

RIVM rapport 620120001/2006

**Risicoanalyse voor buisleidingen
met brandbare vloeistoffen**

A.A.C. van Vliet, G.M.H. Laheij, A.G. Wolting

Dit rapport bevat een disclaimer op de laatste pagina 16 oktober 2007

Contactpersoon: AAC van Vliet
Centrum Externe Veiligheid
Email: andre.van.vliet@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieu, Directoraat Generaal Milieu, Directie Externe Veiligheid, in het kader van project 620120, 'Buisleidingen'.

RIVM, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven, telefoon: 030 - 274 91 11; fax: 030 - 274 29 71

Abstract

Risk analysis for flammable liquid pipelines

The minimum safety distances between flammable liquid pipelines and residences can stay the same or become smaller. This is concluded after a recalculation of distances from a 1991 circular letter. In the Netherlands, crude oil and petroleum products are transported through an underground pipeline network of about 1850 kilometres in length. To limit the number of casualties in case of incidents, minimum distances between these pipelines and buildings should be held. In this report new opinions are given which justify modification of these distances. The height of the risk, presented through individual and societal risk, is leading for the distance to be kept or the population density allowed. This leads to 35 potential bottlenecks, caused by about 3 kilometres of pipeline. A total number of about 140 houses is situated too close to the pipelines.

Key words: pipeline; transmission line; flammable liquid; external safety

Rapport in't kort

Risicoanalyse voor buisleidingen met brandbare vloeistoffen

De minimale veiligheidsafstanden tussen buisleidingen met brandbare vloeistoffen en bebouwingen kunnen gelijk blijven of iets verkleind worden. Dit is de conclusie na een herberekening van de afstanden uit een circulaire uit 1991. In Nederland ligt zo'n 1850 kilometer aan ondergrondse buisleiding waardoor aardolie en aardolieproducten worden getransporteerd. Om bij incidenten het aantal slachtoffers te beperken dient voor bebouwing een minimale veiligheidsafstand tot deze leidingen te worden aangehouden. In dit rapport zijn nieuwe inzichten beschreven die wijziging van deze afstanden rechtvaardigen. De hoogte van het risico, uitgedrukt in plaatsgebonden risico en groepsrisico, is bepalend voor de aan te houden afstand en personendichtheid. Voor dit onderzoek zijn ook de afstanden berekend voor buisleidingen waarvoor in de circulaire van 1991 geen afstand was aangegeven. Hieruit blijkt dat er 35 mogelijke knelpunten zijn, veroorzaakt door 3 kilometer aan buisleidingen. In het totaal gaat het om circa 140 woningen die te dicht bij de leidingen staan.

Trefwoorden: buisleiding; transportleiding; brandbare vloeistof; externe veiligheid

Inhoud

Summary	5
Samenvatting	7
1. Inleiding	9
2. Opzet berekening risicoafstanden	11
2.1 <i>Algemeen</i>	11
2.2 <i>Keuze van voorbeeldstoffen</i>	12
2.3 <i>Faalfrequenties en ontstekingskansen</i>	12
2.3.1 <i>Inventarisatie VELIN</i>	13
2.3.2 <i>Ontstekingskansen</i>	14
2.4 <i>Uitstromingsscenario's</i>	15
2.4.1 <i>Breuk</i>	15
2.4.2 <i>Lek</i>	17
2.4.3 <i>Voortschrijdend inzicht uitstroombenodigdheden</i>	18
2.5 <i>Plasgrootte</i>	20
3. Rekenresultaten	23
3.1 <i>Klasse 1 vloeistoffen</i>	23
3.2 <i>Klasse 2 en klasse 3 vloeistoffen</i>	25
3.3 <i>Groepsrisico</i>	25
4. Analyse van potentiële knelpunten	27
4.1 <i>Methodiek</i>	27
4.1.1 <i>Selectie buisleidingen</i>	27
4.1.2 <i>Potentiële knelpunten</i>	28
4.2 <i>Resultaten analyse</i>	30
5. Conclusies	31
Begrippenlijst	33
Literatuur	37

Bijlagen

Bijlage A	Casuïstiek buisleidingen	41
Bijlage B	Overzicht dwarsdoorsneden risicocontouren	45
Bijlage C	Risicoreducerende maatregelen	51
Bijlage D	Parameters risicoberekeningen	53
Bijlage E	Selectie van woningen en potentiële knelpunten	57
Bijlage F	Leden begeleidingscommissie	59

Summary

In the Netherlands, crude oil and petroleum products are transported through an underground pipeline network of about 1850 kilometres in length. The present planning and verification-distances for flammable liquid transmission pipelines date from 1991. In the circular letter announcing these distances the planning-distance is equal to the individual risk contour of 10^{-6} per year and the verification-distance is equal to the 10^{-8} per year contour.

Checked is whether the table with distances for class 1, class 2 and class 3 flammable liquid pipelines is still up to date. The individual and societal risks are recalculated according to the present opinions. In order to link to recent research, also a short literature study has been carried out.

The risks are quantified with a generic method. Individual risk (IR) contours and societal risk are calculated for pipelines with diameters varying from 8 to 36 inches. For class 1 flammable liquids (flashpoint $< 21^{\circ}\text{C}$), all pipelines have 10^{-6} per year IR-contours. This contour reaches about 30 metres for the 36 inch pipeline, which corresponds to the maximum radius of liquid pool formed on the occurrence of a pipeline rupture. For class 2/3 liquids (flashpoint $> 21^{\circ}\text{C}$) no IR-contours of 10^{-6} per year are present. For societal risk the orientation value is not exceeded for both all liquid classes.

The distances as calculated in this report, are also reported for pipelines larger than those given in the 1991 circular letter. This results in a potential number of bottlenecks where houses are situated within the IR contour of 10^{-6} per year of these pipelines. An analysis of about 1850 pipeline kilometres leads to 35 potential bottlenecks, containing about 140 houses too close to the pipelines. These bottlenecks were caused by about 3 kilometres of pipeline.

Samenvatting

In Nederland ligt circa 1850 kilometer aan ondergrondse buisleidingen waardoor aardolie en aardolieproducten worden getransporteerd. De huidige bebouwingsafstanden en toetsingsafstanden voor buisleidingen met brandbare vloeistoffen dateren uit 1991. In de circulaire waarin deze afstanden zijn weergegeven, is de bebouwingsafstand gelijk gesteld aan de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar en de toetsingsafstand aan de contour van 10^{-8} per jaar.

In dit onderzoek is nagegaan of de afstandentabel voor buisleidingen met brandbare vloeistoffen nog actueel is. De plaatsgebonden risico's en het groepsrisico zijn volgens de huidige inzichten herberekend. Om aan te sluiten bij recent onderzoek op dit terrein is bovendien een korte literatuurstudie uitgevoerd.

Door middel van een generieke methode worden de risico's gekwantificeerd. Voor buisleidingen van verschillende diameters, variërend van 8 inch tot 36 inch, zijn de plaatsgebonden risicocontouren en het groepsrisico berekend. Voor de klasse 1 brandbare vloeistoffen (vlampunt < 21 °C) is er voor alle diameters een plaatsgebonden risico van 10^{-6} per jaar. Voor een buisleiding met de grootste diameter (36 inch) ligt deze contour op maximaal 30 meter. Deze afstand komt overeen met de maximale straal van de vloeistofplas die kan ontstaan wanneer er een breuk optreedt van een buisleiding. De gevonden afstanden zijn kleiner dan de afstanden in de huidige circulaire. Voor klasse 2 en klasse 3 vloeistoffen (vlampunt > 21 °C) zijn er geen plaatsgebonden risicocontouren van 10^{-6} per jaar. Voor het groepsrisico is zowel voor alle klassen vloeistoffen vastgesteld dat, ook bij hoge bevolkingsdichtheden, de oriëntatiewaarde niet wordt overschreden.

In dit rapport worden ook afstanden gegeven voor buisleidingen waarvoor in de circulaire van 1991 geen afstand was aangegeven. Dit leidt tot een aantal potentiële knelpunten waarbij woningen binnen de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar kunnen vallen. Een analyse van circa 1850 kilometer buisleidingen van dit type in Nederland leverde 35 potentiële knelpunten op, veroorzaakt door circa 3 kilometer aan buisleidingen. Het gaat om 35 locaties waar in totaal circa 140 woningen te dicht bij de leidingen staan.

1. Inleiding

In Nederland ligt circa 1850 kilometer aan ondergrondse buisleidingen waardoor aardolie en aardolieproducten worden getransporteerd [VELIN 04]. De huidige bebouwingsafstanden en toetsingsafstanden voor ondergrondse buisleidingen met brandbare vloeistoffen dateren uit 1991. Deze afstanden zijn vastgelegd in de circulaire 'Bekendmaking van beleid ten behoeve van de zonering langs transportleidingen voor brandbare vloeistoffen van de K1, K2 en K3-categorie' [Vrom 91]. In deze circulaire is de bebouwingsafstand gelijk gesteld aan de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar en de toetsingsafstand aan de contour van 10^{-8} per jaar.

In dit rapport is nagegaan of de afstandentabel uit de genoemde circulaire nog actueel is. Het plaatsgebonden risico en het groepsrisico zijn volgens de inzichten van CPR 18 [CPR 99] herberekend. Om aan te sluiten bij recent onderzoek naar buisleidingen met brandbare vloeistoffen is bovendien een kort literatuuronderzoek uitgevoerd.

Voor welke soorten buisleidingen de afstanden zijn bepaald, leest u in hoofdstuk 2. Tevens wordt aangegeven wat de meest relevante keuzen zijn geweest voor de risicoberekeningen. Er wordt onder andere ingegaan op de gebruikte uitstroomscenario's, faalfrequenties en ontstekingskansen. De afstanden die in dit rapport berekend zijn, vindt u in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt aangegeven hoeveel potentiële knelpunten er ontstaan wanneer de berekende afstanden integraal in nieuw beleid zouden worden geïmplementeerd. Definities van de belangrijkste begrippen vindt u op pagina 33 van dit rapport.

De werkzaamheden zijn ondersteund door een begeleidingsgroep met vertegenwoordigers uit overheid en industrie. De leden van de begeleidingsgroep zijn vermeld in Bijlage F.

2. Opzet berekening risicoafstanden

2.1 Algemeen

Bij het opstellen van de generieke afstandentabellen voor buisleidingen¹ met klasse 1, 2 en 3 brandbare vloeistoffen is een aantal uitgangspunten opgesteld. Een drietal algemene punten is in deze paragraaf toegelicht.

1. Bij het opstellen van de afstandentabellen is alleen rekening gehouden met de externe veiligheidsrisico's. Eventuele milieurisico's zijn hierin niet meegenomen. Voor deze aspecten wordt verwezen naar de richtlijn NEN 3650 [NEN 03].
2. Voor de afstanden is in dit rapport uitgegaan van de plaatsgebonden risicocontouren van 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} en 10^{-8} per jaar. De risicoafstanden wordt berekend voor de meest voorkomende leidingdiameters (zie Tabel 1).
3. In het geval van het transport van een toxische vloeistof, een vloeistof die toxische producten bevat of die bij verbranding toxische verbrandingsproducten kan vormen, dient ten aanzien van de toxische effecten een specifieke risicoberekening te worden uitgevoerd. De in dit rapport vermelde afstanden zijn niet geldig voor dergelijke leidingen.
4. Er wordt geen rekening gehouden met explosie-effecten. Wanneer er een stof wordt getransporteerd die bij vrijkomen kan leiden tot een gaswolkexplosie, is een specifieke risicoanalyse nodig.

Tabel 1 Buisleidingen waarvoor afstanden berekend zijn.

Diameter (inch)	klasse 1	klasse 2	klasse 3
8	✓	✓	✓
12	✓	✓	✓
16	✓	✓	✓
24	✓	✓	✓
28	✓		
30	✓		
34	✓		
36	✓		

¹ Een definitie van de klassen is opgenomen in de Begrippenlijst

2.2 Keuze van voorbeeldstoffen

Bij de berekeningen van de afstanden wordt voor elke klasse brandbare vloeistoffen een voorbeeldstof geselecteerd. In principe wordt op basis van de S3b methode [AVIV 99] een keuze gemaakt voor de voorbeeldstof. Bij de keuze van de voorbeeldstof voor K1 is hier van afgeweken – er is gekozen voor n-octaan, in plaats van n-pentaaan. Een explosie van n-pentaaan zou namelijk een onrealistisch grote bijdrage aan het risico geven in vergelijking met de stoffen die in praktijk door de buisleidingen worden getransporteerd. Dit zou leiden tot een overschatting van de risico's.

In Tabel 2 wordt voor de verschillende klassen stoffen aangegeven wat de representatieve stof is en welke voorbeeldstof gebruikt is. Deze voorbeeldstoffen hebben hun vlampunt in het midden van het vlampuntgebied van de betreffende vloeistofcategorie.

Aangezien de ontstekingskansen voor de klassen 2 en 3 gelijk gesteld worden², zijn deze voor de berekeningen samengevoegd. De berekende risico's voor klasse 3 zijn hierdoor conservatief.

