

Kwantitatieve Risicotoetsing tracé Ommen-Angerlo

Door
M. Gielisse
M.T. Dröge

Afdeling
Gasunie Engineering and Technology, DEI

Rapport
Kwantitatieve Risicotoetsing tracé Ommen-Angerlo

Gereed
28 november 2008

Medewerking (co-auteur)
A. van Vliet (RIVM)

Datum, versie
26 november 2008, versie 3

Ons kenmerk
DEI 2008.R.0825

Status
Definitief

1 Samenvatting

In opdracht van TAM is een risicostudie uitgevoerd voor het zogenaamde Noord-Zuid tracé. Onderdeel van dit tracé is de leiding A-662 waarvan dit rapport de risicostudie betreft. Dit rapport is het vervolg op de 'Kwantitatieve risicotoetsing tracé Ommen-Angerlo, versie 2.0, 29 juli 2008'. Het verschil is gelegen in het feit dat in voorliggend rapport een aantal nieuwbouwplannen zijn gewijzigd. Vanwege deze wijzigingen zijn nieuwe berekeningen voor het groepsrisico uitgevoerd.

De risicostudie in dit rapport is uitgevoerd conform de richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyses met PIPESAFE. PIPESAFE is een softwarepakket voor risicoberekeningen aan hoge druk aardgastransportleidingen, dat door de Nederlandse overheid is goedgekeurd. De berekeningen zijn uitgevoerd conform de rekenmethodologie die met RIVM is overeengekomen en door VROM is geaccepteerd. In de berekeningen is gebruikgemaakt van de bevolkingsdatabase van RIVM, aangevuld met voorlopige bevolkingsaantallen voor de nieuwbouwplannen.

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 (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 (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
4.4.1 Ontwikkelingen gemeente Dalfsen.....	12
4.4.2 Ontwikkelingen gemeente Raalte	13
4.4.3 Ontwikkelingen gemeente Hellendoorn	16
4.4.4 Ontwikkelingen gemeente Rijssen-Holten.....	18
4.4.5 Ontwikkelingen gemeente Deventer	19
4.4.6 Ontwikkelingen gemeente Lochem	20
4.4.7 Ontwikkelingen gemeente Zutphen	21
4.4.8 Ontwikkelingen gemeente Bronckhorst	24
4.4.9 Ontwikkelingen gemeente Zevenaar.....	25
5 Faalscenario's en faaloorzaken	29
5.1 Faaloorzaken	29
5.2 Faalscenario's.....	29
6 Faalfrequentie berekening	31
6.1 Faalfrequentie	31
6.2 Ontstekingskans	31
6.3 Ontstekingstijdstip	31
7 Effectberekeningen	32
7.1 Uitstroom.....	32
7.2 Warmtestraling	33
7.3 Letaliteit	33
8 Risicoberekeningen	35
8.1 Plaatsgebonden risico	35
8.2 Groepsrisico	35
9 Resultaten	37
9.1 Toetsing aan huidige zonering	37
9.2 Plaatsgebonden risico	38
9.3 Groepsrisico	39
10 Conclusies	44

11 Referenties	45
Bijlage A Faalfrequenties	47
A1 Schade door derden	47
A2 Referenties.....	49
Verzendlijst.....	50

2 Inleiding

In dit rapport wordt een analyse gemaakt van de leiding A-662; onderdeel van de zogenaamde Noord-Zuid leidingen die Gasunie overweegt aan te leggen. Dit tracé zal gaan bestaan uit een 48" leiding bedreven op maximaal 80 bar. Omdat het eerste deel van de A-662 is meegenomen in de MER voor het tracé Rysum – Trips (ca. 5 km) , is dit gedeelte in deze risicostudie buiten beschouwing gelaten. De A-662 is daarom bestudeerd vanaf de gemeentegrens Ommen-Dalfsen tot en met het einde van de leiding in Angerlo.

Dit rapport is het vervolg op de 'Kwantitatieve risicotoetsing tracé Ommen-Angerlo, versie 2.0, 29 juli 2008'. Het verschil is gelegen in het feit dat in voorliggend rapport een aantal nieuwbouwplannen zijn gewijzigd. Vanwege deze wijzigingen zijn nieuwe berekeningen voor het groepsrisico uitgevoerd.

De A-662 is getoetst aan eisen uit de circulaire VROM [2]. Tevens is het plaatsgebonden risico en groepsrisico getoetst aan de normen die de overheid zal gaan stellen in de nieuwe Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) Buisleidingen. Hierbij is rekening gehouden met de nieuwbouwplannen zoals aangeleverd door BügelHajema Adviseurs [14].

De risicostudie in dit rapport is uitgevoerd, conform de richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyses [3], met PIPESAFE [4, 5]. PIPESAFE is een softwarepakket voor risicoberekeningen aan aardgastransport, dat door de Nederlandse overheid is goedgekeurd. 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, in combinatie 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 leiding gaat het hierbij om het falen van de leiding 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 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.

3.2 Toetsingscriteria en regelgeving

Om te bepalen of de berekende risico's acceptabel zijn, wordt getoetst aan de normen die in een tweetal 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 normen zoals opgenomen in de Nota Risiconormering Vervoer Gevaarlijke Stoffen [1], zullen tevens terugkomen in de nog op te stellen AMvB Buisleidingen.

De circulaire bevat bebouwingsafstanden¹ die afhankelijk zijn van leidingdiameter, operationele druk en aard der bebouwing. Voor een 48" leiding met een operationele druk van 80 bar geldt een bebouwingsafstand van 50 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 48" leiding op 80 bar geldt een toetsingsafstand van 150 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 tracékeuze. De tracélíjn van de nieuw aan te leggen leiding 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, vertaalt 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. In deze studie is daarom naast de toetsing aan de zoneringafstanden, tevens een plaatsgebonden risicoberekening uitgevoerd.

Voor het groepsrisico van ondergrondse gastransportleidingen is een oriënterende waarde gesteld van $F \cdot N^2 < 10^{-2}$ 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 is 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

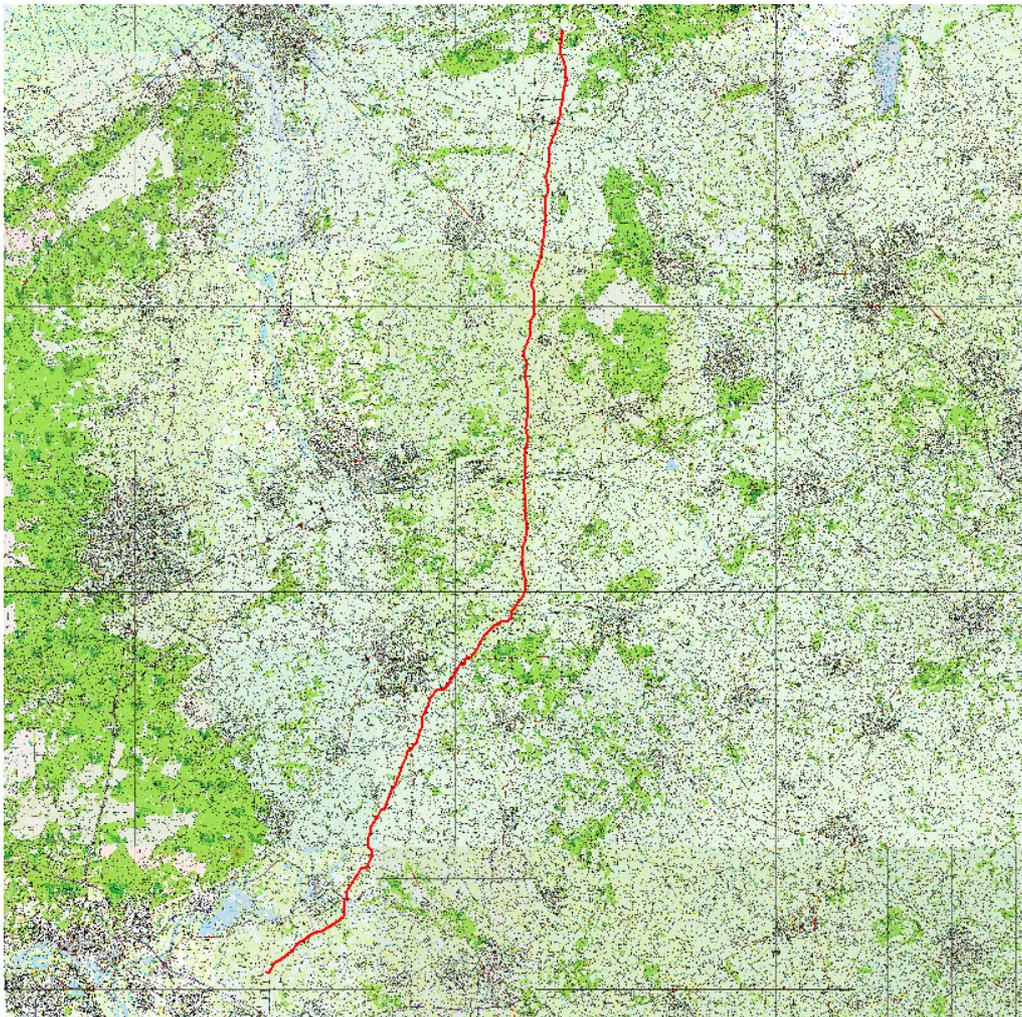
Tabel 1: Atmosferische condities zoals opgenomen in CPR-18E.

4.2 Leidingtracé

In de risicostudie is een gedeelte van de leiding A-662 (namelijk vanaf de gemeentegrens Ommen-Dalfsen) meegenomen (zie Tabel 2). De coördinaten van deze leiding zijn gebruikt zoals deze op 25 april 2008 zijn aangeleverd. Ter indicatie is de leiding uit Tabel 2 weergegeven in Figuur 1.

Leiding	Tracé
A-662	Ommen – Angerlo

Tabel 2: Leidingnummer en bijbehorend tracé.



Figuur 1: Visualisatie van de beschouwde leiding op de kaart van Nederland.

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

Parameter	A-662
Diameter [inch]	48
Wanddikte [mm]	min. 15.9 ³
Staalsoort [-]	X70
Ontwerpdruk [barg]	80
Minimale dekking [m]	1.20

Tabel 3: Leidingparameters.

³ Hoewel het overgrote deel van de leidingen door een gebied loopt dat geclassificeerd kan worden als gebiedsklasse 1, en derhalve volgens [2] ontstaan kan worden met constructiefactor 0.72, eist Gasunie minimaal een constructiefactor van 0.65. De genoemde minimale wanddikte komt overeen met constructiefactor 0.65.

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 [13].

Opgemerkt wordt 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 enkel om deze reden dat het RIVM als coauteur op het rapport vermeld staat. De risicoanalyse is door Gasunie uitgevoerd, waarmee uitdrukkelijk wordt gesteld dat het RIVM als toetsend orgaan deze risicoanalyse onafhankelijk kan beoordelen.

