	91.4	0.178

Coördinaten componenten reduceerstation

Component	Coördinaten middelpunt component	
	X	Y
A-601-08	216772	587862
A-541	216831	587913
Verbinding HTL's 42	216796	587885
Verbinding HTL's 30	216824	587897
Verbinding A601/A640-01	216815	587889
Verbinding DN400	216832	587900
Verbinding DN450	216824	587897
Verbinding DN750	216825	587882
Verbinding DN900	216827	587892

A2 Compressorstation

Specificaties ondergrondse leidingcomponenten bij breuk

Specificaties componenten compressorstation (tweezijdige uitstroom)

Component	L (m)	D (inch)	D (mm)	Binnen D (mm)	Wand (mm)	Metaal soort	Gas	Druk (bar)	Uitstroom (kg·s ⁻¹)	FF (·10 ⁻⁶ km ⁻¹ ·jr ⁻¹)
A-652	146	48	1219.0	1175.6	21.7	X60	H	80	14024	0.078
Station inlaat	25	48	1219.0	1175.6	21.7	X60	H	80	14024	0.078
Zuig header	86	42	1067.0	1028.8	19.1	X60	H	80.0	10369	0.160
Compressor inlaat	40	36	914.0	897.6	16.4	X60	H	80.0	6524	0.325
Compressor uitlaat	40	36	914.0	897.6	16.4	X60	H	80.0	6524	0.325
Station uitlaat	86	48	1219.0	1175.6	21.7	X60	H	80	14024	0.078
Verbinding 1	7	42	1067.0	1028.8	19.1	X60	H	80.0	10369	0.160
Verbinding 2	8	42	1067.0	1028.8	19.1	X60	H	80.0	10369	0.160
Recirculatie	10	36	914.0	897.6	16.4	X60	H	80.0	10076	0.325
Omloop	13	42	1067.0	1028.8	19.1	X60	H	80.0	10369	0.160

Coördinaten componenten compressorstation (tweezijdige uitstroom)

Component	Coördinaten middelpunt component	
	X	Y
A-652	216730	587868
Station inlaat	216720	587861
Zuig header	216714	587868
Compressor inlaat	216706	587866
Compressor uitlaat	216710	587865
Station uitlaat	216713	587863
Verbinding 1	216739	587834
Verbinding 2	216734	587837
Recirculatie	216733	587832
Omloop	216725	587839

Specificaties componenten compressorstation (eenzijdige uitstroom)

Component	L (m)	D (inch)	D (mm)	Binnen D (mm)	Wand (mm)	Metaal soort	Gas	Druk (bar)	Uitstroom (kg·s ⁻¹)	FF (·10 ⁻⁶ km ⁻¹ ·jr ⁻¹)
Ventstacks 4"	360	4	114.3	102.3	6.0	Grade B	H	80.0	26	1.588
Condensaat leiding	80	3	88.9	77.9	5.5	Grade B	H	80.0	14	1.197

Coördinaten componenten compressorstation (eenzijdige uitstroom)

Component	Coördinaten middelpunt component	
	X	Y
Ventstacks 4"	216711	587829
Condensaat leiding	216682	587849

Specificaties bovengrondse leidingcomponenten bij breuk

Specificaties componenten compressorstation (tweezijdige uitstroom)

Component	L (m)	D (inch)	D (mm)	Binnen D (mm)	Wand (mm)	Metaal soort	Gas	Druk (bar)	Uitstroom (kg·s ⁻¹)	FF (·10 ⁻⁶ km ⁻¹ ·jr ⁻¹)
Scrubbers	60	24	610.0	587.8	11.1	X60	H	80.0	7178	1.017
Compressor uitlaat	48	24	610.0	587.8	11.1	X60	H	80.0	4611	1.017
Compressor overstort	32	24	610.0	587.8	11.1	X60	H	80.0	5997	1.017

Coördinaten componenten compressorstation (tweezijdige uitstroom)

Component	Coördinaten middelpunt component	
	X	Y
Scrubbers	216724	587823
Compressor uitlaat	216710	587865
Compressor overstort	216704	587863

Specificaties componenten compressorstation (eenzijdige uitstroom)

Component	L (m)	D (inch)	D (mm)	Binnen D (mm)	Wand (mm)	Metaal soort	Gas	Druk (bar)	Uitstroom (kg·s ⁻¹)	FF (·10 ⁻⁶ km ⁻¹ ·jr ⁻¹)
Compressor inlaat	64	24	610.0	587.8	11.1	X60	H	80.0	3137	1.017