Tabel 2 Keuze voorbeeldstoffen

Vloeistof klasse	Vlampunt (°C)	Representatieve stof	Voorbeeldstof	Dichtheid voorbeeldstof	Vlampunt voorbeeldstof (°C)
klasse 1	0 - 21	benzine	n-octaan	703 kg/ m ³	12°C
klasse 2	21 – 55	kerosine	} n-nonaan	718 kg/ m ³	31°C
klasse 3	> 55	gasolie			

2.3 Faalfrequenties en ontstekingskansen

Er zijn verschillende bronnen voor faalfrequenties van buisleidingen met brandbare vloeistoffen. Een overzicht van faalfrequenties is weergegeven in Tabel 3. Een analyse van een dataset uit de CONCAWE³ database voor buisleidingen in Nederland levert een specifieke faalfrequentie op voor de Nederlandse buisleidingen⁴.

Bij het falen van een leiding zijn twee uitstromingsscenario's te onderscheiden. Deze scenario's, 'breuk' en 'lek' worden in paragraaf 2.4 beschreven.

Aangezien de faalfrequenties alle in dezelfde orde grootte liggen, wordt er conform CPR 18 [CPR 99] gerekend met een faalfrequentie van $6,1 \times 10^{-4}$ per jaar en een waarschijnlijkheid

² Voor een verdere onderbouwing, zie paragraaf 2.3.2.

³ CONCAWE is in 1963 opgericht door een kleine groep van oliemaatschappijen om voor de olie-industrie relevant milieuonderzoek te verrichten. Al meer dan 30 jaar verzamelt CONCAWE feiten en statistieken ten aanzien van incidenten en lekken gerelateerd aan Europese buisleidingen (zie ook: www.concawe.be).

⁴ Bijlage A bevat de resultaten van de analyse.

voor lek en breuk van 0,75 respectievelijk 0,25. Deze verhouding komt overeen met de uitkomsten van de analyse van de incidenten in de CONCAWE database.

Tabel 3 Faalfrequenties van buisleidingen

Bron	Faalfrequentie (km⁻¹jaar⁻¹)	Leiding
[CPR 99]	$6,1 \times 10^{-4}$	NEN 3650-leidingen
[HSE 99]	$4,2 \times 10^{-4}$	Leidingen met een wanddikte van 5 – 10 millimeter
VELIN	$2,4 \times 10^{-4}$	Nederlandse leidingen volgens opgave van VELIN-leden
[CON 02]	$6,1 \times 10^{-4}$	Gemiddelde Europese leiding over de laatste 30 jaar
CONCAWE database	$7,6 \times 10^{-4}$	Analyse Nederlandse leidingen in de CONCAWE database over de periode 1990-2004

Voor aardgasbuisleidingen worden de faalfrequenties op basis van een breukmechanicamodel vastgesteld. In het breukmechanicamodel [BG 87] van Gasunie wordt voor de kans op leidingbreuk, gegeven dat een leiding wordt geraakt, afgeleid op basis van waargenomen krasdieptes en kraslengtes. Typische parameters in het model zijn de druk in de leiding, de diameter, wanddikte en de staalsoort. Voor buisleidingen met brandbare vloeistoffen ontbreken de gegevens om tot een aangepast breukmechanicamodel te komen. Het toepassen van de casuïstiek van Gasunie voor vloeistofleidingen zou wellicht mogelijk zijn, maar enkel met aanpassingen, omdat er sprake is van een ander medium met andere eigenschappen (fase, dichtheid, corrosie etc.). De invloed van de verfijning van de modellering van ‘external interference’ is bij buisleidingen met brandbare vloeistoffen minder groot dan bij hoge druk aardgasleidingen. De bijdrage van ‘external interference’ is namelijk veel kleiner bij buisleidingen met brandbare vloeistoffen (circa 50% om circa 99%).

2.3.1 Inventarisatie VELIN⁵

Ter onderbouwing van de faal- en ontstekingskansen bij buisleidingen met brandbare vloeistoffen, heeft de VELIN eind 2004 een inventarisatie onder haar leden gehouden. Acht bedrijven hebben naar aanleiding hiervan informatie aangeleverd. De gegevens van de meeste buisleidingen beslaan de periode van de laatste 30 jaar. Uit deze aangeleverde gegevens blijkt dat op een totaal van circa 86.000 kilometerjaar buisleiding, 21 lekkages van brandbare vloeistoffen zijn geweest waarbij hulpverleningsdiensten betrokken waren. Dit geeft een faalfrequentie van $2,4 \times 10^{-4}$ per kilometer per jaar. Geen van deze lekkages heeft tot brand geleid. Ter vergelijking, in [HSE 99] wordt een totaal van 330 lekkages in 30 jaar gemeld, waarvan er zes, direct of vertraagd, zijn ontstoken.

De gegevens van CONCAWE en de inventarisatie door de VELIN met betrekking tot de faalfrequenties van buisleidingen zijn van dezelfde orde van grootte als de faalfrequentie uit CPR 18 [CPR 99]. In Bijlage A staan de vragen van de VELIN en de antwoorden van haar leden.

⁵ VELIN: de Vereniging van Leidingeigenaren in Nederland.

2.3.2 Ontstekingskansen

Voor klasse 1 vloeistoffen wordt aangenomen dat er bij een incident altijd ontsteking optreedt. Er is een kans op direct onsteken en een kans op vertraagd onsteken. Directe ontsteking leidt tot een fakkel en een plasbrand. De vertraagde ontsteking leidt alleen tot een vertraagde plasbrand, met de bijbehorende warmtestralingseffecten.

Voor een klasse 2 of klasse 3 vloeistof wordt alleen directe ontsteking meegenomen. Omdat een brandbare damp boven de vloeistof ontbreekt, is het aannemelijk dat er geen vertraagde ontsteking optreedt⁶. De verschillende ontstekingskansen zijn weergegeven in Tabel 4.

In [HSE 99] worden ontstekingskansen gehanteerd die afhankelijk zijn van de omgeving. De kansen op directe ontsteking en vertraagde ontsteking zijn gelijk. Zo is de totale ontstekingskans bij breuk in landelijk gebied 0,031 en in stedelijk gebied 0,062. Hiernaast wordt er onderscheid gemaakt tussen de ontstekingskansen bij breuk en bij lekkage. De ontstekingskansen bij lekkage zijn 20% van de ontstekingskansen bij breuk.

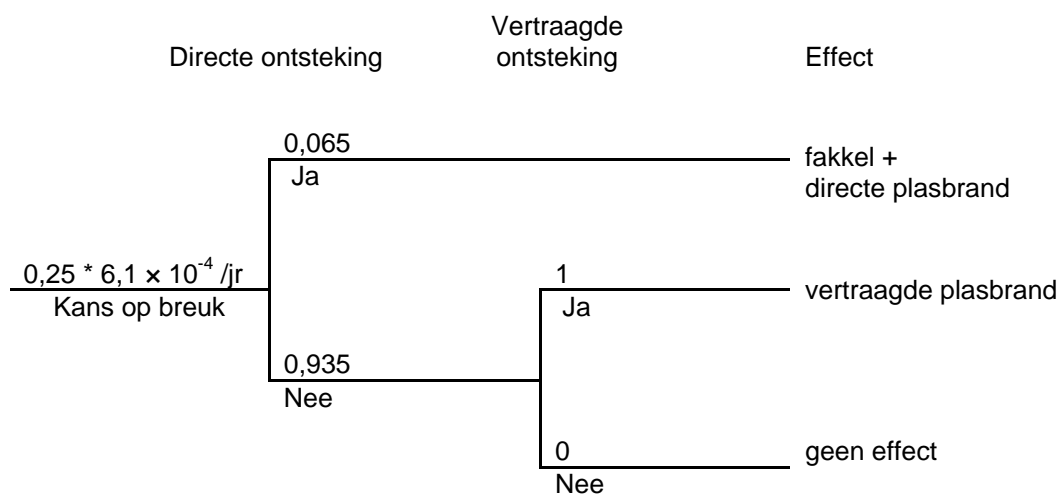
Tabel 4 Ontstekingskansen voor verschillende stofcategorieën⁶

Vloeistof categorie	Kans op directe ontsteking	Kans op vertraagde ontsteking
klasse 1	0,065	1 – 0,065
klasse 2 / 3	0,01	-

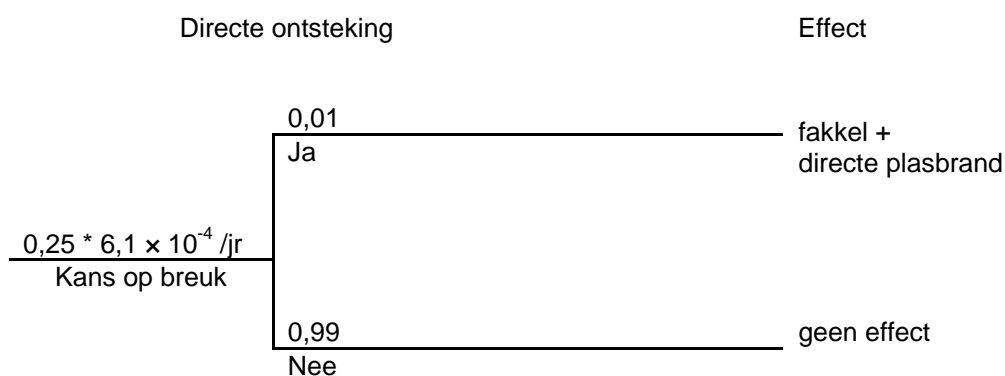
De gebeurtenissenboom voor de uitstroming van klasse 1 en klasse 2 / 3 vloeistoffen bij het scenario breuk zijn in Figuur 1 en Figuur 2 weergegeven. Explosie is als effect niet meegenomen. Uit de literatuur [SLP 83] is gebleken dat dit effect voor gasmengsels in het vrije veld uitermate onwaarschijnlijk is.

⁶ Voor verdere onderbouwing van de ontstekingskansen, zie Bijlage E.

Figuur 1 Gebeurtenissenboom voor een breuk van een pijpleiding met verticale uitstroming van een klasse 1 vloeistof



Figuur 2 Gebeurtenissenboom voor een breuk van een pijpleiding met verticale uitstroming van een klasse 2 of klasse 3 vloeistof



2.4 Uitstromingsscenario's

In CPR 18 worden twee uitstromingsscenario's onderscheiden, ook wel Loss Of Containment events (LOC's) genoemd. Deze scenario's, 'breuk' en 'lek' worden hieronder beschreven.

2.4.1 Breuk

In de literatuur wordt niet eenduidig gesproken over het scenario 'breuk'. Zo wordt in [HSE 99], een breuk (rupture) gedefinieerd als 'een lekkage groter dan de helft van de diameter van de buisleiding' en in [CON 02], als een scheur van '75 mm of langer \times 10 % van de minimale breedte'. Naast breuk en lek worden in [CON 02] ook fissure (spleet/barst), hole (gat/opening) en split (breuk/scheuring) gedefinieerd.

Er zijn verschillende scenario's hoe een breuk in een buisleiding kan ontstaan. Hierdoor zijn er ook verschillende manieren waarop dit scenario gemodelleerd kan worden. De standaard modellering gaat uit van een guillotinebreuk. Scheurpropagatie in de omtrek van de buis is niet waarschijnlijk. Daarom acht de VELIN een guillotinebreuk niet waarschijnlijk, behalve bij een aardverschuiving zoals in berg- en mijnbouwgebieden.

Uit een vergelijking van de toegepaste modelleringen van de uitstroming voor aardgas [GU 00] blijkt dat er geen grote verschillen in uitstroming tussen de benaderingen breuk en scheur zijn. Dit houdt in dat deze scenario's op een uniforme manier berekend kunnen worden.

Voor de uitstroomberekeningen is aangesloten bij de methodiek die gehanteerd is voor de huidige circulaire. De bepaling van de uitstroomhoeveelheid is daardoor gebaseerd op de onderliggende notities voor de circulaire. Voornamelijk is uitgegaan van de notities 'bronsterkte berekening vlakke leidingen' [Vrom 86A] en 'leegloop hellende leidingen' [Vrom 86B]. De uitstroom na een breuk van een leiding is daarbij opgesplitst in een drietal stappen.

De stappen die bijdragen aan de uitstroom zijn:

1. De vloeistof die vrijkomt binnen de sluittijd van de pomp (maximaal 1 minuut).
Deze hoeveelheid wordt berekend door de afslagtijd van de pomp te vermenigvuldigen met het gemiddelde pompdebiet.
Wanneer [Vrom 86A] geen afslagtijd en pompdebiet geeft voor een gewenste diameter, zijn deze geschat.
2. Uitstroming tengevolge van de expansie van de samengedrukte vloeistof.
Deze zogenoemde line-pack wordt berekend uitgaande van een leidinglengte van 50 km. De line-pack wordt berekend met de formule:

$$Ve = \pi/4 \times D^2 \times L \times P \times Ce$$

Waarbij:

- Ve = volume toename van het product (m³);
 D = inwendige diameter van de buisleiding (m);
 L = totale leidinglengte (m);
 P = druk ter plaatse van het lek (MPa);
 Ce = compressibiliteit van het product (m²/N).

3. Leegloop van de hellende leiding.

Voor de leegloop van de hellende leiding wordt uitgegaan van een leidinglengte van 1 km met een hoogteverschil van 10 meter. De leegloop is dan gelijk aan de inhoud van de leiding. Deze stap geeft de grootste bijdrage aan de uitstroom.

$$\text{Leegloop} = \pi \times R^2 \times L$$

Waarbij:

R = straal van de buisleiding (m);

L = leidinglengte (m).