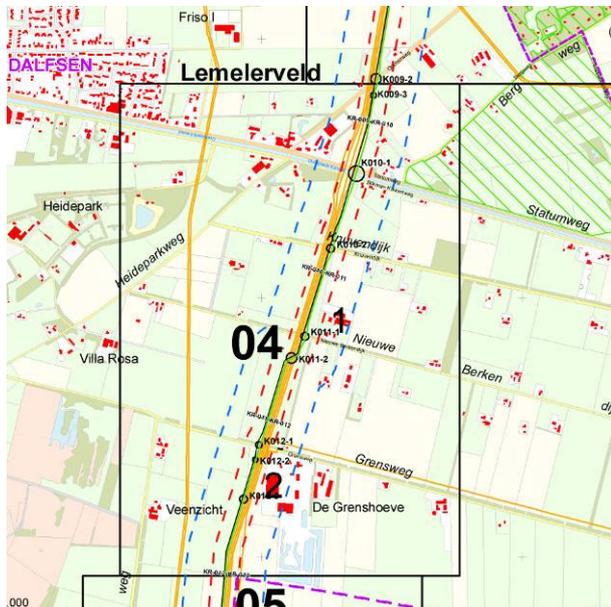
In de risicoberekening is rekening gehouden met uitbreidingsplannen en bestemmingsplannen in de gemeenten die binnen de inventarisatieafstand van het nieuwe tracé vallen. De nieuwbouwgegevens, zoals aangeleverd door BugelHajema Adviseurs [14], zijn beschreven in sectie 4.4.1 tot en met 4.4.9.

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.

4.4.1 Ontwikkelingen gemeente Dalfsen

Kampeerterreinen

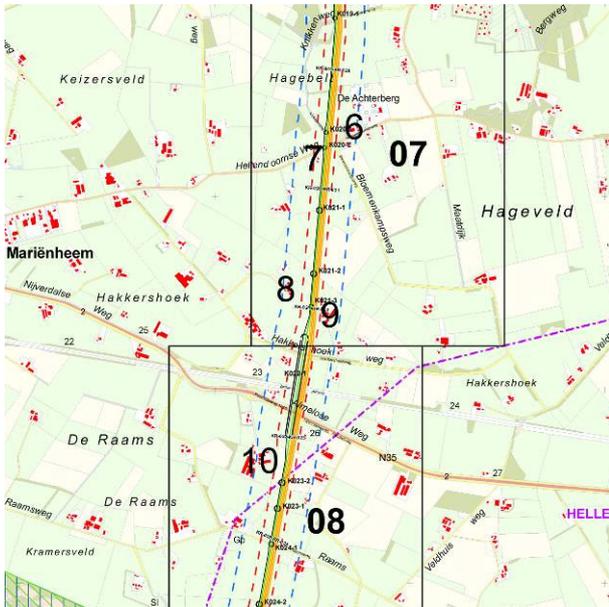
Op grond van het bestemmingsplan bestaat de mogelijkheid om een kleinschalig kampeerterrein (maximaal 15 kampeermiddelen), zorgboerderij of bed & breakfast te realiseren. Een realistische aanname is dat ten hoogste in twee gevallen een dergelijke functiewijziging langs het tracé plaatsvindt, waarbij wijziging in een kampeerterrein zorgt voor de grootste toename in het aantal personen. Daarbij wordt uitgegaan van 53 personen per kampeerterrein. In een worst case-scenario vinden de ontwikkelingen plaats op agrarische bedrijven, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in zie Figuur 2. Ten opzichte van versie 2.0 van deze risicotootsing is het aantal mogelijke locaties voor functiewijziging vergroot. Het aantal gerealiseerde kampeerterreinen blijft echter gelijk.



Figuur 2: Gemeente Dalfsen: Ontwikkeling van twee kleinschalige kampeerterreinen bij agrarische bedrijven (1 en 2)

Bed & breakfast

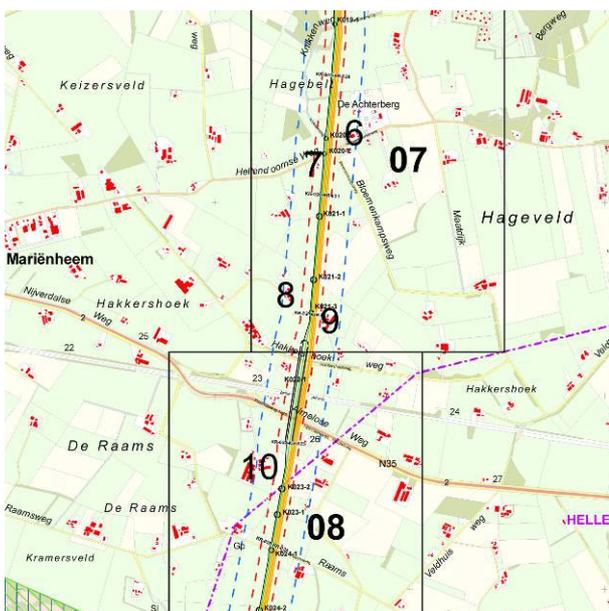
Op grond van het bestemmingsplan bestaat de mogelijkheid om bij iedere woning een bed & breakfast te realiseren. Een realistische aanname is dat ten hoogste 4 bed & breakfasts langs het tracé worden gerealiseerd. Daarbij wordt uitgegaan van 4 personen per bed & breakfast. In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats bij woningen, welke zijn gelegen dichtbij de leiding, zie Figuur 3. Ten opzichte van versie 2.0 van deze risicotootsing is het aantal mogelijke locaties voor functiewijziging vergroot. Het aantal gerealiseerde bed & breakfasts blijft echter gelijk.



Figuur 5: Gemeente Raalte: ontwikkeling van drie kleinschalige kampeerterreinen bij agrarische bedrijven (8, 9 en 10)

Dagcampings

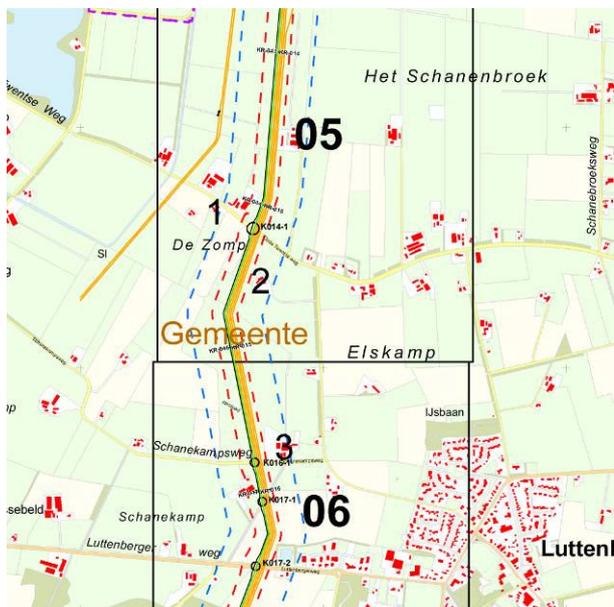
Op grond van het bestemmingsplan bestaat de mogelijkheid om uitsluitend binnen de bestemming 'Agrarisch gebied' met landschapswaarden, niet zijnde landbouwontwikkelingsgebied, na wijziging een dagcamping met maximaal 5 trekkershutten en een theeschenkerij te realiseren. Een realistische aanname is dat ten hoogste in twee gevallen een dergelijke functiewijziging langs het tracé plaatsvindt [14]. Daarbij wordt uitgegaan van 175 personen per dagcamping. In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats op agrarische bedrijven, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 6.



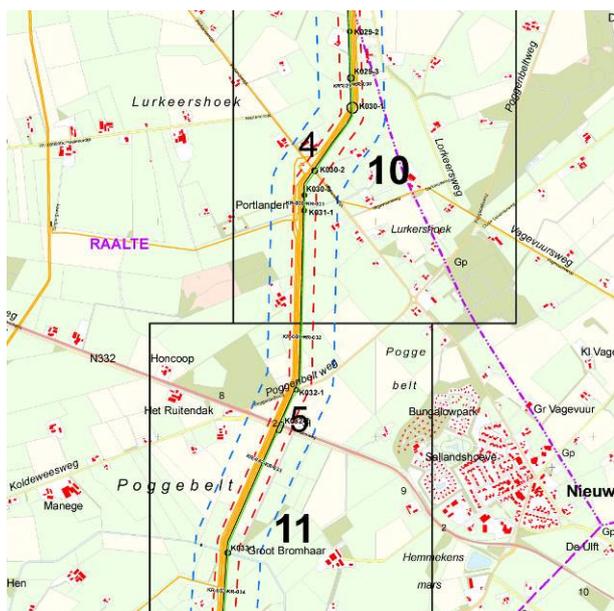
Figuur 6: Gemeente Raalte: ontwikkeling van twee dagcampings (8 en 9)

Bed & breakfast en boerderijkamers

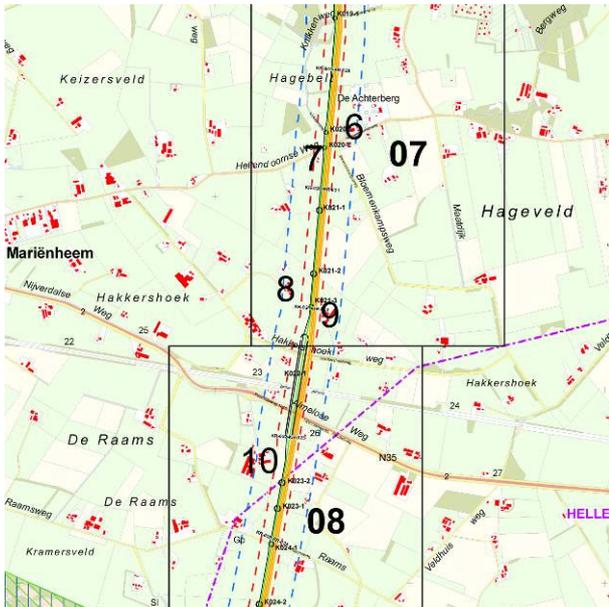
Op grond van het beleidsplan Recreatie en Toerisme mag bij elke woning een bed & breakfast worden gerealiseerd. Een bed & breakfast-accommodatie heeft maximaal 5 kamers en maximaal 10 slaapplaatsen. Op grond van het beleidsplan mogen voorts bij elk agrarisch bedrijf boerderijkamers worden gerealiseerd (maximaal 5 kamers en maximaal 10 slaapplaatsen). Een realistische aanname is dat ten hoogste in vijf gevallen een dergelijke functiewijziging langs het tracé plaatsvindt [14]. Daarbij wordt uitgegaan van 10 personen per bed & breakfast of boerderijkamer. In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats op agrarische bedrijven en bij woningen, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 7, Figuur 8 en Figuur 9.



Figuur 7: Gemeente Raalte: ontwikkeling van bed & breakfast bij woningen (1 en 2) en boerderijkamers bij agrarische bedrijven (3)



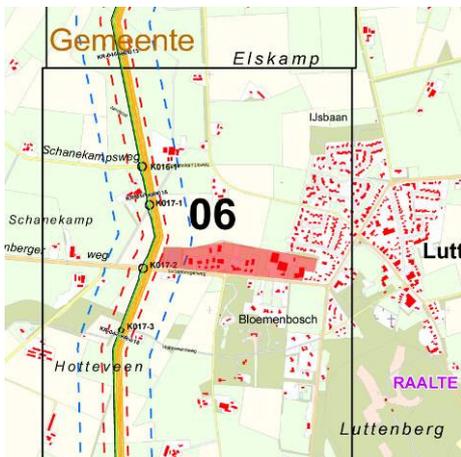
Figuur 8: Gemeente Raalte: ontwikkeling van bed & breakfast bij woningen (5) en boerderijkamers bij agrarische bedrijven (4)



Figuur 9: Gemeente Raalte: ontwikkeling van bed & breakfast bij woningen (6 en 7) en boerderijkamers bij agrarische bedrijven (8, 9 en 10)

Bedrijventerrein Luttenberg

In het invloedsgebied is het bedrijventerrein Luttenberg gelegen. Dit bedrijventerrein heeft een oppervlakte van circa 5 ha (zie Figuur 10). Thans is voor uitgifte nog beschikbaar circa 1 ha, waarbij een toename van 40 personen te verwachten is.