Coördinaten componenten compressorstation (eenzijdige uitstroom)

Component	Coördinaten middelpunt component	
	X	Y
Compressor inlaat	216715	587867

Specificaties bovengrondse leidingcomponenten bij lek

Specificaties componenten compressorstation

Component	L (m)	D (inch)	D (mm)	Lek D (mm)	Wand (mm)	Metaal soort	Gas	Druk (bar)	Uitstroom (kg·s ⁻¹)	FF (·10 ⁻⁶ km ⁻¹ ·jr ⁻¹)
Scrubbers	60	24	610.0	50.0	11.1	X60	H	80.0	91.4	0.001
Compressor uitlaat	48	24	610.0	50.0	11.1	X60	H	80.0	91.4	0.001
Compressor overstort	32	24	610.0	50.0	11.1	X60	H	80.0	91.4	0.001

Coördinaten componenten compressorstation

Component	Coördinaten middelpunt component	
	X	Y
Scrubbers	216724	587823
Compressor uitlaat	216710	587865
Compressor overstort	216704	587863

Specificaties componenten compressorstation

Component	L (m)	D (inch)	D (mm)	Lek D (mm)	Wand (mm)	Metaal soort	Gas	Druk (bar)	Uitstroom (kg·s ⁻¹)	FF (·10 ⁻⁶ km ⁻¹ ·jr ⁻¹)
Compressor inlaat	64	24	610.0	50.0	11.1	X60	H	80.0	45.7	0.001

Coördinaten componenten compressorstation

Component	Coördinaten middelpunt component	
	X	Y
Compressor inlaat	216715	587867

BIJLAGE B FAALFREQUENTIES

B1 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 [B1, B2, B3]. 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 $f(d)$:

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

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 [B2].

Het faalfrequentie model FFREQ gebruikt als input inwendige druk, staalsoort, wanddikte, taatheid 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 [B2] 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_{gouge} , 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 breuk kans 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.

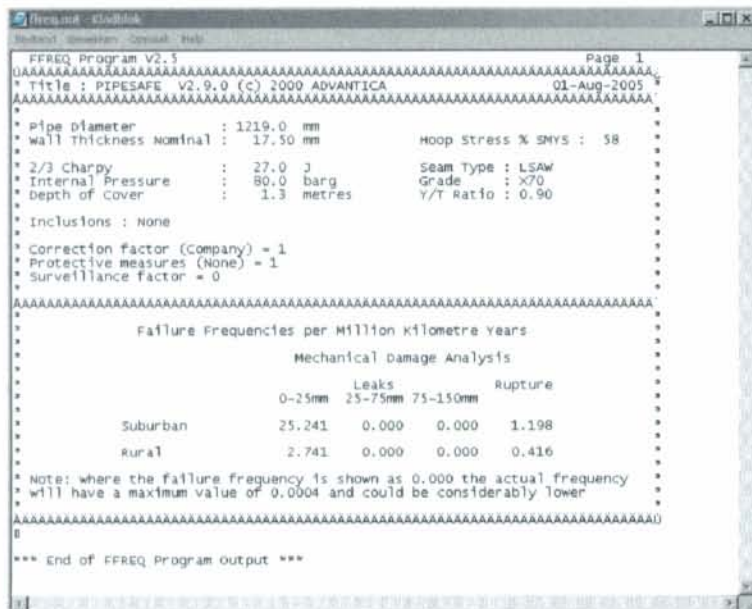
In Tabel B1 is per diameterklasse weergegeven hoe groot het verwachte aantal breuken is op basis van de hoogste faalfrequenties, gebaseerd op de diepteverdeling voor het Gasunie leidingsysteem. Daaraan is toegevoegd de voorspelling op basis van EGIG¹⁰ frequenties als deze worden toegepast op de diameters en lengtes zoals die bij Gasunie voorkomen, zonder correctie voor diepteligging. Dit veronderstelt dat de diepteverdeling in de EGIG bedrijven gelijk is aan die van Gasunie.

Tabel B1 Verwachte aantallen breuken versus waargenomen aantal bij schade door derden als faaloorzaak.

diameterklasse [inch]	verwacht breuk	waargenomen breuk	EGIG breuk
0-4	5.2	3	3.1
6-10	12.7	8	5.0
12-16	3.6	1	1.5
18-22	1.9	0	0.2
24-28	0.9	0	0.1
30-34	0.3	0	0.1
36-40	0.5	0	0.0
42-48	0.4	0	0.0

¹⁰ EGIG (European Gas Pipeline Incident Data Group) bestaat uit een groep van Europese gastransport bedrijven met als doel de veiligheid van gastransportleidingen te demonstreren middels het verzamelen en analyseren van incident data [B4].