De totale uitstroom van de drie stappen komt overeen met de uitstroom zoals beschreven in de bovengenoemde notities. De uitstroomduur is geschat op basis van de gemiddelde uitstroomsnelheid. Deze gemiddelde uitstroomsnelheid is gebaseerd op het pompdebiet en is berekend door uit te gaan van een transportsnelheid van 1 meter per seconde. Vermenigvuldiging van dit specifieke volume met het soortelijk gewicht geeft de gemiddelde uitstroomsnelheid. In de berekeningen is geen rekening gehouden met het ontstaan van een krater.

2.4.2 Lek

Er kan onderscheid gemaakt worden tussen twee soorten lekkages, namelijk lekkages ten gevolge van corrosie (pinholes) en andere lekkages. Dit onderscheid wordt gemaakt omdat corrosielekken in het algemeen zeer klein zijn (1 liter/uur versus een normaal debiet van 1200 m³/uur). Deze zullen geen substantiële risicobijdrage leveren. Zij leiden enkel tot het ontstaan van een met vloeistof verzadigde bodem.

Een lek wordt volgens [CPR 99] gemodelleerd als uitstroming uit een 20 mm gat in de buisleiding. Zoals in Tabel 5 is aangegeven bedraagt de gemiddelde uitstroom voor een 8 inch leiding bij een breuk 22,7 kg/s. Een lekkage resulteert in een veel kleinere uitstroom. Het scenario 'lek' heeft hierdoor geen significante invloed op de ligging van de plaatsgebonden risicocontouren. Dit geldt niet in het geval van toxische vloeistoffen of vloeistoffen die toxische producten bevatten⁷.

⁷ Zoals gemeld in paragraaf 2.1.

2.4.3 Voortschrijdend inzicht uitstroombesnoeiing

Het RIVM heeft verschillende incidenten doorgesproken met de daarbij betrokken leidingbeheerders⁸. Deze incidenten hebben betrekking op de hele, in het rapport beschouwde reeks van buisleidingen. De besproken incidenten hebben alle plaatsgevonden in landelijk gebied. Uit deze gesprekken zijn een aantal bevindingen af te leiden.

De uitstroom ten gevolge van een groot gat gaat gepaard met kratervorming en een verticale fontein van vloeistof (spuiter). De hoeveelheid vloeistof die in eerste instantie bovengronds komt, is beperkt tot de inhoud van de spuiter ten gevolge van de expansie van de samengeperste vloeistof. Verdere verspreiding vindt plaats in de ondergrond. De drukloze vloeistof volgt de weg van de minste weerstand en verplaatst zich door de geroerde grond en eventuele drainagebuizen. De verplaatsing van de vloeistof in de ondergrond is vooral een milieuprobleem. Op plaatsen waar de vloeistof, via drainagebuizen, uitstroomt op het oppervlaktewater is echter een kans op ontsteken aanwezig. In generieke risicoberekeningen wordt hier geen rekening mee gehouden, waardoor deze uitstroom geen bijdrage levert.

De uitstroom ten gevolge van een klein gat gaat niet gepaard met kratervorming of een spuiter. De vloeistof verspreidt zich in de ondergrond waardoor er verkleuring van de ondergrond kan optreden. De vloeistof volgt ook in deze gevallen de weg van de minste weerstand en verplaatst zich door de geroerde, bewerkte, grond en eventuele drainagebuizen. Hoewel de detectiemethoden ook beperkte verliezen kunnen meten, kunnen kleine lekkages onder de detectiegrens blijven. Wanneer de lekkage langere tijd onopgemerkt blijft, kan ook een klein lek leiden tot een groot te saneren gebied.

Op basis van deze bevindingen kan worden geconcludeerd dat de bovengronds gevormde plassen veroorzaakt worden door de spuiter. De uitstroom ten gevolge van de hellende leiding volgt de weg van de minste weerstand door de ondergrond en heeft niet voldoende impuls om de vloeistof bovengronds te laten komen. De bijdrage van de hellende leiding (stap 3, paragraaf 2.4.1) komt in de risicoberekeningen te vervallen. Bij kleine lekkages treedt er geen plasvorming op, maar enkel een verzadiging van de ondergrond.

De doorgesproken incidenten hebben alle plaatsgevonden in landelijk gebied. De conclusies zijn echter ook van toepassing op uitstromen in de bebouwde omgeving. Er is namelijk ook daar sprake van geroerde grond en afvoer kan plaatsvinden via een riolering.

De bijdrage van de verschillende stappen in de berekening, na weglaten van de bijdrage van de leegloop van de hellende leiding is weergegeven in Tabel 5.

⁸ Bedrijf A (CONCAWE nr. 46) met buisleidingen < 12 inch. Twee incidenten, één ten gevolge van drainage, de ander door een diepwoeler. Beide incidenten vonden plaats in een landelijke omgeving. De uitstroom was in beide gevallen meer dan 10 m³. Bedrijf B (CONCAWE nr. 50) met buisleidingen > 12 inch. Drie incidenten, twee ten gevolge van drainage, de ander betrof een materieel defect. De incidenten vonden plaats in een landelijke omgeving. De uitstroom betrof twee maal meer dan 10 m³ en een maal minder dan 1 m³.

2.5 Plasgrootte

Een belangrijke parameter voor het bepalen van de effecten is de grootte van de te vormen vloeistofplas. Uit de casuïstiek zijn helaas weinig gegevens bekend over plashoogte en plasgrootte. In Tabel 6 is een overzicht gegeven van de in diverse bronnen gehanteerde plasafmetingen.

Tabel 6 Overzicht van maximale afmetingen van gevormde plas bij een 36 inch leiding

Bron	Plasstraal (m)	Oppervlakte (m ²)	Plashoogte (m)	Inhoud (m ³)
Circulaire 1991 [Vrom 91]	25	1962	0,1	196
UK HSE [HSE 99]	50	7850	-	-
CONCAWE [CON 02]	178	100000	0,006	630
CPR 18 Deel 1 [CPR 99]			max. 0,05	
CPR 18 Deel 2 [CPR 99]	31	3000	0,1	300
Deze rapportage	28	2500	0,05	125

Bij de berekeningen in het kader van de circulaire lag de nadruk op het ontstaan van een plasbrand waarbij een criterium voor warmtebelasting en een voor vlamcontact werd gebruikt [Vrom 86D]. Hierbij is uitgegaan van een maximale straal van de plas van 25 meter en een plashoogte van 0,1 meter⁹.

In [HSE 99] beperkt men zich tot een plasbrand en wordt geen rekening gehouden met het ontstaan van bijvoorbeeld een fakkel (jet flame) of wolkbrand (flash-fire). Daarbij wordt uitgegaan van een maximale plasgrootte van 7850 m² (dit komt overeen met een cirkelvormige plas met een straal van 50 m). Dit is aanzienlijk groter dan het gestelde maximum van 3000 m² in Deel 2 van CPR 18 [CPR 99].

Gegevens van CONCAWE [CON 02] vermelden als maximale lozingsvolume 630 m³ en een plasgrootte van maximaal 100.000 m². Deze gegevens beslaan alle aan CONCAWE gemelde incidenten vanaf 1971. Ook kan volgens de branche¹⁰ bij het ontbreken van een leiding-detectiesysteem in totaal ongeveer 600 m³ wegstromen.

In de circulaire 1991 werd uitgegaan van een uitstroming vanuit een hellende leiding (zie de drie stappen in paragraaf 2.4.1) en een plashoogte van 0,10 meter. Gezien de grootte van de uitstroom was deze plashoogte verdedigbaar, omdat aangenomen mag worden dat niet de gehele uitstroom aan het oppervlak plaats zou vinden. In de huidige berekeningen wordt, naar aanleiding van de bevindingen van de onderzochte incidenten, aangenomen dat enkel de inhoud van de fontein van vloeistof leidt tot een plas (paragraaf 2.4.3). Dit levert een reductie

⁹ In de circulaire worden afstanden gegeven voor leidingen met een maximale diameter van 12 inch.

¹⁰ Email van R. Ligthart (Shell) aan R. van Loo (VROM), 15-07-2002.

van de uitstroom naar het maaiveld van circa 85%. Er wordt voor de plashoogte aangesloten bij de CPR 18 [CPR 99]. De plashoogte bedraagt 0,05 meter, de plasgrootte beperkt zich tot circa 2500 m².

3. Rekenresultaten

Bij de berekeningen voor het plaatsgebonden risico en het groepsrisico is de faalfrequentie van het leidingsegment van 1 kilometer verdeeld over 100 punten op de leiding met een afstand tussen de uitstroomlocaties (spacing event/failure interval) van 10 meter. Verdere aanvullende parameterinstellingen staan in Bijlage D. De risico's zijn berekend met het rekenpakket Safeti 6.42 [DNV 04].

Het plaatsgebonden risico en het groepsrisico zijn beide op een generieke wijze berekend, uitgaande van de uitstroomscenario's zoals genoemd in paragraaf 2.4.1, rekening houdend met vervallen van de bijdrage van de hellende leiding, conform de inzichten uit paragraaf 2.4.3.

Het groepsrisico is indicatief berekend voor een 36 inch buisleiding met klasse 1 vloeistof. De gemodelleerde bevolking is uniform verdeeld met een dichtheid van 255 mensen per hectare¹¹ buiten de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar.

3.1 Klasse 1 vloeistoffen

De huidige circulaire geeft voor K1 leidingen afstanden voor diameters tot en met 12 inch, uitgaande van een hellende leiding en een plashoogte van 0,10 meter. Voor klasse 1 leidingen met diameters groter dan 12 inch worden in de circulaire geen afstanden aangegeven.

In deze rapportage zijn contouren berekend voor leidingen met een diameter tot en met 36 inch. Een overzicht van het plaatsgebonden risico als functie van de afstand tot de buis voor klasse 1 vloeistoffen is weergegeven in Figuur 3. Het scenario van de vertraagde plasbrand is, gezien de kansbijdrage van 0,935, bepalend voor de ligging van de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar. De ligging van deze contour komt, bij de veronderstelde ontstekingskans, vrijwel overeen met de maximale straal van de plas. Bij alle buisleidingdiameters is er sprake van een plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar. Een contour van 10^{-5} per jaar is bij geen van de diameters berekend.

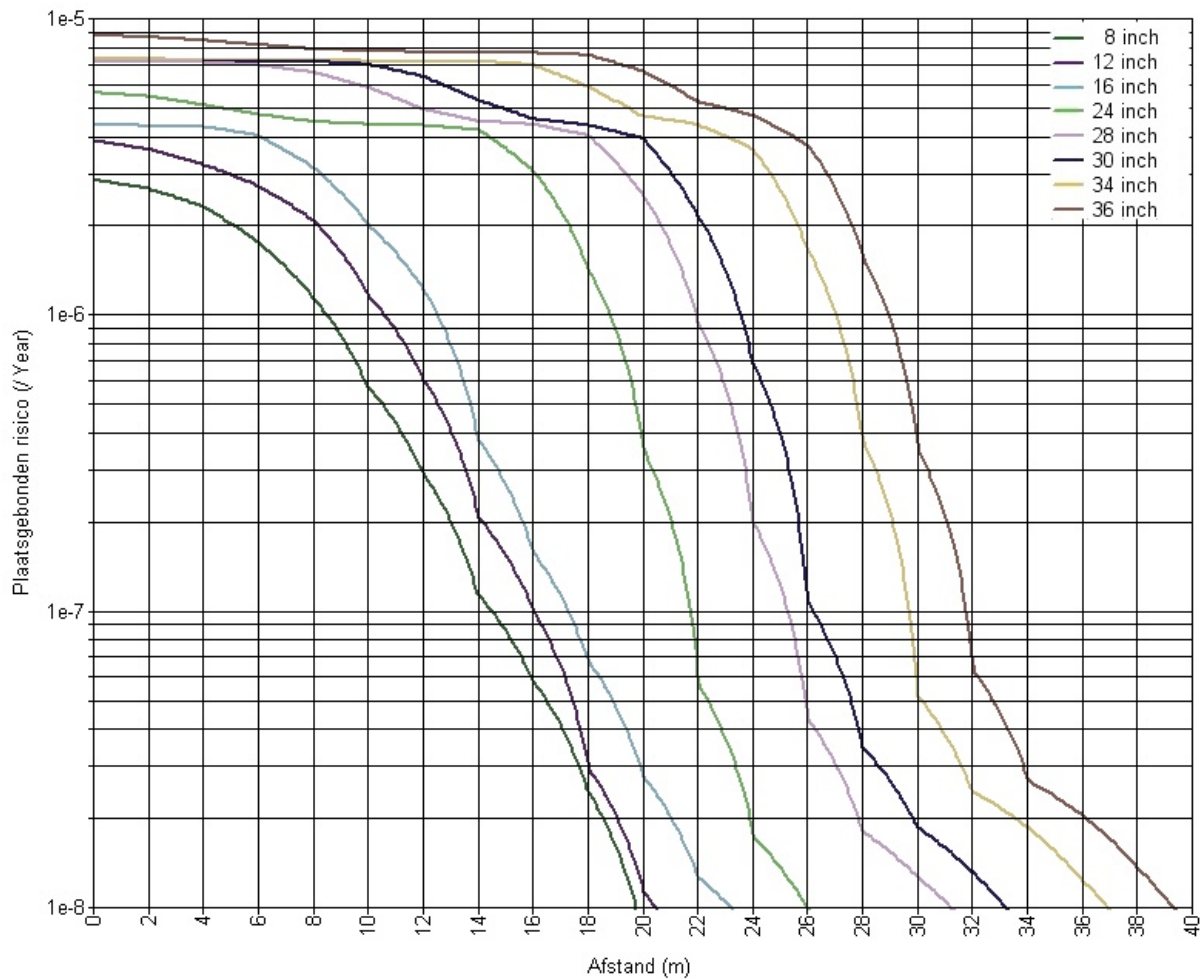
In Bijlage B worden de dwarsdoorsneden van de risicocontouren weergegeven op basis van de verschillende uitgangspunten:

- methode conform circulaire 1991, met een afwijkende plashoogte van 0,05 meter;
- methode conform circulaire 1991¹²;
- methode zonder bijdrage van de hellende leiding, met plashoogte van 0,05 meter;
- methode zonder bijdrage van de hellende leiding, met de plashoogte conform de circulaire 1991.