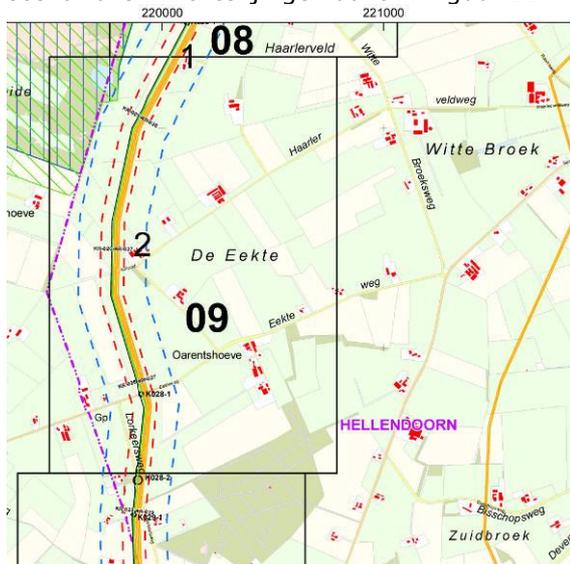
Figuur 10: Gemeente Raalte: Ontwikkeling van bedrijventerrein Luttenberg (rood gearceerd)

4.4.3 Ontwikkelingen gemeente Hellendoorn

Kampeeterreinen

Op grond van het bestemmingsplan bestaat de mogelijkheid om na vrijstelling bij ieder agrarisch bedrijf een kleinschalig kampeeterrein (maximaal 25 plaatsen) en logiesverblijven te realiseren. Een realistische aanname is dat ten hoogste 2 kleinschalige kampeeterreinen of 2 logiesverblijven langs het tracé worden gerealiseerd [14], waarbij wijziging in een

kampeerterrein zorgt voor de grootste toename in het aantal personen. Daarbij wordt uitgegaan van 88 personen per kampeerterrein. In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats op agrarische bedrijven, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 11.

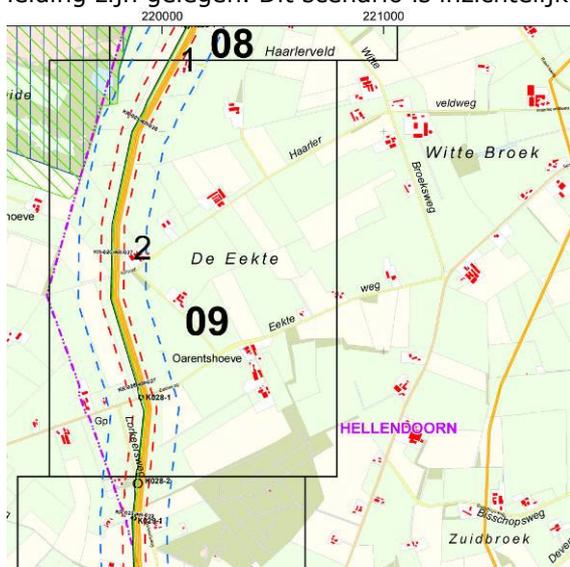


Figuur 11: Gemeente Hellendoorn: ontwikkeling van twee kleinschalige kampeerterreinen (1 en 2)

Kampeerberderij, zorgboerderij of dagrecreatieve voorziening

Op grond van het bestemmingsplan bestaat de mogelijkheid om na wijziging een kampeerberderij, zorgboerderij of dagrecreatieve voorzieningen te realiseren. Onder dagrecreatieve voorzieningen wordt verstaan een speeltuin of fietsenverhuur.

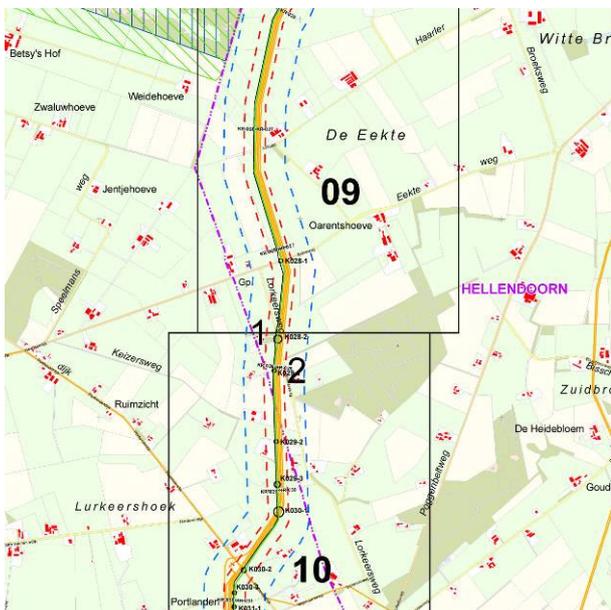
Een realistische aanname is dat ten hoogste in twee gevallen een dergelijke functiewijziging langs het tracé plaatsvindt [14], waarbij wordt uitgegaan van 25 personen per locatie. In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats op agrarische bedrijven, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 12.



Figuur 12: Gemeente Hellendoorn: Ontwikkeling van kampeerberderij, zorgboerderij of dagrecreatieve voorziening (1 en 2)

Kampeerterrainen

Op grond van het bestemmingsplan bestaat de mogelijkheid om na vrijstelling bij iedere woning een kleinschalig kampeerterrain (maximaal 25 plaatsen) of logiesverblijven te realiseren, waarbij realisatie van een kampeerterrain voor de grootste toename in het aantal personen zorgt. Een realistische aanname is dat ten hoogste 2 kleinschalige kampeerterrainen langs het tracé worden gerealiseerd [14]. Daarbij wordt uitgegaan van 88 personen per kampeerterrain. In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats bij woningen, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 13.

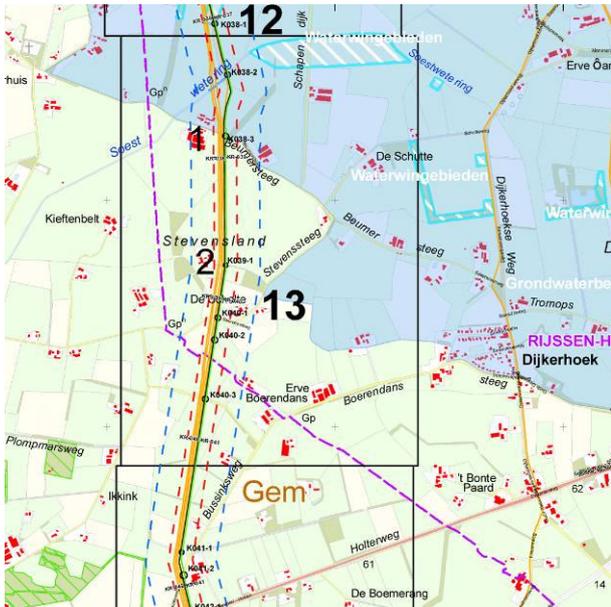


Figuur 13: Gemeente Hellendoorn: ontwikkeling van twee kleinschalige kampeerterrainen bij woningen (1 en 2)

4.4.4 Ontwikkelingen gemeente Rijssen-Holten

Kampeerterrainen

Op grond van de geldende planologische regelingen bestaat de mogelijkheid om een kleinschalig kampeerterrain (maximaal 5 plaatsen) te realiseren. Een realistische aanname is dat ten hoogste 2 kleinschalige kampeerterrainen langs het tracé worden gerealiseerd [14]. Daarbij wordt uitgegaan van 18 personen per kampeerterrain. In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats op agrarische bedrijven, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 14.

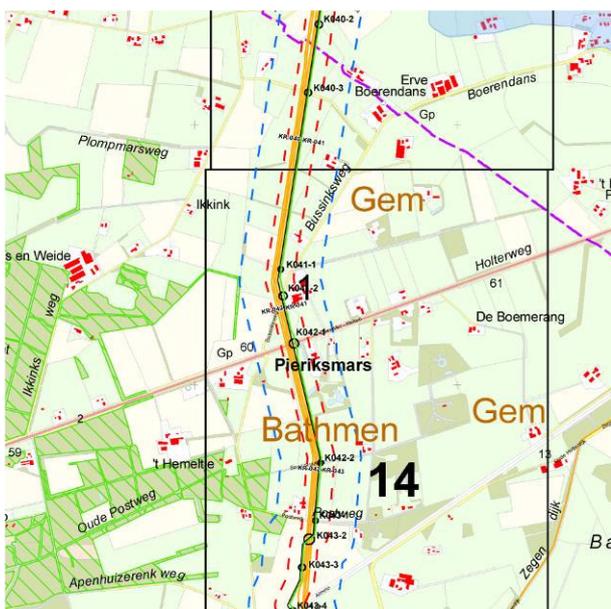


Figuur 14: Gemeente Rijssen-Holten: ontwikkeling van twee kleinschalige kampeerterreinen (1 en 2)

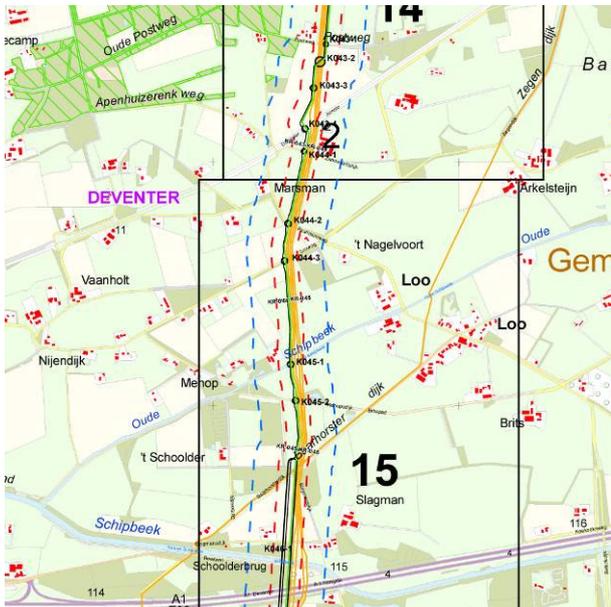
4.4.5 Ontwikkelingen gemeente Deventer

Recreatieve functie

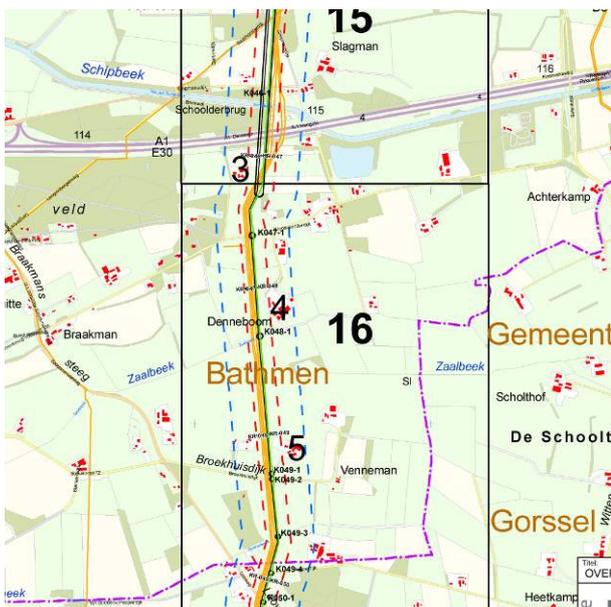
Op grond van het bestemmingsplan bestaat de mogelijkheid om recreatieve functies, zoals een sport- en speelterrein, manege, kinderboerderij of verblijfsrecreatie, te realiseren. Een realistische aanname is dat ten hoogste in vijf gevallen een dergelijke functiewijziging langs het tracé plaatsvindt [14], waarbij wordt uitgegaan van 25 personen per locatie. In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats op agrarische bedrijven, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 15 tot en met Figuur 17.