Ter illustratie is in Figuur B2 de faalfrequentie output gegeven voor de A-652.



Figuur B2 Faalfrequentie van de A-652 bij een dekking van 1.31 meter

Merk op dat de breukfrequentie (in stedelijke gebieden) in de output file gelijk is aan 1.198 per 10^6 km per jaar bij een dekking van 1.31 meter. Bij een dekking van 1.20 meter is de faalfrequentie derhalve¹¹ gelijk aan

$$1.198 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-2.4(1.20-1.31)} = 1.6 \cdot 10^{-6} \text{ km}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}.$$

B2 Andere faaloorzaken

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.

In Figuur B3 is ter illustratie een gedeelte van de uitvoer van de corrosie faalfrequentie berekeningen voor de A-652 gepresenteerd, nadat deze leiding 10 jaar in bedrijf is.

¹¹ Merk op dat de uit Gasunie data afgeleide formule voor raakfrequentie in relatieve zin wordt gebruikt, met een dekking van 1.31 meter als referentiewaarde.

PROBABILITY OF FAILURE

CUMMULATIVE PROBABILITY

	HOLE AREA 25	HOLE AREA 75	HOLE AREA 150	RUPTURE	PITTING
1	0.68310553-100	0.28979694-101	0.00000000E+00	0.31339773-101	0.00000000E+00
2	0.63817201E-42	0.27073459E-43	0.00000000E+00	0.29278296E-43	0.00000000E+00
3	0.15988418E-25	0.67828387E-27	0.00000000E+00	0.73352268E-27	0.00000000E+00
4	0.46976962E-18	0.19929249E-19	0.00000000E+00	0.21552268E-19	0.00000000E+00
5	0.74884172E-14	0.31768450E-15	0.00000000E+00	0.34355643E-15	0.00000000E+00
6	0.35097433E-11	0.14889542E-12	0.00000000E+00	0.16102133E-12	0.00000000E+00
7	0.24161594E-09	0.10250182E-10	0.00000000E+00	0.11084947E-10	0.00000000E+00
8	0.52569453E-08	0.22301776E-09	0.00000000E+00	0.24118012E-09	0.00000000E+00
9	0.54426542E-07	0.23089618E-08	0.00000000E+00	0.24970014E-08	0.00000000E+00
10	0.34001684E-06	0.14424688E-07	0.00000000E+00	0.15599421E-07	0.00000000E+00

FAILURE FREQUENCY

(FAILURE FREQUENCY=INCIDENT FREQUENCY X CONDITIONAL PROBABILITY)

	HOLE AREA 25	HOLE AREA 75	HOLE AREA 150	RUPTURE
1	0.59897942E-45	0.25410774E-46	0.00000000E+00	0.27480204E-46
2	0.15006508E-28	0.63662786E-30	0.00000000E+00	0.68847423E-30
3	0.44091925E-21	0.18705316E-22	0.00000000E+00	0.20228660E-22
4	0.70280838E-17	0.29815557E-18	0.00000000E+00	0.32243708E-18
5	0.32871680E-14	0.13945301E-15	0.00000000E+00	0.15080993E-15
6	0.22348318E-12	0.94809277E-14	0.00000000E+00	0.10253046E-13
7	0.47073187E-11	0.19970071E-12	0.00000000E+00	0.21596414E-12
8	0.46149904E-10	0.19578382E-11	0.00000000E+00	0.21172827E-11
9	0.26805111E-09	0.11371653E-10	0.00000000E+00	0.12297750E-10
10	0.10742837E-08	0.45574806E-10	0.00000000E+00	0.49286376E-10

Figuur B3 Corrosie output voor de A-652 nadat deze leiding 10 jaar in bedrijf is

In deze uitvoer zien we dat de corrosie faalfrequentie gelijk is aan $4.9 \cdot 10^{-11}$ per km per jaar, hetgeen overeenkomt met $3 \cdot 10^{-3}$ % van de breukfrequentie als gevolg van schade door derden.

B3 Referenties

- [B1] 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
- [B2] 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
- [B3] 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
- [B4] EGIG, 5th EGIG report 1970 – 2001, 2002

Verzendlijst

Archief, TAB (Toxopeus, Stallenberg)

TAT (Jager, Delhez, Keesom)

TOSW (Stratingh)

TOP (Goos)

TOPB (Yska)

DET (Van Agteren, Kutrowski)

EKC