¹¹ Dit is de hoogste populatiedichtheid voor woningen die in PGS 1, deel 6 wordt aangegeven [PGS 03].

¹² In Bijlage D.4 is een tabel opgenomen met de uitstroom met leegloop uit een hellende leiding.

Figuur 3 *Dwarsdoorsnede plaatsgebonden risico klasse 1 vloeistoffen vanaf het hart van de buisleiding, uitgaande van een vlakke leiding en een plashoogte van 0,05 m. Methode zonder bijdrage van de hellende leiding.*



Buisdiameter (inch)	8	12	16	24	28	30	34	36
Voorbeeldstof	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan
Max. plasstraal (m)	6	9	12	19	22	23	27	28
Plaatsgebonden risicocontouren								
10 ⁻⁵ contour (m)	-	-	-	-	-	-	-	-
10 ⁻⁶ contour (m)	8	11	13	19	22	24	27	29
10 ⁻⁷ contour (m)	15	16	17	22	25	26	30	32
10 ⁻⁸ contour (m)	20	20	23	26	31	33	37	39

3.2 Klasse 2 en klasse 3 vloeistoffen

De categorie K2/3 vloeistoffen heeft een dichtheid vergelijkbaar met die van K1 vloeistoffen (Tabel 2) en daardoor ontstaat een vergelijkbaar uitstroomdebiet. Echter, de kans op directe ontsteking is slechts 1%, tegen 6,5 % bij K1 vloeistoffen. Ook vindt er geen vertraagde ontsteking plaats (zie paragraaf 2.3.2).

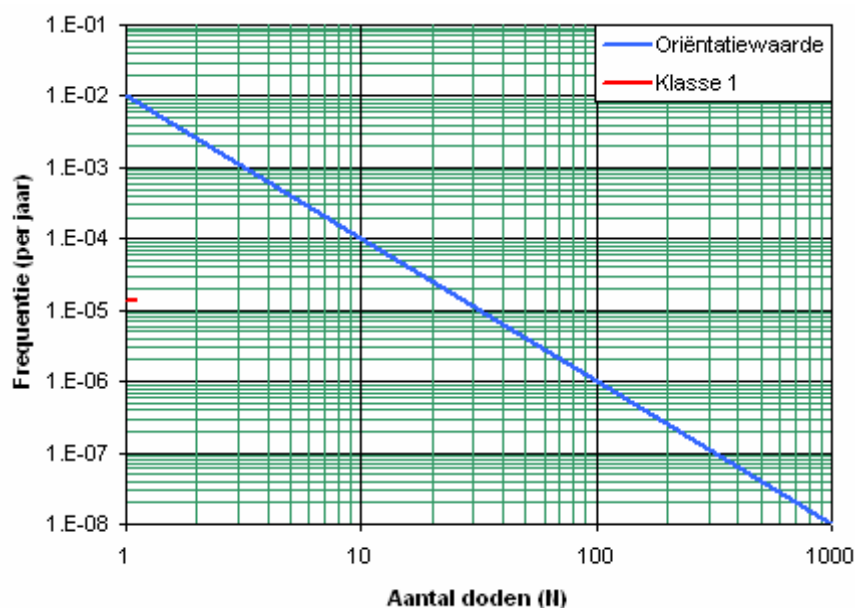
De berekeningen van deze scenario's levert geen contouren op voor plaatsgebonden risico van 10^{-6} , 10^{-7} en 10^{-8} per jaar. Hieruit kan worden geconcludeerd dat buisleidingen met K2 en K3 vloeistoffen niet voor knelpunten ten aanzien van het plaatsgebonden risico zullen zorgen.

3.3 Groepsrisico

Het groepsrisico is berekend voor een 36 inch leiding met een K1-vloeistof. Figuur 4 laat zien dat het groepsrisico onder de oriëntatiewaarde blijft, wanneer uit wordt gegaan van een dichtheid van 255 personen per hectare buiten de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar. Bovendien is er maximaal één dodelijk slachtoffer.

In het geval van buisleidingen met klasse 1 vloeistoffen is het maximum aantal slachtoffers zeer gering. Oorzaak is dat er geen mensen binnen de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar aanwezig verondersteld zijn. Ook is de effectafstand nauwelijks groter dan de afstand tot de 10^{-6} contour. Hierdoor wordt de oriëntatiewaarde voor inrichtingen op geen enkel punt gehaald.

Figuur 4 FN-diagram voor een 36 inch leiding met klasse 1 vloeistoffen.



Bij buisleidingen met klasse 2 en klasse 3 vloeistoffen is er geen sprake van een plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar. Hierdoor zou er tot aan de zakelijk recht zone populatie aanwezig mogen zijn. Vanwege de kleine plaatsgebonden risico's en de lage ontstekingskans zal er ook bij grotere populatiedichtheden geen overschrijding van de oriëntatiewaarde voor transport optreden. Hierbij is geen rekening gehouden met de eventueel verhoogde ontstekingskans door toedoen van deze bebouwing.

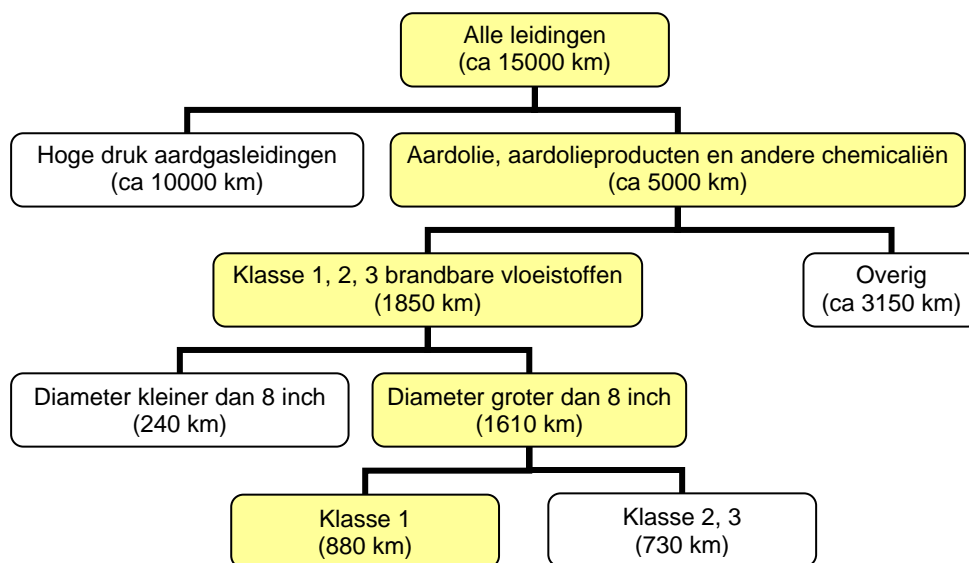
4. Analyse van potentiële knelpunten

4.1 Methodiek

4.1.1 Selectie buisleidingen

Bij de analyse is gebruik gemaakt van een GIS-bestand waarin onder andere de ligging en diameter van de diverse buisleidingen is opgenomen¹³. In dit bestand is circa 1850 kilometer aan buisleidingen met brandbare vloeistoffen van de klassen 1, 2 en 3 aanwezig¹⁴ (zie Figuur 5 en Figuur 6). Hiervan heeft circa 1610 kilometer een diameter van 8 inch of meer. Voor de analyse van het aantal potentiële knelpunten zijn enkel de klasse 1 buisleidingen beschouwd¹⁵, omdat klasse 2 en 3 buisleidingen geen plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar hebben. Dit leidt tot een selectie van circa 880 kilometer (klasse 1) buisleiding. De overige buisleidingen bevatten andersoortige chemicaliën, zijn leeg of van deze buisleidingen is de diameter of de inhoud niet bekend.

Figuur 5 Selectieroute buisleidingen



¹³ Er is gebruik gemaakt van een bestand waarin Geodan, in opdracht van de VELIN, alle hoofdleidingen (incl. lege leidingen) in Nederland heeft samengevoegd. Het betreft een totaal van circa 15.000 kilometer aan buisleidingen.

¹⁴ Dit is 37% van het totaal aantal kilometers aan buisleidingen met aardolie, aardolieproducten en andere chemicaliën. De overige leidingen bevatten andersoortige producten zoals stikstof, ethyleenoxide, etc.

¹⁵ De geselecteerde leidingen bevatten met name 'Crude', maar ook 'Olie', 'Nafta' of 'Vloeibare koolwaterstoffen'. Leidingen met 'Gasolie' of 'Kerosine' zijn niet geselecteerd.

4.1.2 Potentiële knelpunten

Leidingstukken waarbinnen zich woningen¹⁶, niet zijnde incidentele bebouwing¹⁷, binnen de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar bevinden, worden aangemerkt als een potentieel knelpunt. Een potentieel knelpunt kan meerdere woningen bevatten, wanneer deze woningen rond hetzelfde deel van een buisleiding zijn gelegen. In Bijlage E wordt de gehanteerde methodiek voor het selecteren van de woningen en potentiële knelpunten weergegeven.

¹⁶ Deze woningen zijn afkomstig uit het bestand met de gemiddelde inwoneraantallen in Nederland per woning in 2003 [RIVM 04]. Dit bestand is onder andere gebaseerd op het door Bridgis geleverde A(dres)-C(oördinaten bestand)N(ederland), LISA, Geomarktprofiel gegevens en marketeer-bedrijfskenmerken 2002.

¹⁷ Voor een definitie, zie Begrippenlijst

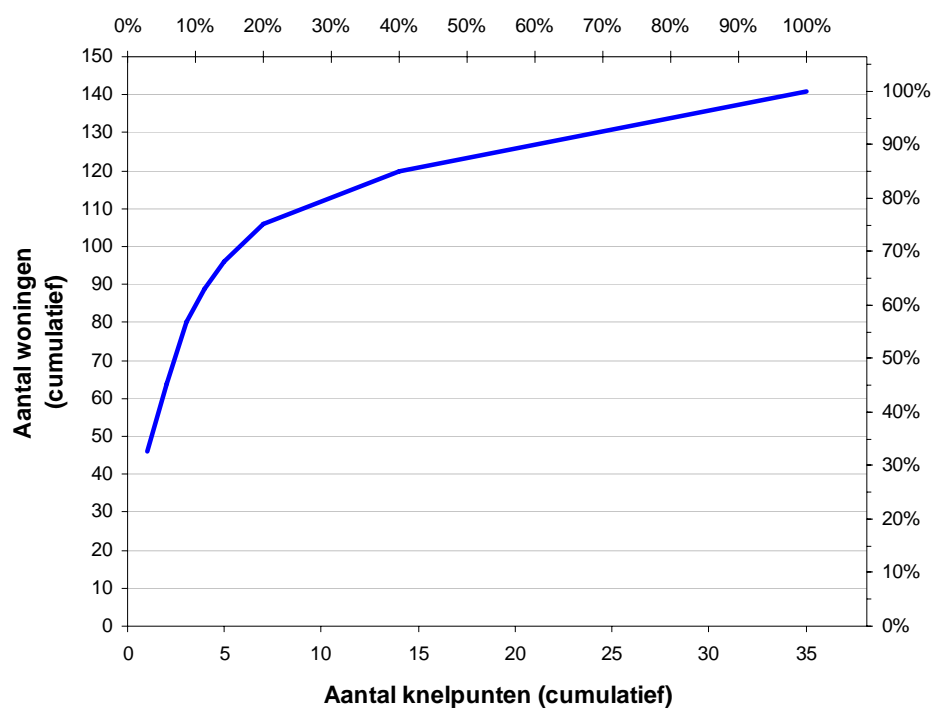
Figuur 6 Beschouwde buisleidingen in de analyse van de potentiële knelpunten.



4.2 Resultaten analyse

Uit de selectie van de potentiële knelpunten volgt dat er 141 woningen binnen 35 potentiële knelpunten vallen. Deze potentiële knelpunten betreffen in totaal circa 3 kilometer buisleiding. Het aantal woningen binnen een potentieel knelpunt varieert van één tot circa 50 woningen. In Figuur 7 is het cumulatief aantal woningen uitgezet tegen het cumulatief aantal potentiële knelpunten. Uit deze figuur kan worden afgeleid dat door het wegnemen van een drietal potentiële knelpunten het totaal aantal woningen binnen de potentiële knelpunten met circa 50% wordt gereduceerd. Bij meer dan 80% van de onderzochte potentiële knelpunten zijn slechts één of twee woningen aanwezig binnen de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar.