Figuur 15: Gemeente Deventer: ontwikkeling van vijf recreatieve functies (1)



Figuur 16: Gemeente Deventer: ontwikkeling van vijf recreatieve functies (2)



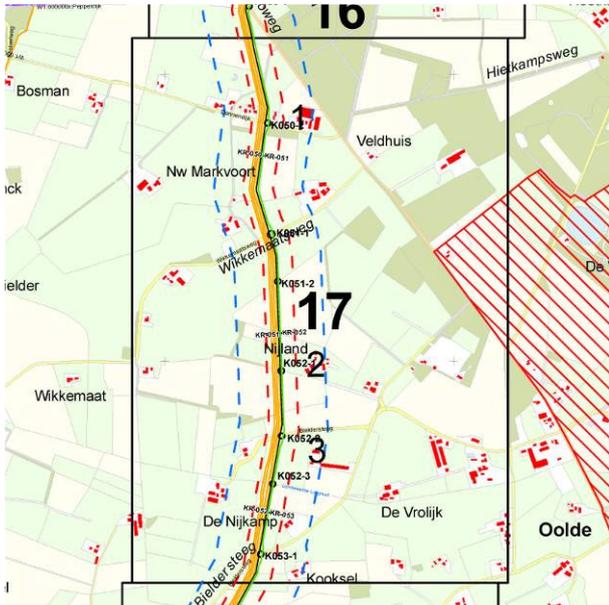
Figuur 17: Gemeente Deventer: ontwikkeling van vijf recreatieve functies (3, 4 en 5)

4.4.6 Ontwikkelingen gemeente Lochem

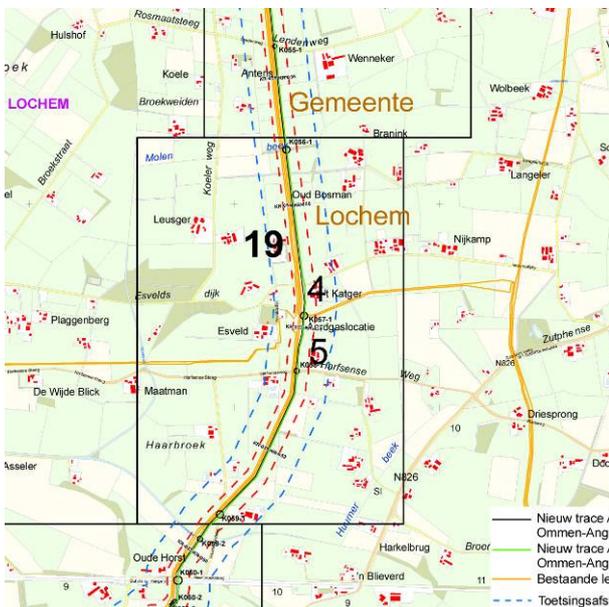
Kampeerterreinen

Op grond van de geldende planologische regelingen bestaat de mogelijkheid om een kleinschalig kampeerterrein (maximaal 5 plaatsen) te realiseren. Een realistische aanname is dat ten hoogste 5 kleinschalige kampeerterreinen langs het tracé worden gerealiseerd [14], waarbij wordt uitgegaan van 105 personen per kampeereenheid (in versie 2.0 van deze risicotetsing werd uitgegaan van 18 personen per kampeereenheid). In een worst case-

scenario vindt de ontwikkeling plaats op agrarische bedrijven, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 18 en Figuur 19.



Figuur 18: Gemeente Lochem: ontwikkeling van vijf kleinschalige kampeerterreinen (1, 2 en 3)



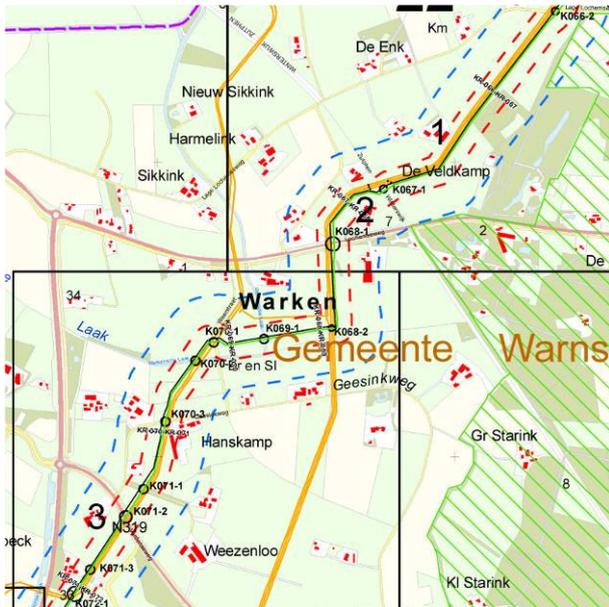
Figuur 19: Gemeente Lochem: ontwikkeling van vijf kleinschalige kampeerterreinen (4 en 5)

4.4.7 Ontwikkelingen gemeente Zutphen

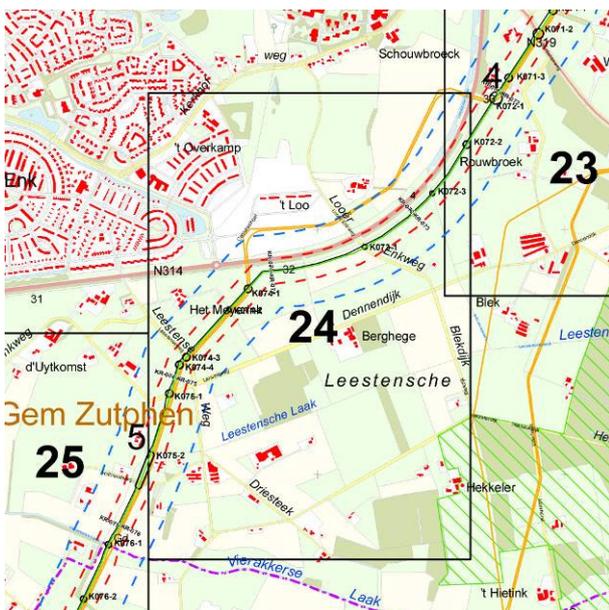
Kampeerterreinen

Op grond van het bestemmingsplan bestaat de mogelijkheid om een kleinschalig kampeerterrein (maximaal 30 kampeermiddelen), recreatieappartementen, bed & breakfast,

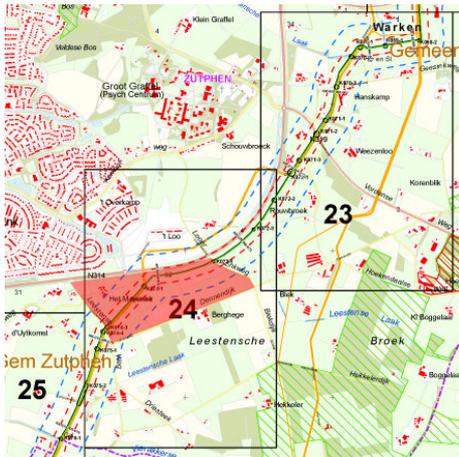
een dagrecreatieve functie of een zorgfunctie te realiseren. Een realistische aanname is dat ten hoogste in vijf gevallen een dergelijke functiewijziging langs het tracé plaatsvindt [14], waarbij wijziging in een kampeerterrein voor de grootste toename in het aantal aanwezige personen zorgt. Daarbij wordt uitgegaan van 105 personen per kampeerterrein. In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats op agrarische bedrijven, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 20 en Figuur 21.



Figuur 20: Gemeente Zutphen: ontwikkeling van kleinschalige kampeerterreinen (1, 2 en 3)



Figuur 21: Gemeente Zutphen: ontwikkeling van vijf kleinschalige kampeerterreinen (4 en 5)

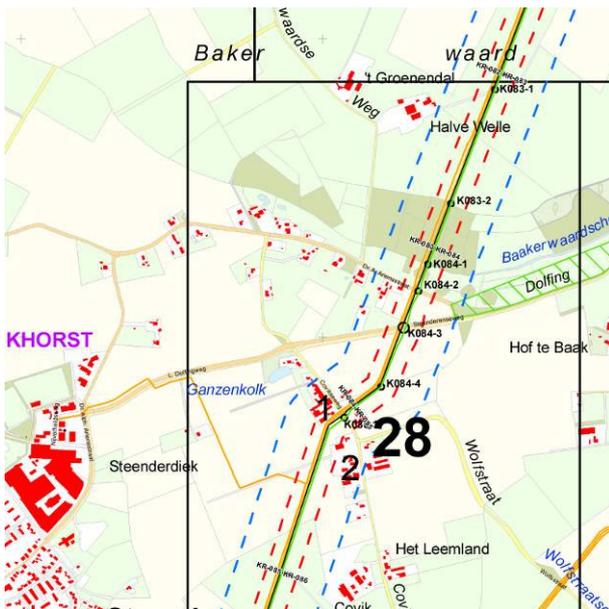


Figuur 23: Gemeente Zutphen: ontwikkeling realisatie sportvelden 't Meijerink (rood gearceerd)

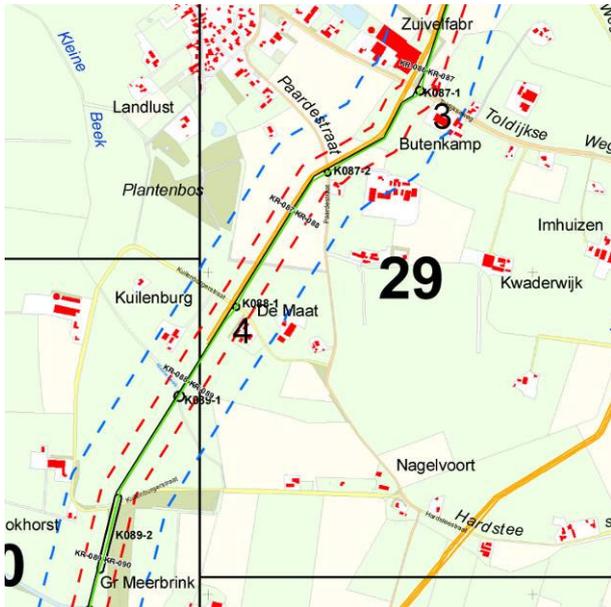
4.4.8 Ontwikkelingen gemeente Bronckhorst

Kampeerterrainen

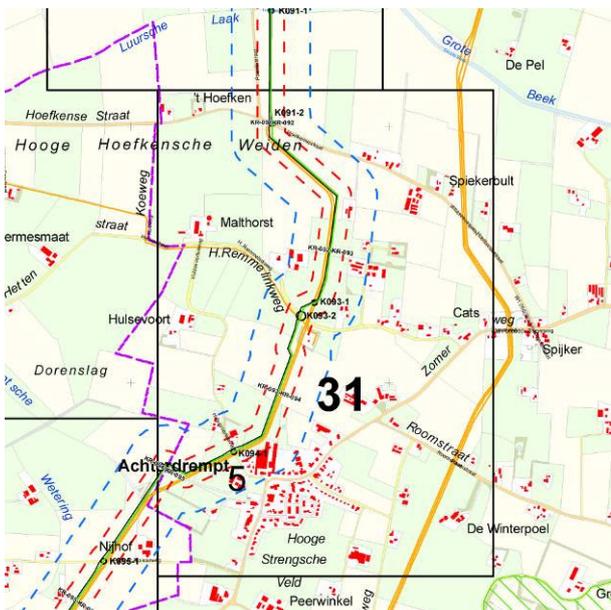
Op grond van het bestemmingsplan bestaat de mogelijkheid om een kleinschalig kampeerterrain (maximaal 30 kampeermiddelen), recreatiewoningen/appartementen, bed & breakfast, een dagrecreatieve functie of een zorgfunctie te realiseren. Een realistische aanname is dat ten hoogste in vijf gevallen een dergelijke functiewijziging langs het tracé plaatsvindt [14], waarbij wijziging in een kampeerboerderij voor de grootste toename in het aantal aanwezige personen zorgt. Daarbij wordt uitgegaan van 105 personen per kampeerterrain. In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats op agrarische bedrijven, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 24, Figuur 25 en Figuur 26.



Figuur 24: Gemeente Bronckhorst: ontwikkeling van vijf kleinschalige kampeerterrainen (1 en 2)



Figuur 25: Gemeente Bronckhorst: ontwikkeling van vijf kleinschalige kampeerterrainen (3 en 4)



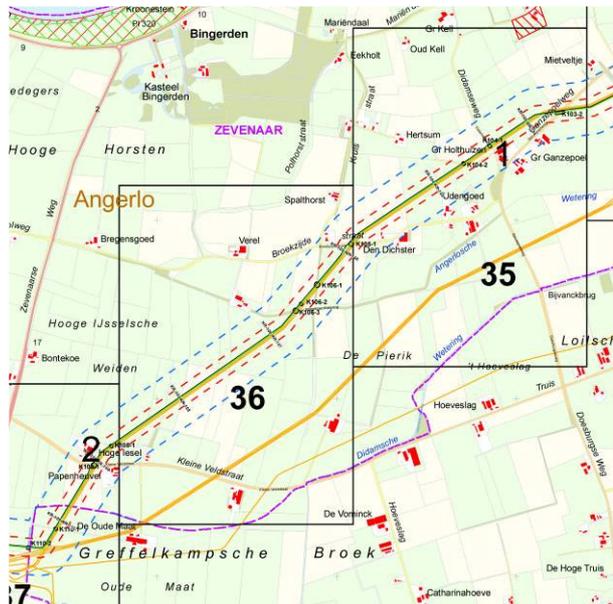
Figuur 26: Gemeente Bronckhorst: ontwikkeling van vijf kleinschalige kampeerterrainen (5)

4.4.9 Ontwikkelingen gemeente Zevenaar

Kampeerterrainen

Op grond van het gemeentelijk beleid bestaat de mogelijkheid om bij ieder agrarisch bedrijf een kleinschalig kampeerterrain (maximaal 15 plaatsen) en/of maximaal 3 boerderijkamers te realiseren. Een realistische aanname is dat ten hoogste 2 kleinschalige kampeerterrainen en/of boerderijkamers langs het tracé worden gerealiseerd [14]. Per locatie wordt uitgegaan van 53 personen. In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats op agrarische

bedrijven, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 27.

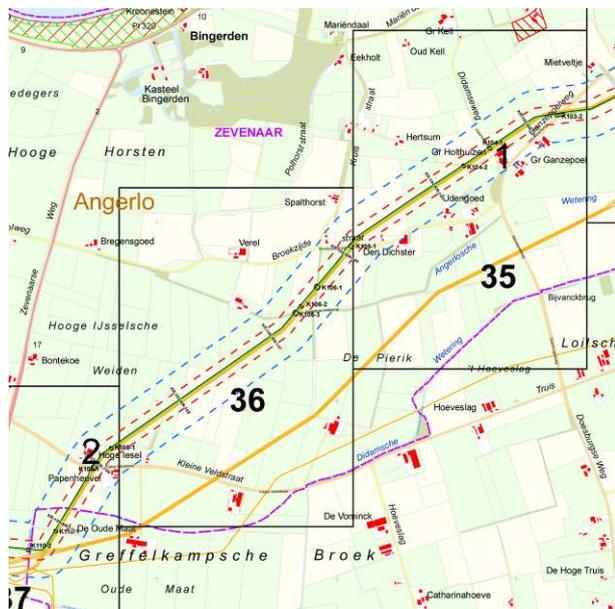


Figuur 27: Gemeente Zevenaar: ontwikkeling van twee kleinschalige kampeerterrainen

Horeca-inrichtingen

Op grond van het gemeentelijk beleid bestaat de mogelijkheid om ieder agrarisch bedrijf kleinschalige horeca, zoals een theeschenkerij te realiseren als nevenactiviteit. Zoals hiervoor is gesteld, komen binnen het invloedsgebied van de leiding circa 18 agrarische bedrijven voor waar een dergelijke ontwikkeling mogelijk is.

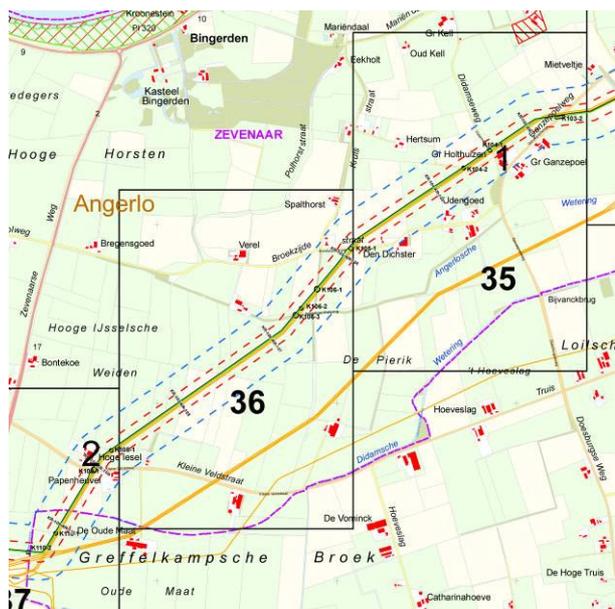
Een realistische aanname is dat ten hoogste 2 kleinschalige horeca-inrichtingen langs het tracé kunnen worden gerealiseerd [14], waarbij wordt uitgegaan van 25 personen per horeca-inrichting (in versie 2.0 van deze risicotetsing werd uitgegaan van 50 personen per horeca-inrichting). In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats op agrarische bedrijven, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 28.



Figuur 28: Gemeente Zevenaar: ontwikkeling van twee horeca-inrichtingen (1 en 2)

Kampeerboerderijen, zorgboerderijen of pensionaccomodaties

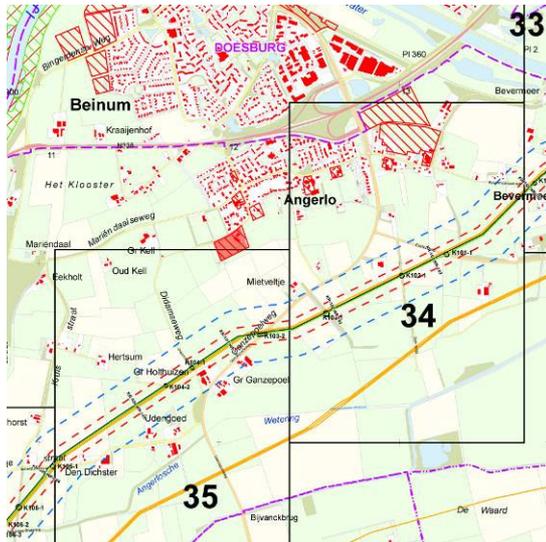
Op grond van het gemeentelijk beleid bestaat de mogelijkheid om bij ieder agrarisch bedrijf een kampeerboerderij, zorgboerderij of pensionaccommodatie te realiseren als nevenactiviteit, waarbij realisatie van een zorgboerderij zorgt voor de grootste toename in het aantal aanwezige personen. Een realistische aanname is dat ten hoogste in 2 gevallen een zorgboerderij langs het tracé worden gerealiseerd. Per locatie wordt uitgegaan van 25 personen (in versie 2.0 van deze risicotetsing werd uitgegaan van 15 personen per locatie). In een worst case-scenario vindt de ontwikkeling plaats op agrarische bedrijven, welke dicht bij de leiding zijn gelegen. Dit scenario is inzichtelijk gemaakt in Figuur 29.



Figuur 29: Gemeente Zevenaar: ontwikkeling van kampeerboerderij, zorgboerderij of pensionaccommodatie (1,2)

Uitbreiding sportvelden Ganzepoel bij Angerlo

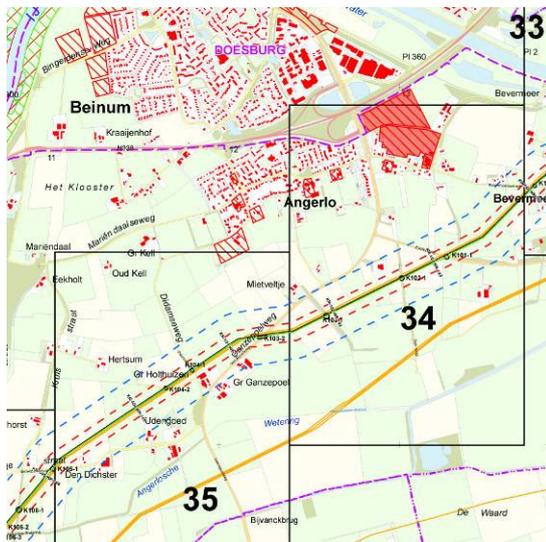
Voorzien wordt in een uitbreiding van de sportvelden aan de zuidwestzijde van Angerlo, zie Figuur 30. De uitbreiding is in zijn geheel gelegen in het invloedsgebied. De uitbreiding heeft een oppervlakte van 2,04 ha. Bij 25 personen per ha [14] bedraagt de totale toename 51 personen.



Figuur 30: Gemeente Zevenaar: Uitbreiding sportvelden Ganzepoel (rood gearceerd)

Realisatie Visie Angerlo-Oost

Ten oosten van Angerlo wordt voorzien in de realisatie van een nieuw woongebied en een bedrijventerrein, zie Figuur 31. Het gebied waarin deze ontwikkelingen zijn voorzien is slechts voor een klein deel gelegen in het invloedsgebied, namelijk circa 1 ha. Binnen het invloedsgebied worden naar verwachting circa 40 woningen gerealiseerd [14]. Bij 2,4 personen per woning betekent dit een toename van 96 personen.