Figuur 7 Het cumulatief aantal woningen binnen potentiële knelpunten versus het cumulatief aantal potentiële knelpunten.



Aantal potentiële knelpunten	Aantal woningen binnen het potentiële knelpunt
21	1
7	2
2	3 - 5
2	6 - 10
2	11 - 25
1	25 - 50
Totaal aantal potentiële knelpunten	Totaal aantal woningen
35	141

5. Conclusies

Het plaatsgebonden risico en het groepsrisico zijn berekend met Safeti 6.42 [DNV 04]. Voor de K1 buisleidingen is een plaatsgebonden risico (PR-)contour van 10^{-6} per jaar gevonden op een afstand die overeenkomt met de maximale straal van de plas bij een vertraagde plasbrand. Voor klasse 2 en klasse 3 buisleidingen wordt geen PR-contour van 10^{-6} per jaar berekend.

De bovengronds gevormde plassen worden veroorzaakt worden door de spuiters. De uitstroom ten gevolge van de hellende leiding volgt de weg van de minste weerstand door de ondergrond en heeft niet voldoende impuls om de vloeistof bovengronds te laten komen. De uitstroom ten gevolge van het hellen van de leiding draagt niet bij aan het risico. Bij kleine lekkages treedt er geen plasmvorming op, maar enkel een verzadiging van de ondergrond. Er wordt aangenomen dat klasse 1 vloeistoffen altijd ontsteken. Voor klasse 2 en 3 vloeistoffen is deze kans één honderdste.

Tabel 7 Plaatsgebonden risicocontouren voor buisleidingen met brandbare vloeistoffen van de klasse 1.

Buisdiameter (inch)	8	12	16	24	28	30	34	36
10^{-5} contour (m)	-	-	-	-	-	-	-	-
10^{-6} contour (m)	8	11	13	19	22	24	27	29
10^{-7} contour (m)	15	16	17	22	25	26	30	32
10^{-8} contour (m)	20	20	23	26	31	33	37	39

Ook bij grote populatiedichtheden wordt de oriëntatiewaarde van het groepsrisico voor transport niet bereikt. Omdat bij buisleidingen met klasse 2 en klasse 3 vloeistoffen geen risicocontour van 10^{-6} per jaar aanwezig is, zou er gebouwd kunnen worden in het gebied waar zich bij een breuk mogelijk een vloeistofplas kan vormen.

Het toepassen van de PR-contouren uit Tabel 7 voor de klasse 1 buisleidingen zal leiden tot nieuwe potentiële knelpunten waarbij woningen binnen de PR-contour van 10^{-6} per jaar vallen. Een analyse van circa 1850 kilometer buisleidingen leverde ongeveer 35 potentiële knelpunten op met niet-incidentele bebouwing. Deze potentiële knelpunten worden veroorzaakt door in totaal 3 kilometer aan buisleidingen. Binnen deze potentiële knelpunten bevinden zich circa 140 woningen. De helft van deze woningen ligt binnen drie potentiële knelpunten.

Begrippenlijst

Bebouwingsafstand

De kleinste horizontale afstand tussen het hart van de leiding en woonbebouwing, een bijzonder object, recreatieterrein of industrieterrein die in acht moet worden genomen. [Vrom 84]

Buisleiding

Holle buis voor het doorstromen van gassen, vloeistoffen of capsules, bestemd om hetzij een gas, een vloeistof of capsules te transporteren, hetzij een vloeistof als intermediair te gebruiken voor het transport van warmte of een opgeloste of verpulverde stof [NEN 03]. In deze rapportage wordt over buisleidingen gesproken in de zin van vloeistofleidingen voor transport van brandbare vloeistoffen, behorende tot klasse 1, klasse 2 of klasse 3.

Een standaard buisleiding is aangelegd volgens NEN 3650 [NEN 92] en heeft een minimale gronddekking van 0,8 meter in het vrije veld.

Buisleidingenstraat

Een buisleidingenstrook, die primair bestemd is voor het leggen van buisleidingen en zonodig is uitgevoerd met collectieve voorzieningen zoals kunstwerken [NEN 03].

Buisleidingenstrook

Een planologisch gereserveerde strook grond die door opname als zodanig in streek- en bestemmingsplan planologisch mede is bestemd voor het leggen van buisleidingen.

Effectafstand

De effectafstand geeft aan tot op welke afstand er letale effecten (1% letaal) kunnen voorkomen in het geval van een incident bij de risicovolle activiteit.

Effectgebied

Het effectgebied geeft aan in welk gebied er letale effecten kunnen voorkomen in het geval van een incident bij de risicovolle activiteit.

FN-curve

Weergave van het groepsrisico in een logaritmische grafiek waarin voor een risicovolle activiteit de cumulatieve kans op een incident F wordt uitgezet tegen het potentieel aantal slachtoffers N.

GIS

In een Geografisch Informatie Systeem (GIS) kunnen geografische gegevens op een kaart worden afgebeeld. Bij een GIS bestaat een kaart uit geografische objecten die altijd

gekoppeld zijn aan data. De kaart is een ingang om deze gegevens te kunnen integreren, selecteren, analyseren en presenteren.

Groepsrisico (GR)

De kans per jaar en per kilometer transportleiding dat een groep van 10 of meer personen in de omgeving van een transportleiding in een keer het (dodelijk) slachtoffer wordt van een ongeval met die transportleiding.

Groepsrisicocurve

Zie FN-curve

Incidentele bebouwing

De term incidentele bebouwing wordt gedefinieerd als verspreid liggende woningen met een dichtheid van maximaal twee woningen per hectare. Het BEVI [Vrom 04] beschouwt deze woningen als beperkt kwetsbare objecten.

Classificatie brandbare vloeistoffen

Klasse-indeling van vloeibare brandstoffen¹⁸:

- klasse 0* Brandbare vloeistof, met een kookpunt van ten hoogste 308 K (35 °C) en een vlampunt lager dan 273 K (0 °C).
- klasse 1* Brandbare vloeistof, met een vlampunt van 273 K (0 °C) tot 294 K (21 °C).
- klasse 2* Brandbare vloeistof, met een vlampunt gelijk aan of boven 294 K (21 °C) en ten hoogste 328 K (55 °C).
- klasse 3* Brandbare vloeistof, met een vlampunt boven 328 K (55°C) en ten hoogste 373 K (100 °C).
- klasse 4* Brandbare vloeistof met een vlampunt boven 373 K (100 °C).

Kwantitatieve Risicoanalyse (QRA)

Een risicoberekening veelal voor activiteiten met gevaarlijke stoffen. Ook voor andere activiteiten zoals luchthavens kunnen risicoberekeningen worden uitgevoerd. Het resultaat is één of meer plaatsgebonden risicocontouren en een FN-curve. Voor de risicoberekeningen in dit rapport is gebruik gemaakt van het Safeti-pakket [DNV 04].

Loss of Containment (LOC)

Gebeurtenis die leidt tot het vrijkomen van een materiaal in de atmosfeer [CPR 99].

Oriëntatiewaarde (OW)

De oriëntatiewaarde is de omvang van het groepsrisico dat dient als ijkpunt in de afweging van maatschappelijk aanvaardbare grenzen waarbij per kilometer transportleiding en per jaar de kans op 10 slachtoffers 1 op de 10.000 bedraagt, de kans op 100 slachtoffers 1 op 1.000.000 en een kans op 1000 slachtoffers 1 op 100.000.000.

¹⁸ Classificatie conform Publicatierreeks Gevaarlijke Stoffen nr. 28 [PGS 05].

Plaatsgebonden Risico (PR)

Risico op een plaats, uitgedrukt als de kans per jaar dat een persoon die onafgebroken en onbeschermd op die plaats zou verblijven, overlijdt als rechtstreeks gevolg van een ongewoon voorval waarbij een gevaarlijke stof betrokken is.

PR-contour

Zie Risicocontour

Risicocontour

Plaatsen met een gelijk risico worden door een risicocontour met elkaar verbonden. De plaatsgebonden risicocontour is onafhankelijk van het al dan niet feitelijk aanwezig zijn van populatie rond een inrichting of transportroute. Het plaatsgebonden risico wordt door middel van een risicocontour op een kaart weergegeven.

Risicovolle activiteit

Een activiteit welke leidt tot een externe veiligheidsrisico. Deze activiteit kan het drijven van een inrichting met gevaarlijke stoffen zijn, maar ook het transport van gevaarlijke stoffen of luchtvaart.

Toetsingsafstand

De afstand gemeten vanaf het hart van de leiding waarbinnen aan beide zijden van de leiding de aanwezigheid van woonbebouwing, een bijzonder object, recreatie- of industrieterrein wordt nagegaan in verband met de vaststelling van de gebiedsklasse en de ruimtelijke inrichting rond de leiding.

Zakelijk recht zone

Een belemmerde strook, vastgelegd in het zakelijk recht. Binnen dit gebied is in principe geen bebouwing toegestaan.

Literatuur

- AVIV 99 1999. Systematiek voor indeling van stoffen ten behoeve van risicoberekeningen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen. Enschede: AVIV.
- BG 87 1987. I. Corder, G.D. Fearnough. Predictions of Pipeline Failure Frequencies. United Kingdom: British Gas. E576.
- CK 04 2004. Chemiekaarten, 19^e editie. Den Haag: Samenwerkingsverband-Chemiekaarten (TNO Arbeid, VNCI).
- CON 02 2002. D. Lyons. Western european cross-county oil pipelines 30-year performance statistics. Brussel (B): CONCAWE. Report 1/02.
- CON 03 2003. P.M. Davis *et al.* Performance of european cross-country oil pipelines. Brussel (B): CONCAWE. Report 1/03.
- CPR 99 1999. Guidelines for quantitative risk assessment (purple book). Den Haag: ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. CPR 18E.
- CPR 05 2005. Methods for the calculation of physical effects (yellow book). Den Haag: ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. Derde editie, tweede herziene druk.
- DNV 04 2004. Safeti 6.42. London (UK): Det Norske Veritas.
- GU 00 2000. G.M.H. Laheij *et al.* Vergelijking PIPESAFE versus SAFETI, Eindrapport. Groningen: Gasunie Research.
- GU 04 2004. R. van Elteren *et al.* Bepaling effectiviteit KLIC-proces ten aanzien van aardgastransportleidingen. Groningen: Gasunie Research.
- HSE 99 1999. Risks from gasoline pipelines in the United Kingdom. United Kingdom: Health and Safety Executive. Contract Research Report 206/1999.
- ICT 02 2002. E. Jager *et al.* A Qualitative Risk Assessment of the Gastransport Services Pipeline System Network Based on GIS Data, Praha (CZ): ICT.
- IME 95 1995. I. Corder. The Application of Risk Techniques to the Design and Operation of Pipelines. I.Mech.E., C502/106, pp 113-125.

- IPC 98 1998. M. Acton *et al.* The development of the PIPESAFE Risk Assessment Package for Gas Transmission Pipelines. ASME International. Proceedings of the International Pipeline Conference, Book No G1075A-1998.
- IPC 02 2002. M. R. Acton *et al.* Recent Developments in the Design and Application of the PIPESAFE Risk Assessment Package for Gas Transmission. Calgary (CAN). Proceedings of the International Pipeline Conference.
- PGS 03 2003. Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1, Deel 6: Aanwezigheidsgegevens. Den Haag: ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu. PGS 1, Deel 6.
- PGS 05 2005. Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 28, Vloeibare aardolieproducten, Afleverinstallaties en ondergrondse opslag. Den Haag: ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu. PGS 28.
- SLP 83 1983. J.P. Zeeuwen *et al.* Experimental investigation into the blast effect produced by unconfined vapour cloud explosions. London: 4th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries. pp D20-D29.
- NEN 92 1992. Eisen voor stalen Transportleidingen. Delft: Nederlands Normalisatie Instituut. NEN 3650.
- NEN 03 2003. Buisleidingen – van ontwerp tot afsluiting. Delft: Nederlands Normalisatie instituut. NEN 3650-serie.
- REV 05 2005. Ontwerp-Registratiebesluit externe veiligheid. Den Haag: Sdu. Staatscourant 27 april 2005, nr.81 / pag. 20.
- RIVM 01 2001. P.A.M. Uijt de Haag, J.G. Post. Risico-analyse brandstofpontons. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapport 610066012.
- RIVM 04 2004. Gemiddelde inwoneraantallen in Nederland per woning in 2003. Bilthoven: Rijkstinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM Dataportaal, NL.INWONERAANTALLEN_ACN_2003.lyr.
- RIVM 05 2005. Effectiviteit wettelijke grondroerdersregeling. RIVM/CEV Briefrapport: 256/05. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- RIVM 06 2006. G.M.H. Laheij. Effectiviteit van maatregelen bij aardgasleidingen. RIVM/CEV Briefrapport: in voorbereiding. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

- VELIN 04 2004. Registratie en analyse van pijpleidingincidenten, 1999 tot en met 2003. Tilburg: Vereniging van Leidingeigenaren in Nederland. Eerste voortgangsverslag projectgroep incidentenreductie oktober 2004.
- VenW 03 2003. Circulaire Risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen. Den Haag: ministerie van Verkeer en Waterstaat, ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu en ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- Vrom 83 1983. Vergelijkende risico-analyse van de opslag, de overslag, het vervoer en het gebruik van LPG en benzine 'LPG-Integraalstudie'. Den Haag: ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu.
- Vrom 86A 1986. Afstandenregeling voor vloeistofleidingen, Bronsterkte berekening vlakke leidingen. Den Haag: ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Werkgroep Risico Analyse VELIN.
- Vrom 86B 1986. Afstandenregeling voor vloeistofleidingen, Leegloop hellende leidingen. Den Haag: ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Werkgroep Risico Analyse VELIN.
- Vrom 86C 1986. Afstandenregeling voor vloeistofleidingen, Ontwerpfactoren (in het licht van de te gebruiken faalfrequenties). Den Haag: ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Werkgroep Risico Analyse VELIN.
- Vrom 86D 1986. Afstandenregeling voor vloeistofleidingen, Toetsingsafstand afhankelijk van plasdiameter. Den Haag: ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Werkgroep Risico Analyse VELIN.
- Vrom 86E 1986. Afstandenregeling voor vloeistofleidingen, Individuele risicocontouren t.b.v. bebouwingsafstanden. Den Haag: ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Werkgroep Risico Analyse VELIN.
- Vrom 88 1988. Afstandenregeling voor vloeistofleidingen, Samenvatting van gebruikte notities. Den Haag: ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Werkgroep Risico Analyse VELIN.
- Vrom 91 1991. Bekendmaking van beleid ten behoeve van de zonerings langs transportleidingen voor brandbare vloeistoffen van de K1-, K2- en K3-categorie. Den Haag: ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu.