Figuur 31: Gemeente Zevenaar: realisatie woningbouw Angerlo-Oost (rood gearceerd)

5 Faalscenario's en faalorzaken

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 Faalorzaken

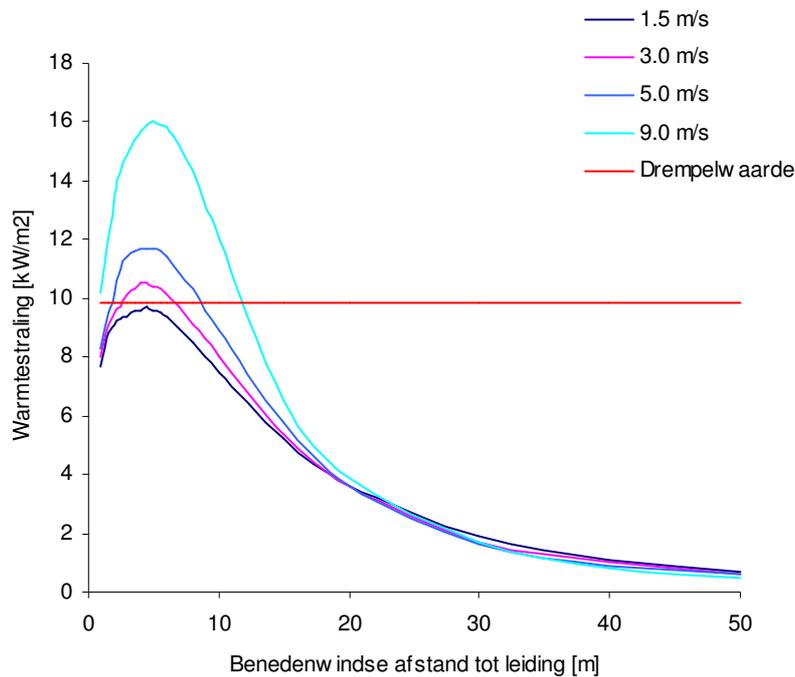
Uit zowel Gasunie als internationale data betreffende leidingbeschadigingen en leidingincidenten blijkt dat schade door derden (external interference) de primaire faalorzaak is voor ondergrondse gastransportleidingen. Daarnaast kan ook corrosie een faalorzaak zijn, evenals materiaal- en constructiefouten, vermoeiing, SCC⁵ en aardverschuivingen. Falen door corrosie wordt echter 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 worden de aardgastransportleidingen in Nederland niet sterk cyclisch belast zodat vermoeiing tevens kan worden uitgesloten als faalorzaak. Bovendien worden de leidingen voor aanleg hydrostatisch beproefd, zodat de kans op constructie- en materiaal fouten nihil kan worden geacht. Tot slot zijn SCC en aardverschuivingen als faalorzaak in Nederland tot nog toe niet waargenomen.

In de faalfrequentie berekeningen wordt daarom alleen rekening gehouden met schade door derden als faalorzaak. 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 80 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 32: Benedenwindse warmtestralingprofielen bij een lek van 20 mm in een 80 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 15 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 breuksenario dat resulteert in tweezijdige verticale uitstroming.

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 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 diameter en druk afhankelijke ontstekingskans. Voor de betrokken leidingen is deze gelijk aan 0.8. Daarmee wordt de totale frequentie van falen met ontsteking voor de leiding 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

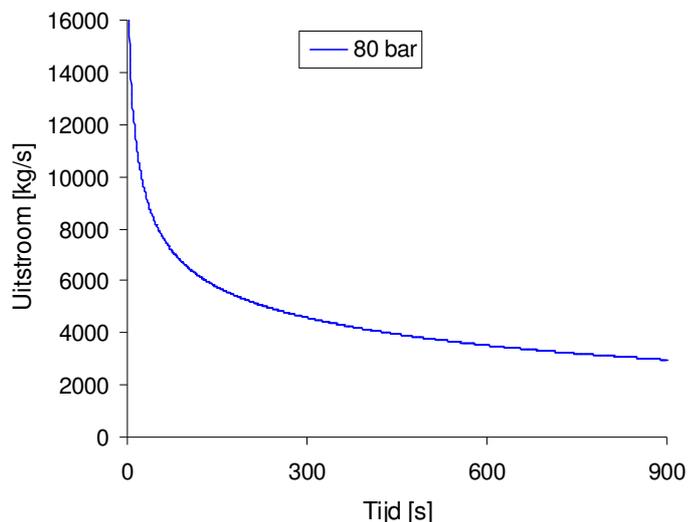
In de (plaatsgebonden) risicoberekening wordt ervan uitgegaan dat als de uitstroom van gas ontsteekt, de kans 75% is dat dit direct gebeurt op tijdstip $t=0$ en de kans 25% is dat ontsteking pas 120 s na het optreden van de breuk plaatsvindt.

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 48" leiding op 80 bar is weergegeven in Figuur 33.



Figuur 33: Tijdsafhankelijk uitstroomprofiel bij breuk van een 48" leiding op 80 bar.

Conform CPR-18E [3] en in aansluiting op [8, 12] 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 48" leiding opererend op een druk van 80 bar is de tijdsgemiddelde uitstroom over de eerste 20 s gelijk aan ruim $13000 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ (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 $6000 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

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 $[kW \cdot m^{-2}]$, dan wordt de dosis in het algemeen berekend met de formule

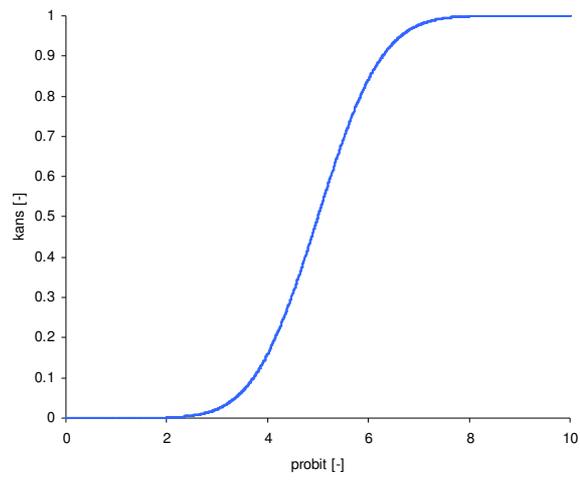
$$Dosis = \int_{T_0}^{T_1} Q(x, y, z, t)^{4/3} dt ,$$

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 34).



Figuur 34: 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].

8.2 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 $35 \text{ kW}/\text{m}^2$ warmtestralingcontour is in de richtlijnen opgenomen dat alle aanwezigen (zowel binnens- als 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. Ook overlijden in dit gebied alleen mensen die buitenshuis zijn en worden deze mensen bovendien in bepaalde mate beschermd door het dragen van kleding.

De voor de berekening relevante parameters zijn gehaald uit onder meer [13] en samengevat in onderstaande tabel.

	Dag	Nacht	Bron
Aantal uren van een etmaal	10,5	13,5	[3]
Percentage personen buiten	7%	1%	[3]
Percentage bewoners aanwezig			
Patiënten in 'Z'-object	100%	100%	[13]
Leerlingen in 'O'-object	100%	0%	[13]
Recreanten in 'R'-object	0%	100%	[13]
Overig (betreft met name woningen)	70%	100%	[3]
Percentage werknemers aanwezig			

	Dag	Nacht	Bron
Werknemers in 'Z'-object	90%	10%	[13]
Werknemers in 'O'-object	100%	0%	[13]
Werknemers in 'R'-object	50%	50%	[13]
Overig (betreft met name woningen)	100%	0%	[3]
Beschermende factor dragen kleding	0,14	0,14	[3]

Tabel 5: Uitgangspunten groepsrisicoberekeningen.

Het groepsrisico 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.

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 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.

Bovenstaande werkwijze verschilt van de werkwijze in versie 2.0 van deze risicotoetsing, waarbij de werkelijke overschrijdingswaarde als functie van de stationing van de leiding niet berekend kon worden. Door verdere ontwikkeling van de gebruikte software kon deze voor dit rapport wel berekend worden, waardoor beter inzicht is verkregen in het niveau en de variatie van het groepsrisiconiveau langs de leiding.

Bij het berekenen van 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 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];
- 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.

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 toetsings- en bebouwingsafstanden gegeven voor 48" leidingen op 80 bar druk, zie Tabel 6 .

Toetsingsafstand [m]	Bebouwingsafstand [m] Gebiedsklasse 1 en 2	Bebouwingsafstand [m] Gebiedsklasse 3 en 4
150	5	50

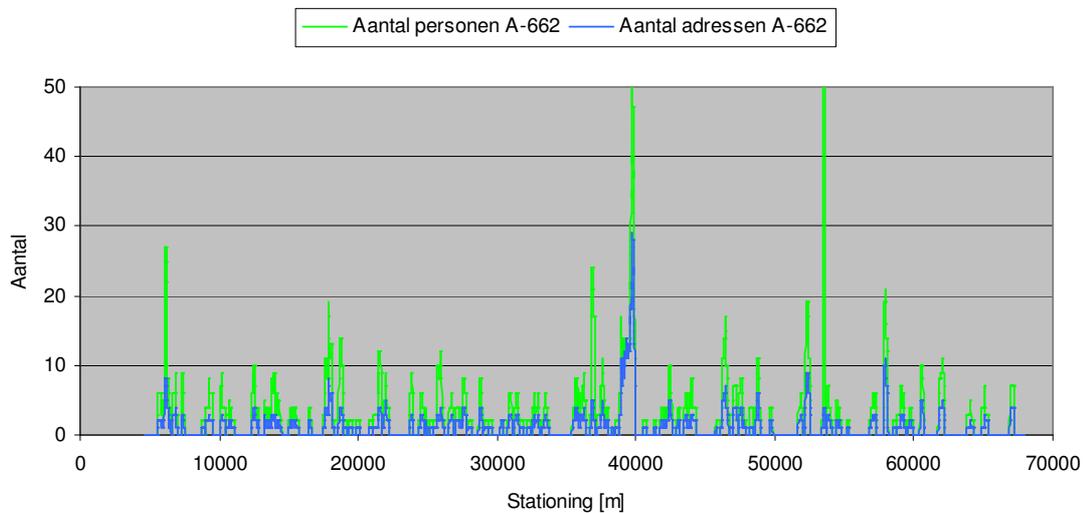
Tabel 6: Toetsings- en bebouwingsafstanden voor een 48", 80 bar leiding.

Op grond van bevolkingsgegevens kan de gebiedsklasse bepaald worden binnen de toetsingsafstand. Het merendeel van 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 15.9mm). In de buurt van woonwijken en kruisingen en dergelijke eist de circulaire een kleinere ontwerpfactor: 0.55 (wanddikte 18.7mm) of zelfs 0.45 (wanddikte 22.7mm).

De omgeving van het tracé is getoetst aan de bebouwingsafstanden die in de circulaire zijn opgenomen. Hierbij is uitgegaan van de bebouwingsafstand van 50m, behorend bij gebiedsklasse 3 en 4. Als er binnen deze afstand geen bebouwing is wordt per definitie voldaan aan de circulaire.

Indien er wel bebouwing is binnen de bebouwingsafstand is de gebiedsklasse van het omliggende gebied bepaald, afgebakend door de toetsingsafstand. 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.