Vrom 04 2004. Besluit externe veiligheid inrichtingen. Den Haag: ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu.

Bijlage A Casuïstiek buisleidingen

A.1 Resultaten analyse CONCAWE database

Faalfrequenties: 5-jaar gemiddelde 2004
 Datapool: 1990 – 2004, Nederland
 Lengte leidingen: 30408 kilometerjaar
 Totaal breuken en lekken: 22

Tabel 8 Resultaten analyse Nederlandse gegevens in de CONCAWE database¹⁹

Bijdrage	Faalfrequentie			Percentages		
	Breuk	Lek	Totaal	Breuk	Lek	Totaal
Mechanical	3.8×10^{-5}	1.9×10^{-4}	2.3×10^{-4}	19%	34%	30%
Operational	3.8×10^{-5}	3.8×10^{-5}	7.6×10^{-5}	19%	7%	10%
Corrosion		5.9×10^{-5}	5.9×10^{-5}		10%	8%
Natural		2.1×10^{-5}	2.1×10^{-5}		4%	3%
3rd Party	1.2×10^{-4}	2.6×10^{-4}	3.8×10^{-4}	62%	45%	49%
Totaal	2.0×10^{-4}	5.7×10^{-4}	7.6×10^{-4}	26%	74%	100%

¹⁹ Er is geen specifieke informatie uit de CONCAWE database opgenomen, aangezien de gegevens uit deze database betrouwbaar zijn. Inzien van de gegevens is mogelijk na akkoord van al de betrokken leiding-eigenaren. Een verzoek hiertoe kan worden gericht aan CONCAWE.

A.2 Inventarisatie VELIN

De VELIN heeft richting haar leden de volgende vragen gesteld:

1. De lengte van de in uw beheer zijnde leidingen in kilometers in Nederland;
2. De leeftijd van de leidingen (in jaren);
3. De diameter;
4. De soort vloeistof die wordt getransporteerd (K1, K2 of K3) of de naam (bijvoorbeeld Crude of Nafta)
5. Het aantal lekkages dat in dit leidingdeel heeft plaatsgevonden (uitsluitend de lekkages waarbij hulpdiensten zijn ingeschakeld);
6. Het aantal branden dat door die lekkages is veroorzaakt;
7. Het gebied waarin de lekkage heeft plaatsgevonden (landelijk of stedelijk);
8. De aard van de ontsteking (direct of vertraagd);
9. De ontstekingsbronnen;
10. De effecten van de brand op de omgeving.

De gegevens van de meeste buisleidingen beslaan de periode van de laatste 30 jaar. Op basis van deze aangeleverde gegevens kan worden gemeld dat er op een totaal van circa 86.000 kilometerjaar buisleiding, er 21 lekkages van brandbare stoffen zijn geweest waarbij hulpverleningsdiensten betrokken waren. Dit geeft een faalfrequentie van $2,4 \times 10^{-4}$ per km per jaar. De resultaten van de inventarisatie zijn verwerkt in Tabel 9.

Bij deze tabel zijn een viertal opmerkingen te plaatsen:

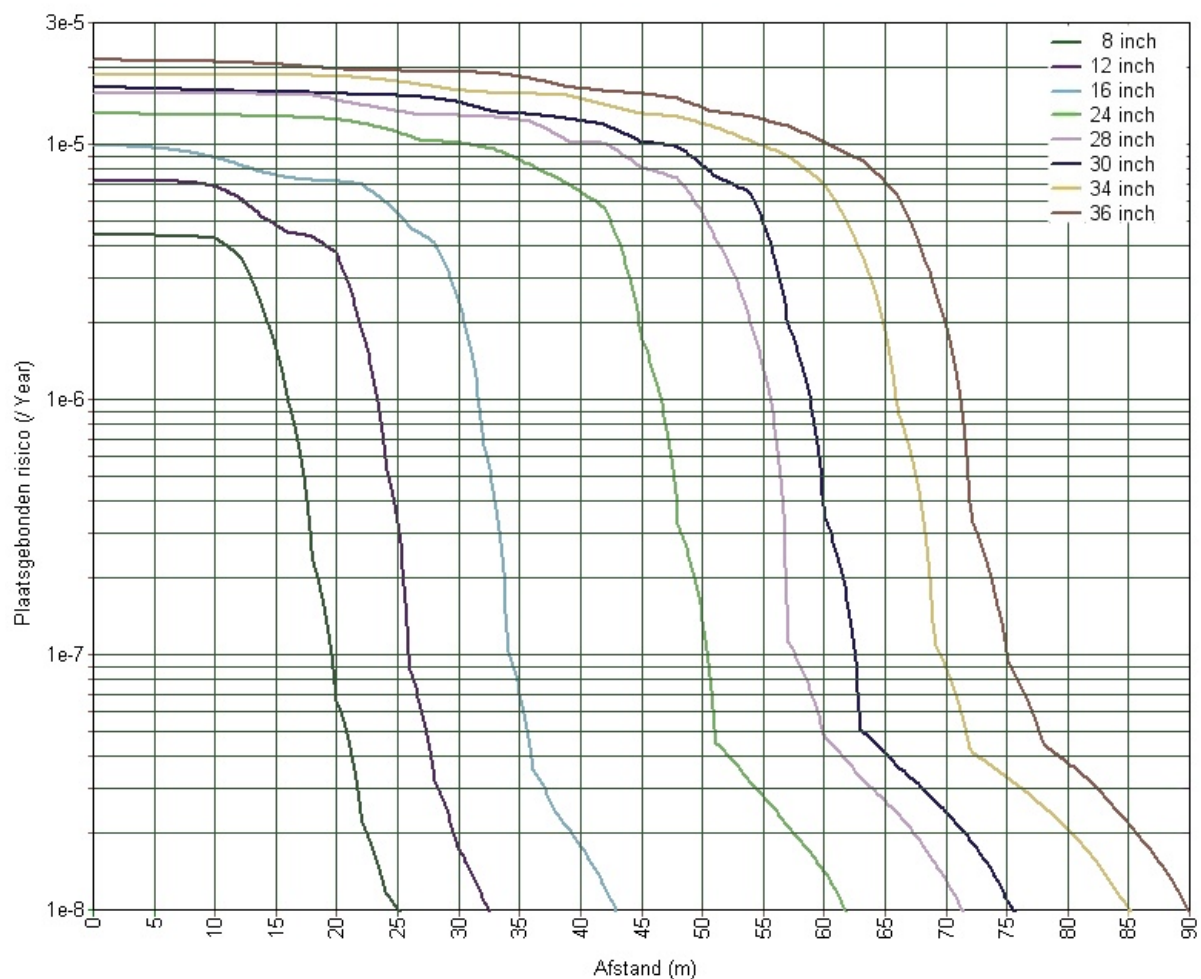
1. De ongevallen zijn ingedeeld volgens de omschrijving van de Raad voor de Transportveiligheid.
2. Bedrijf 5 heeft alleen een totaaloverzicht voor de periode 1992 – 2002 aangeleverd;
3. Bedrijf 7 heeft enkel lekkagegegevens aangeleverd;
4. Bedrijf 8 heeft alleen een totaaloverzicht voor de periode 1998 – 2002 aangeleverd.

Tabel 9 Resultaten inventarisatie VELIN

Bedrijf	diameter (inch)	medium	K categorie	lengte (km)	leeftijd (jaren)	km·jaren	lekkage
1	8	butaan	K1	16.4	11	180.4	0
	8	gasolie	K3	30.3	27	818.1	0
	6	raffinaat	K1	30	30	900	0
	6	IP-2000	K1	30	30	900	0
	6	butaan	K1	30	30	900	0
	10	nafta	K1	30	30	900	0
	8	nafta	K1	30	30	900	0
	20	nafta	K1	19.6	37	725.2	0
	24	crude	K1	20	43	860	0
	24	crude	K1	19	32	608	0
	28	crude	K1	19	37	703	0
	34	crude	K1	8	28	224	0
	24	crude	K1	1.5	30	45	0
	28	crude	K1	2	34	68	0
2	30	onbekend	K1	5	31	155	0
	34	onbekend	K1	105	31	3255	1
3	24	producten	K1	154	42	6468	3
	36	crude	K1	176	34	5984	0
4	6	nafta	K1	15	30	450	1
5	4 - 12	K2, K3	K2, K3	1000	50	50000	12
6	8	nafta	K1	220	36	7920	3
	18	gascondensaat	K1	140	24	3360	0
7		crude/stookolie					0
8		condensaat	K1	1500	0	0	1
Totaal				3600.8	707	86323.7	21

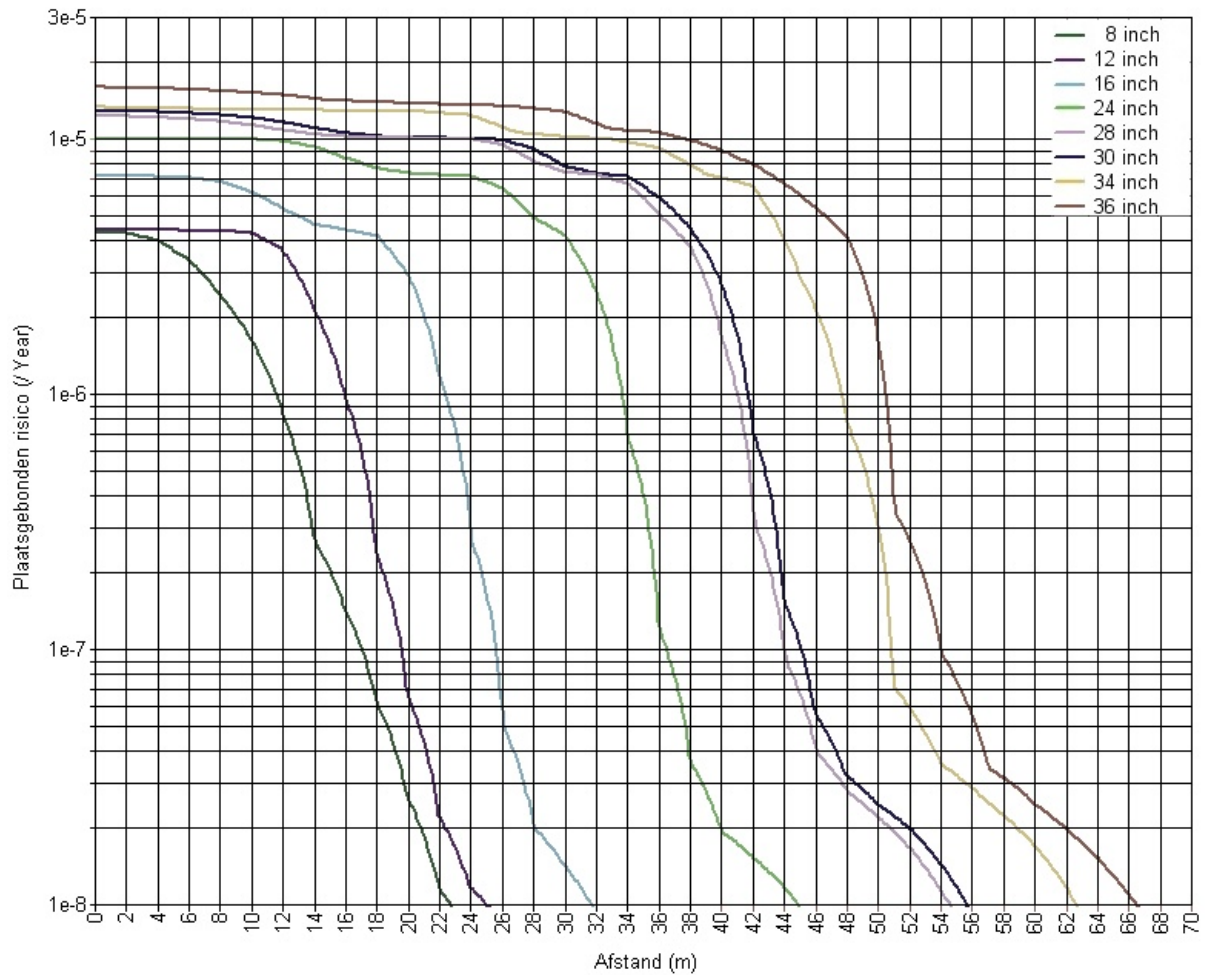
Bijlage B Overzicht dwarsdoorsneden risicocontouren

Figuur 8 Dwarsdoorsnede plaatsgebonden risico klasse 1 vloeistoffen vanaf het hart van de buisleiding, uitgaande van een hellende leiding en een plashoogte van 0,05 m. Methode conform circulaire 1991, met een afwijkende plashoogte.



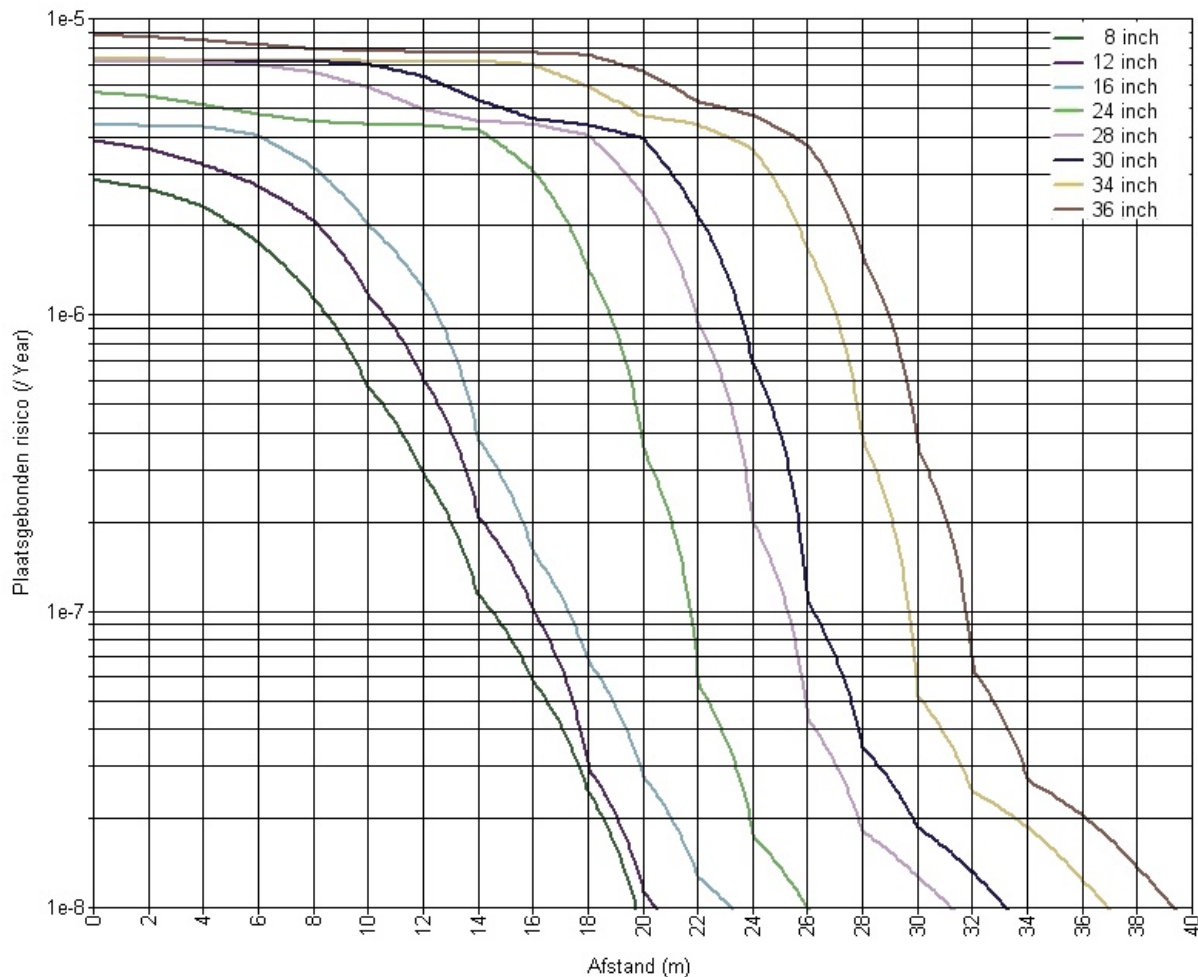
Buisdiameter (inch)	8	12	16	24	28	30	34	36
Voorbeeldstof	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan
Max. plasstraal (m)	16	23	31	46	54	58	65	70
Plaatsgebonden risicocontouren								
10 ⁻⁵ contour (m)	-	-	-	30	42	47	55	60
10 ⁻⁶ contour (m)	16	23	31	47	56	58	66	70
10 ⁻⁷ contour (m)	20	26	34	51	57	63	69	75
10 ⁻⁸ contour (m)	25	33	43	62	71	76	85	90

Figuur 9 Dwarsdoorsnede plaatsgebonden risico klasse 1 vloeistoffen vanaf het hart van de buisleiding, uitgaande van een hellende leiding en een plashoogte van 0,10 m. Methode conform circulaire 1991.



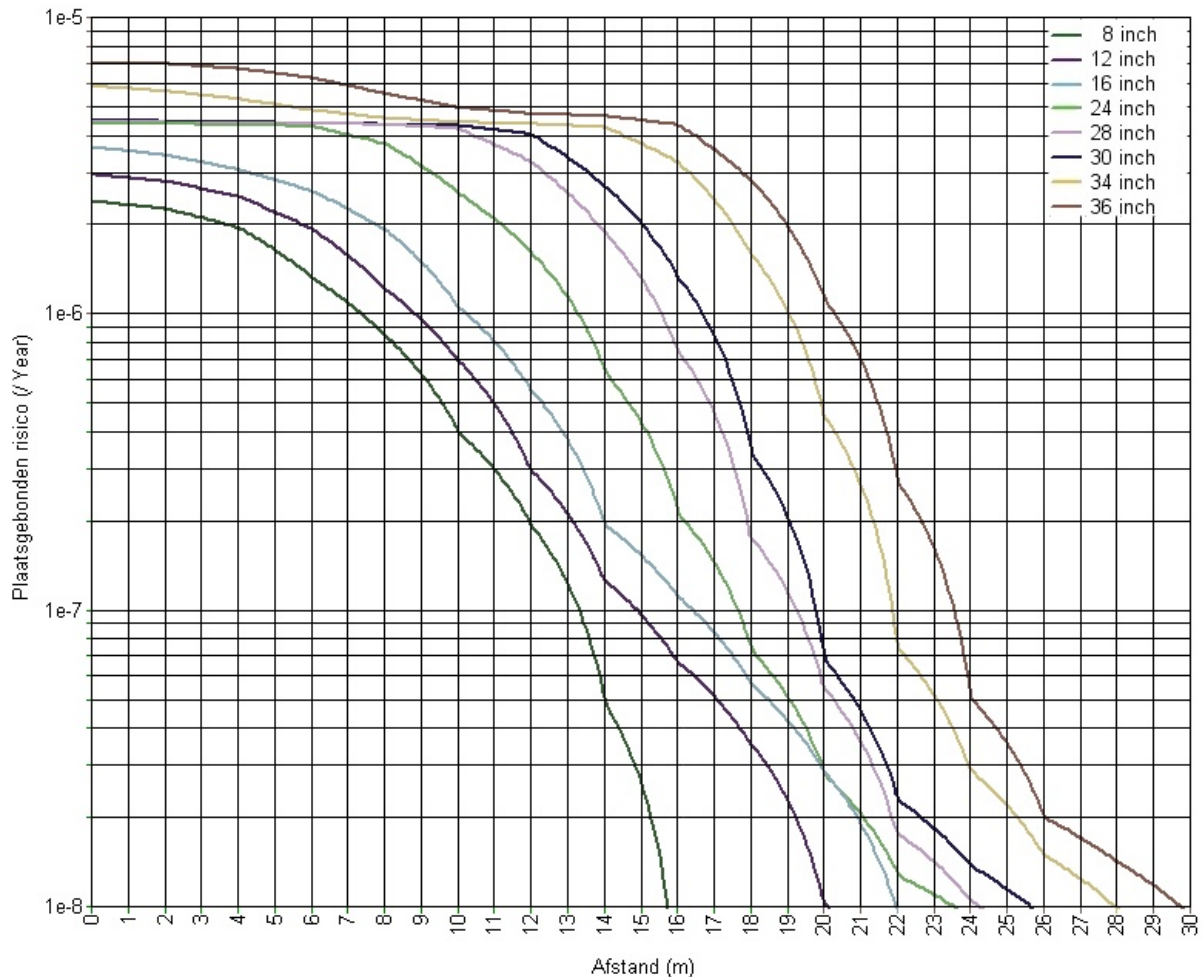
Buisdiameter (inch)	8	12	16	24	28	30	34	36
Voorbeeldstof	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan
Max. plasstraal (m)	11	16	22	33	40	41	47	50
Plaatsgebonden risicocontouren								
10 ⁻⁵ contour (m)	-	-	-	10	26	28	33	38
10 ⁻⁶ contour (m)	11	16	23	34	41	42	48	50
10 ⁻⁷ contour (m)	17	20	26	36	44	45	51	54
10 ⁻⁸ contour (m)	22	25	32	45	55	56	63	67

Figuur 10 Dwarsdoorsnede plaatsgebonden risico klasse 1 vloeistoffen vanaf het hart van de buisleiding, uitgaande van een vlakke leiding en een plashoogte van 0,05 m. Methode zonder bijdrage van de hellende leiding.



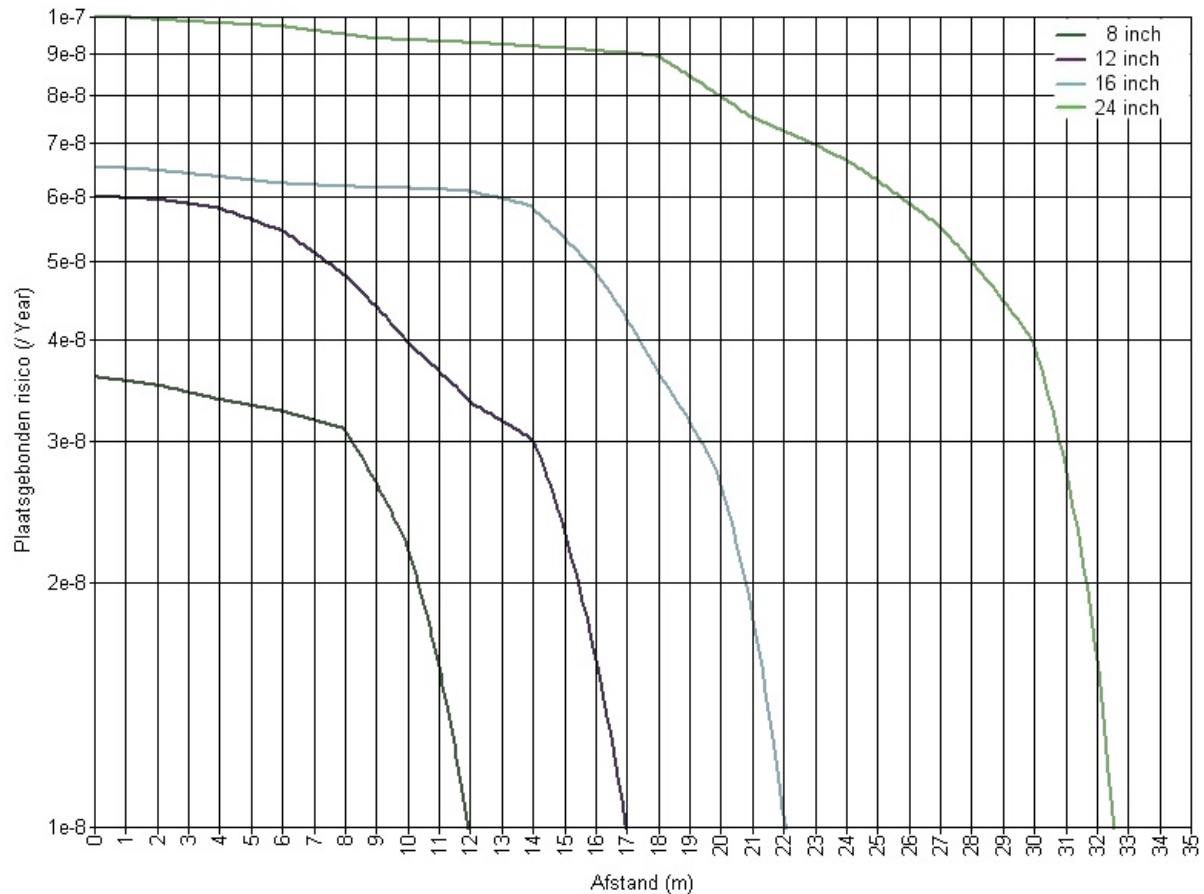
Buisdiameter (inch)	8	12	16	24	28	30	34	36
Voorbeeldstof	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan
Max. plasstraal (m)	6	9	12	19	22	23	27	28
Plaatsgebonden risicocontouren								
10 ⁻⁵ contour (m)	-	-	-	-	-	-	-	-
10 ⁻⁶ contour (m)	8	11	13	19	22	24	27	29
10 ⁻⁷ contour (m)	15	16	17	22	25	26	30	32
10 ⁻⁸ contour (m)	20	20	23	26	31	33	37	39

Figuur 11 Dwarsdoorsnede plaatsgebonden risico klasse 1 vloeistoffen vanaf het hart van de buisleiding, uitgaande van een vlakke leiding en een plashoogte van 0,10 m. Methode zonder bijdrage van de hellende leiding, met de plashoogte conform de circulaire 1991.