Om voor de A-662 de bestaande bebouwing en aanwezigen binnen de toetsingsafstand inzichtelijk te maken, is in Figuur 35 een grafiek gepresenteerd waarin het aantal adressen en het aantal personen (gedefinieerd als de som van bewoners en werknemers) binnen de toetsingsafstand is uitgezet tegen de stationing van de A-662. In de toetsing is geen rekening gehouden met de nieuwbouwplannen (zoals beschreven in de secties 4.4.1 tot en met 4.4.9) die binnen de toetsingsafstand van het nieuwe tracé vallen, omdat voor deze plannen de exacte bouwvlakken niet bekend zijn.

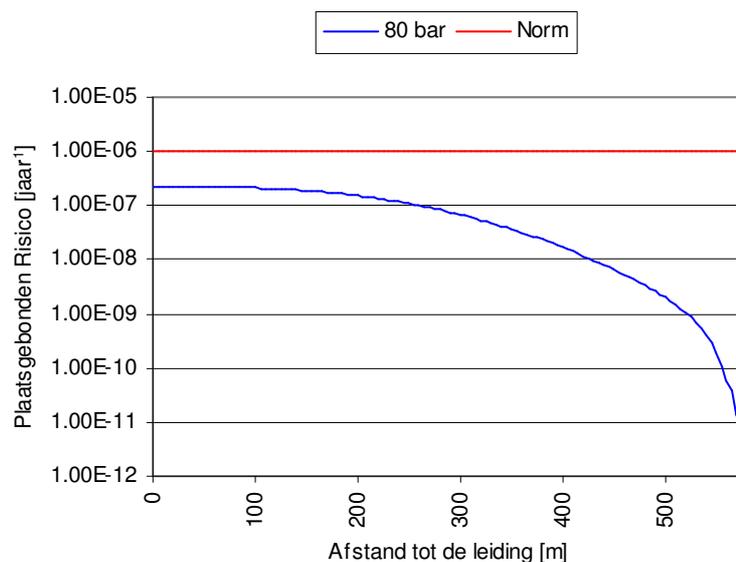


Figuur 35: Aantal adressen en personen binnen de toetsingsafstand van de A-662, beschouwd vanaf stationing 4639.

Bij het toetsen van de A-662 aan de bebouwingsafstand is een aantal gevallen geïdentificeerd waar zich bebouwing bevindt binnen 50m van de leiding. Voor elk van deze gevallen is de gebiedsklasse bepaald. Bij nader onderzoek bleek dat in alle gevallen sprake is van gebiedsklasse 1 of 2, waardoor geen sprake is van knelpunten langs deze leiding. Het tracé voldoet daarmee aan de vigerende richtlijnen zoals uiteengezet in de circulaire [2].

9.2 Plaatsgebonden risico

Het plaatsgebonden risico van de in Tabel 3 vermelde leidingen en bijbehorende parametrisering is gepresenteerd in Figuur 36. Hierbij is uitgegaan van de in de tabel genoemde minimale wanddikte van 15.9mm.

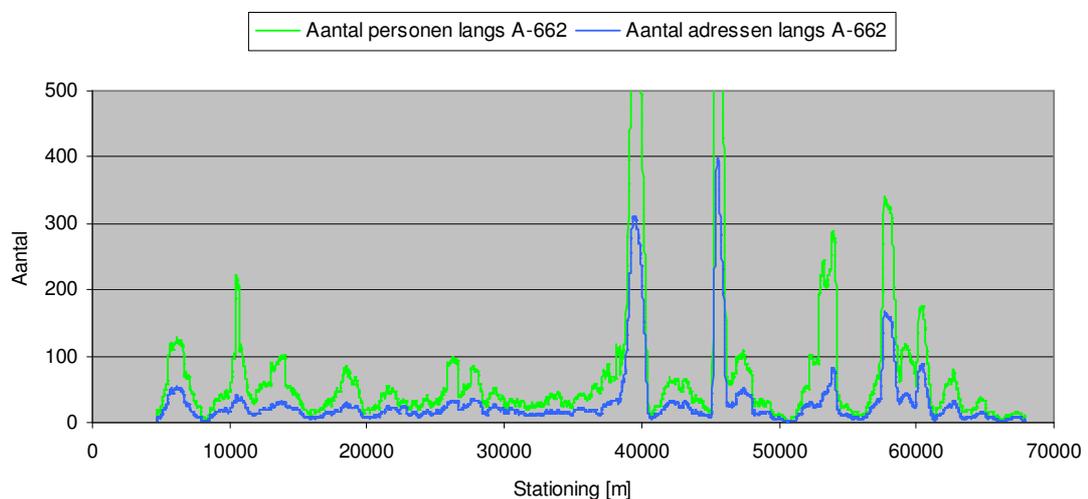


Figuur 36: PR van leiding met parameters zoals gespecificeerd in Tabel 3.

Het kan worden geconcludeerd dat het plaatsgebonden risico nabij de leiding 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.

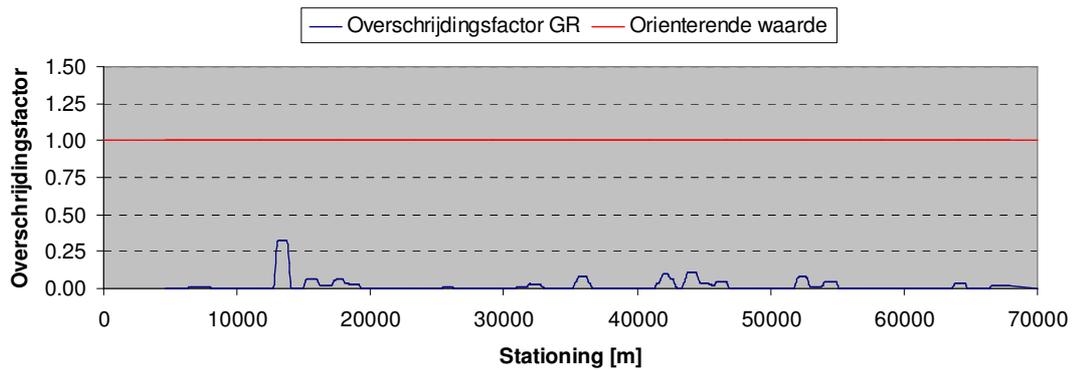
9.3 Groepsrisico

Om de bestaande bebouwing en personen binnen het invloedsgebied voor groepsrisico inzichtelijk te maken, zijn het aantal adressen en het aantal personen (gedefinieerd als de som van bewoners en werknemers) van de A-662 uitgezet tegen de stationing. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 37. De nieuwbouwplannen, zoals beschreven in de secties 4.4.1 tot en met 4.4.9, zijn hierin buiten beschouwing gelaten.



Figuur 37: Aantal adressen en personen binnen het invloedsgebied van het groepsrisico van de A-662, beschouwd vanaf stationing 4639.

Voor de A-662 wordt in eerste instantie de screening van het groepsrisico gepresenteerd, waarbij wordt opgemerkt dat indien voor een geselecteerde kilometer leiding de oriënterende waarde van het groepsrisico wordt overschreden, de groepsrisico screening ergens op die kilometer de grenswaarde 1 zal overschrijden. Om een beter inzicht in het groepsrisico te krijgen zijn niet alleen FN-curves berekend indien de grenswaarde 1 wordt overschreden, maar ook al als de screening boven de waarde 0,5 uitkomt. De groepsrisico screening, berekend bij de leidingparameters zoals gegeven in Tabel 3, is gepresenteerd in Figuur 38. Voor deze berekening is zowel de bestaande bebouwing als ook alle nieuwbouw zoals beschreven in secties 4.4.1 tot en met 4.4.9 meegenomen.

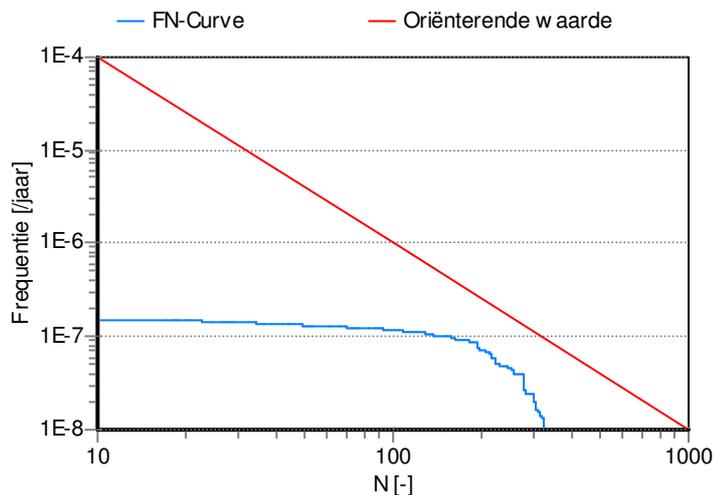


Figuur 38: Groepsrisico screening van de A-662.

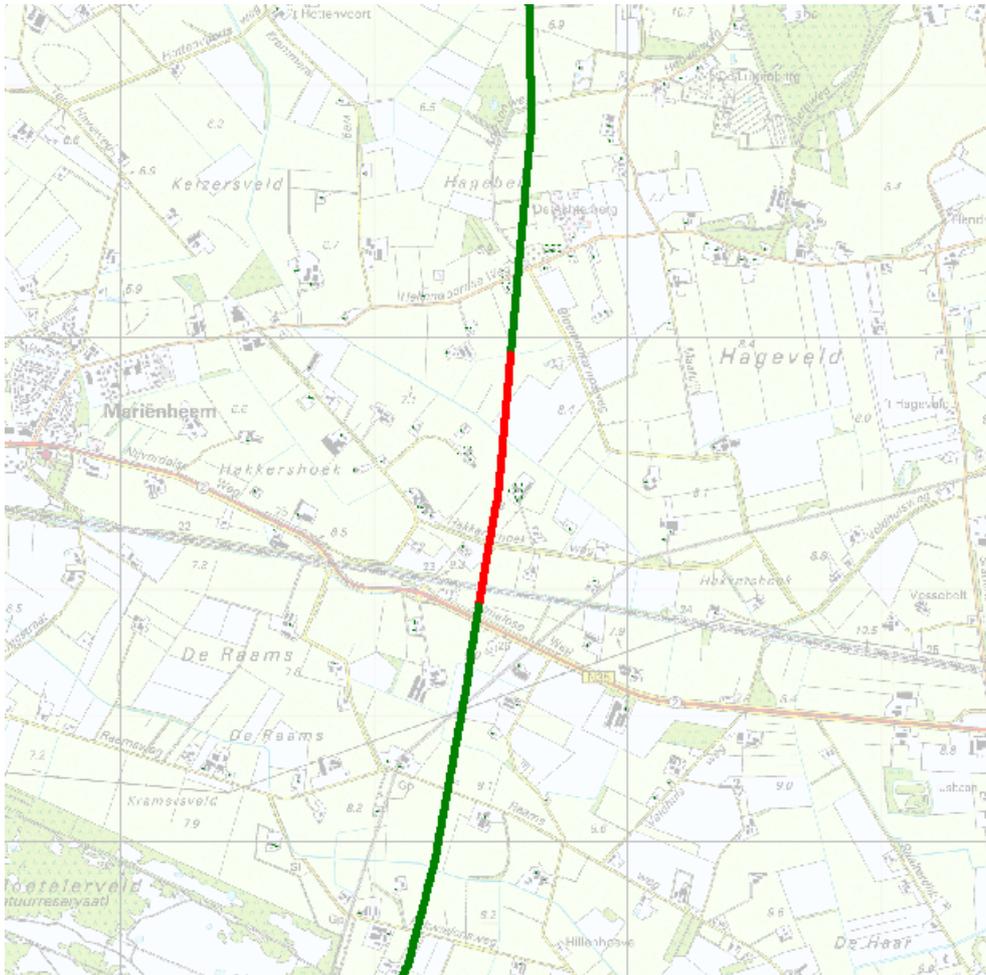
Door de nieuwe berekeningswijze van de screening van het groepsrisico (zie sectie 8.2) kan uit bovenstaande figuur worden geconcludeerd dat de oriënterende waarde voor het groepsrisico, zijnde $F \cdot N^2 < 10^{-2} \text{ km}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$, nergens langs de A-662 wordt overschreden.

Om enig inzicht te krijgen in het GR-niveau zijn toch een aantal FN-curves voor leidingsegmenten van 1 kilometer lengte berekend. Als criterium daarvoor is voor dit rapport een waarde voor de overschrijdingsfactor van 0,1 gehanteerd. De betreffende FN-curves worden, met een nadere specificering van het leidingsegment waar deze betrekking op hebben, gepresenteerd in Figuur 39 tot en met Figuur 44.

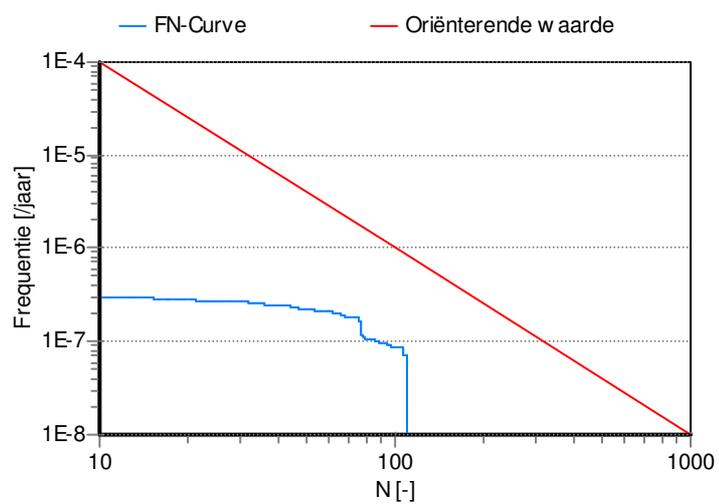
In versie 2.0 van deze risicotoetsing worden meer FN-curves getoond. In voorliggend rapport wordt echter voor locaties waar de overschrijdingsfactor minder dan 0,1 bedraagt geen FN-curve meer berekend.



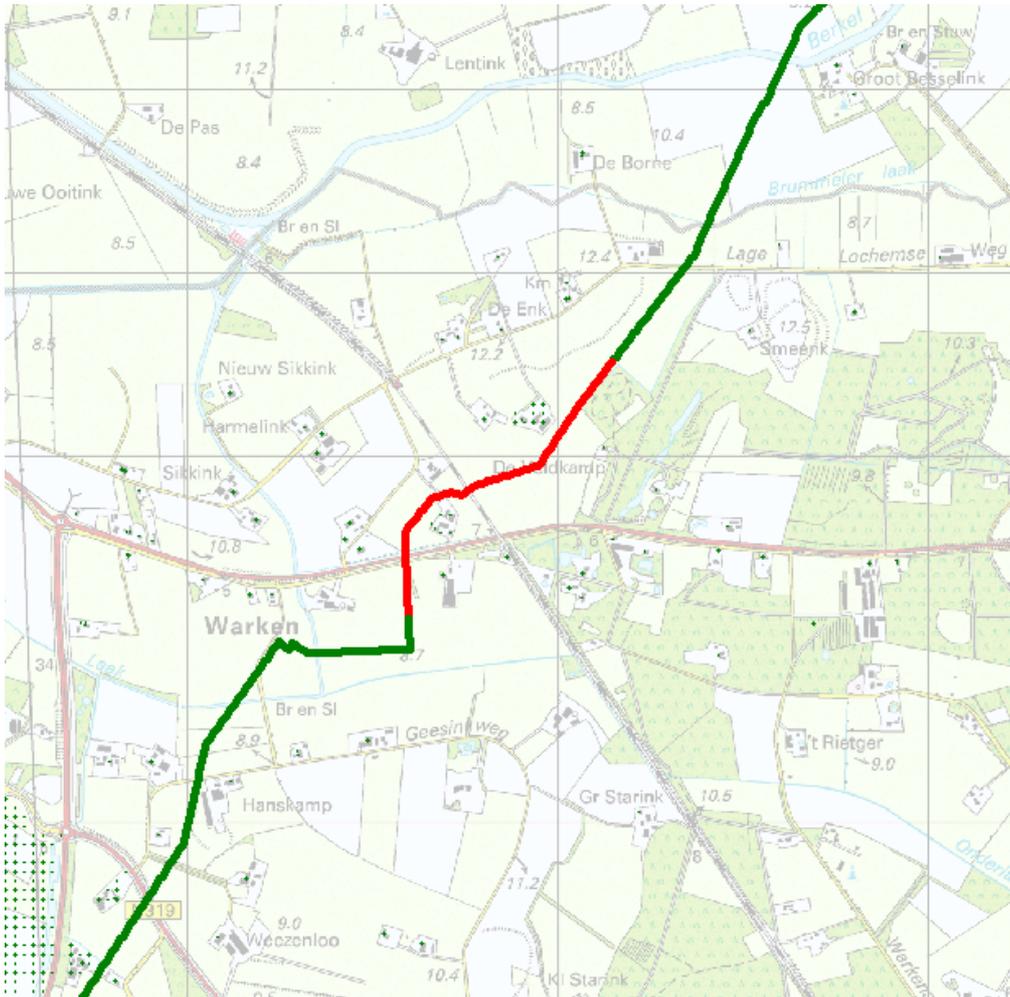
Figuur 39: FN-curve voor stationing 13000 m -14000 m (gemeente Raalte).



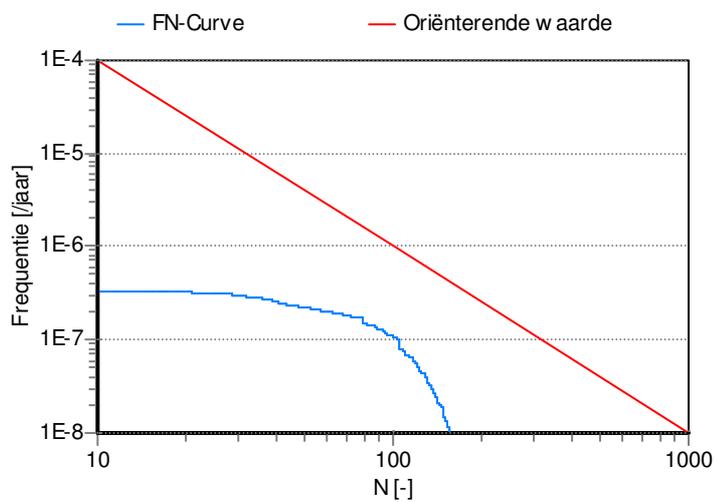
Figuur 40: Leidingsegment, waarvoor de FN-curve uit Figuur 39 is berekend, in rood weergegeven.



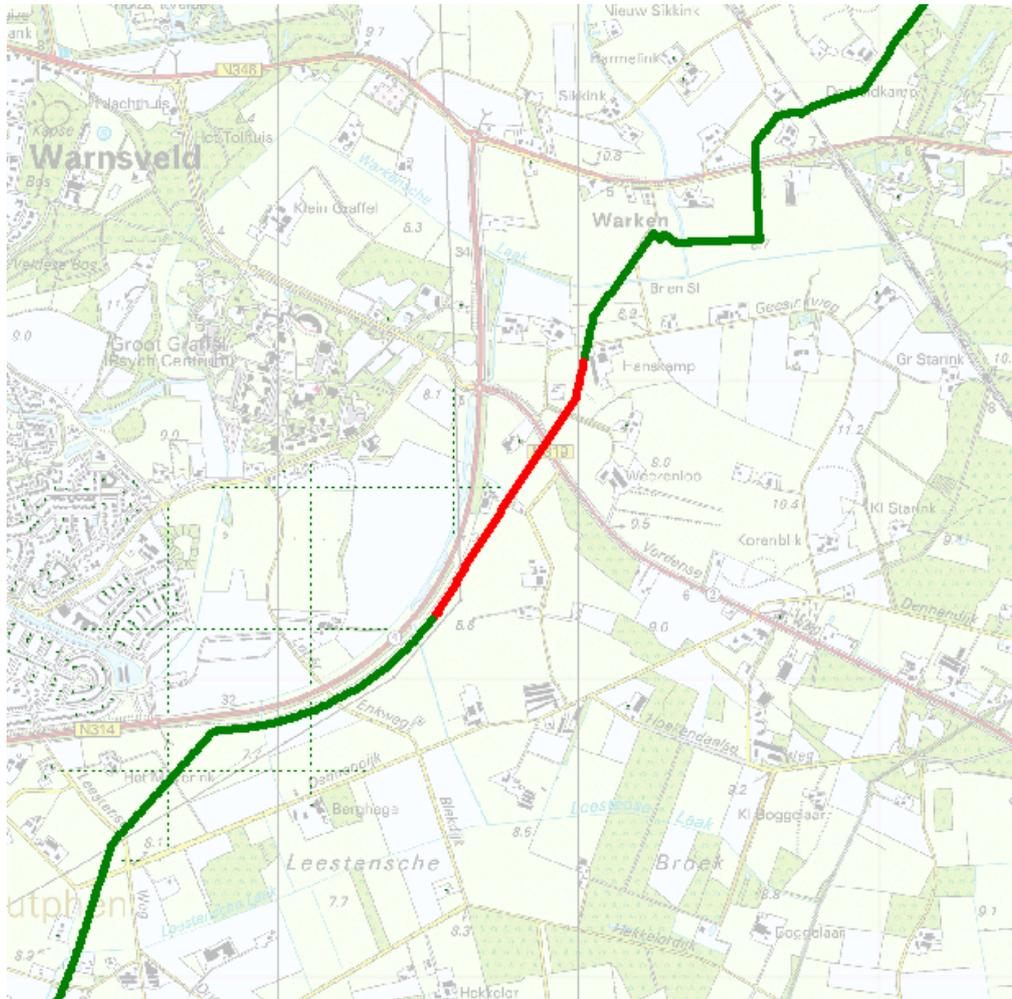
Figuur 41: FN-curve voor stationing 41600m – 42600m (gemeente Zutphen).



Figuur 42: Leidingsegment, waarvoor de FN-curve uit Figuur 41 is berekend, in rood weergegeven.



Figuur 43: FN-curve voor stationing 43600m – 44600m (gemeente Zutphen).



Figuur 44: Leidingsegment, waarvoor de FN-curve uit Figuur 43 is berekend, in rood weergegeven.

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] Post J.G., Kooi E.S., Weijts J., *Ontwikkelingen van het groepsrisico rond Schiphol, 1990 – 2010*, RIVM rapport 620100004, 2005.

- [14] BügelHajema Adviseurs, *Gegevens QRA berekeningen voor nieuwe ontwikkelingen MER 3: Ommen-Angerlo*, 500.17.50.00.01, 21 juli 2008.

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 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.

Verzendlijst

Archief

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

TL (H.J. Brink, E.E. Lycklama a Nijeholt)

V (D. van den Brand)

EKC