Buisdiameter (inch)	8	12	16	24	28	30	34	36
Voorbeeldstof	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan	Octaan
Max. plasstraal (m)	4	7	9	13	15	16	19	20
Plaatsgebonden risicocontouren								
10 ⁻⁵ contour (m)	-	-	-	-	-	-	-	-
10 ⁻⁶ contour (m)	7	9	11	14	16	17	19	20
10 ⁻⁷ contour (m)	13	15	16	18	19	20	22	34
10 ⁻⁸ contour (m)	16	20	22	24	24	26	28	30

Figuur 12 Dwarsdoorsnede risicocontouren klasse 2 en klasse 3 vloeistoffen vanaf het hart van de buisleiding, uitgaande van een hellende leiding en een plashoogte van 0,05 m.



Buisdiameter (inch)	8	12	16	24
Voorbeeldstof	Nonaan	Nonaan	Nonaan	Nonaan
Max. plasstraal (m)	16	23	31	46
Plaatsgebonden risicocontouren				
10 ⁻⁵ contour (m)	-	-	-	-
10 ⁻⁶ contour (m)	-	-	-	-
10 ⁻⁷ contour (m)	-	-	-	3
10 ⁻⁸ contour (m)	12	17	22	33

Bijlage C Risicoreducerende maatregelen

De effectiviteit van risicoreducerende maatregelen voor buisleidingen is voornamelijk gebaseerd op de bestaande gegevens voor hoge druk aardgastransportleidingen. Breuken bij ondergrondse aardgastransportleidingen worden voor bijna 100% veroorzaakt door derden ('external interference') [GU 04]. Vanwege de grote bijdrage van dit scenario zijn de aanvullende maatregelen vooral op dit scenario gericht. De belangrijkste technische maatregelen zijn het toepassen van een grotere wanddikte, een grotere diepteligging en beschermende maatregelen als waarschuwinglinten, betonplaten of een combinatie van de laatste twee. De effectiviteit van deze maatregelen wordt, beschreven in [IME 95] en [ICT 02]. Voor een overzicht van de effectiviteit van beschermende maatregelen en de invloed van een grondroerdersregeling wordt verwezen naar [RIVM 05 en RIVM 06]

Afstanden K1 vloeistoffen met reductiefactoren

In Tabel 10 wordt weergegeven wat de invloed is op de risicoafstanden (zoals weergegeven in Figuur 3) wanneer er maatregelen worden genomen die leiden tot een reductiefactor 2 tot 5. Deze reductiefactoren hebben betrekking op de gehele faalfrequentie. Risicoreducerende maatregelen om bijvoorbeeld 'external interference' te voorkomen, zullen enkel op een deel van de faalfrequentie invloed uitoefenen (zie ook Bijlage A.1). Zo zal een reductiefactor 5 voor 'external interference' doorwerken als ongeveer een reductiefactor 2 voor de gehele faalfrequentie.

$$\text{Reductiefactor: } Rf_{\text{totaal}} = 1/(1 - P_{\text{EI}} + P_{\text{EI}} / Rf_{\text{EI}}).$$

waarbij: Rf_{totaal} totale reductiefactor
 Rf_{EI} reductiefactor voor 'external interference'
 P_{EI} fractie 'external interference' in de faalfrequentie

Tabel 10 Plaatsgebonden risico 10^{-6} per jaar na het toepassen van verschillende reductiefactoren

Buisdiameter (inch)		8	12	16	24	28	30	34	36
Rf_{EI}	Rf_{totaal}								
1	1.0	8	11	13	19	22	24	27	29
2	1.4	7	9	11	19	21	23	26	28
3	1.7	6	9	11	18	21	23	26	28
4	1.9	5	8	10	18	21	22	25	28
5	2.0	5	8	10	18	21	22	25	28
6	2.1	5	8	10	17	20	22	25	27
7	2.1	4	8	10	17	20	22	25	27
8	2.2	4	7	10	17	20	22	25	27
9	2.2	4	7	10	17	20	22	25	27
10	2.3	4	7	10	17	20	22	25	27
15	2.4	4	7	9	17	20	22	25	27
20	2.4	4	7	9	17	20	22	25	27

Bijlage D Parameters risicoberekeningen

D.1 Onderbouwing ontstekingskansen

De kansen voor directe en vertraagde ontsteking voor benzine en gasolie zijn momenteel niet eenduidig gedefinieerd. Voor het onderbouwen van de ontstekingskansen is aangesloten bij de LPG Integraal [Vrom 83] (rapporten 2113, 2126). In rapport 2126 wordt aangegeven dat de kans op een directe ontsteking bij benzine²⁰ (zie rapport 2113) gelijk gesteld wordt aan de kans op vertraagde ontsteking. De kans op directe ontsteking wordt geschat op 0,065. Dit cijfer is gebaseerd op de casuïstiek en wordt vanwege de beperkte volledigheid en betrouwbaarheid van deze casuïstiek niet verder uitgesplitst naar breuken of lekkages of naar transportmodaliteit.

Tabel 11 Ontstekingskansen voor de berekening van het plaatsgebonden risico

	Kans op directe ontsteking	Kans op vertraagde ontsteking
klasse 1 ²¹	0,065	1 – 0,065
klasse 3 ²¹	niet gedefinieerd	niet gedefinieerd
LF1 ²²	0,01	-
LF2	0,065	0,065

Er is zo veel mogelijk aangesloten bij de standaard rekenmethode voor inrichtingen [CPR 99]. Daarom worden voor benzine en klasse 1-stoffen in het algemeen, aangenomen dat er te allen tijde ontsteking plaats zal vinden. Een aangepaste kans op vertraagde ontsteking is niet eenduidig vast te stellen of af te leiden. Wanneer er vanuit wordt gegaan dat er altijd ontsteking plaatsvindt, komt het effectgebied nagenoeg overeen met het gebied binnen de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar. Als er een lagere ontstekingskans wordt gehanteerd, krimpt de risicocontour. Hierdoor is het mogelijk dat er bebouwing binnen het effectgebied plaatsvindt. Vanwege deze nieuwe bebouwing zou de ontstekingskans dan weer moeten worden vergroot, waardoor de risicocontouren uitbreiden en de bebouwing mogelijk binnen het gebied met een plaatsgebonden risico van 10^{-6} per jaar komen te liggen.

Voor de ontstekingskansen voor klasse 2 en 3 worden de kansen van LF1 aangehouden.

²⁰ Benzine [CK 04] heeft een vlampunt kleiner dan -20 °C en is daarom een klasse 1-vloeistof (feitelijk een K0 vloeistof); volgens de systematiek voor de indeling van stoffen ten behoeve van risicoberekeningen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen [AVIV 99] wordt benzine ingedeeld in stofcategorie LF2. Gasolie [CK 04] heeft een vlampunt > 55 °C en is dus een klasse 3-vloeistof; gasolie wordt voor transport ingedeeld in stofcategorie LF1.

²¹ Het betreffen hier ontstekingskansen voor stationaire installaties.

²² In deel II van het CPR 18 [CPR 99] zijn voor deze categorie ontstekingskansen gedefinieerd voor transport via vaarwegen (0,01) en voor wegtransport (0,0043). Vanuit conservatief oogpunt is gekozen om de ontstekingskans voor transport via vaarwegen te hanteren.

D.2 Specifieke parameters voor de risicoberekeningen

- **Terreinclassificatie:** Aërodynamische ruwheidslengte $z_0 = 1,0$ m (SRP = 0.1737). Deze ruwheidslengte is van toepassing voor een omgeving met grote obstakels zoals voorsteden en bossen.
- **Weergegevens:** Er wordt gebruik gemaakt van de standaard weerklassen, met een gemiddelde verdeling over deze klassen en een uniforme verdeling over de windroos.
- **Werkdruk:** 40 bar
- **Temperatuur:** 9° Celsius
- **Uitstroomhoogte:** 0 m
- **Uitstroomrichting:** Verticaal
- **Type uitstroming:** Eenzijdig. Aangenomen is dat de resterende hoeveelheid in de buis verwaarloosbaar is ten opzichte van de uitstroom ten gevolge van de line-pack en pompwerking.
- **Ruwheid leiding:** $4,6 \cdot 10^{-5}$ m (ruwheid van binnenkant van de buisleiding)
- **Ondergrond:** Droge bodem (dry soil) met een minimale plashoogte/dikte van 0,05 meter. (bij de modellering van een plashoogte van 0,10 meter wordt een dijk aangenomen die een restrictie geeft aan de plasgrootte).
- **Populatiegegevens:** Hierbij wordt gebruik gemaakt van een generieke dichtheid (zie hoofdstuk 3), waarbij geen aanwezigen binnen $PR \cdot 10^{-6}$ voorzien worden.
- **Blootstellingstijd:** 20 seconden, gerekend bij de gemiddelde uitstroomgrootheden over 60 seconden uitstroomtijd.
- **Type vlam:** Roetend. De SEP ligt hierdoor in de orde van 20-30 kW/m².

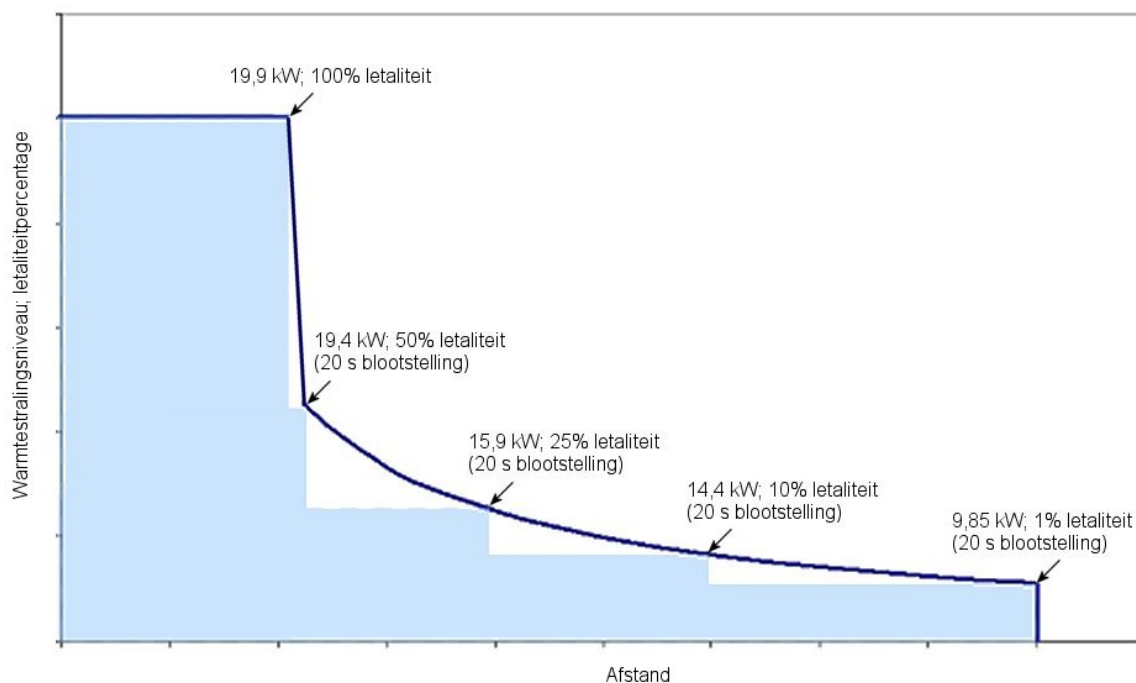
D.3 Probitrelatie voor warmtestralingseffecten

In de gebruikte versie van het rekenpakket Safeti [DNV 04] is de probitrelatie voor warmtestralingseffecten²³ niet eenvoudig te verdisconteren. Hierom worden de berekeningen voor de warmtestralingsniveau's gesplitst. Hierbij wordt in iedere rij een ander letaliteitspercentage doorgererekend en de kans op overlijden binnen deze effectniveau's wordt in alle rijen op 100% gesteld. Het bijbehorende warmtestralingsniveau geldt voor zowel de fakkel als plasbrand. Sommering vindt plaats met bijbehorende factor. In Tabel 12 wordt aangegeven met welke niveau's gerekend is. Er is aangenomen dat een ieder die zich in de plas bevindt, zal omkomen. Dit is in de modellering meegenomen door de letaliteit aan rand van de plas op 100% te zetten. In Figuur 13 is de toegepaste benadering ook grafisch uitgezet.

Tabel 12 Toegepaste methode voor de probitrelatie voor warmtestralingseffecten

Rij	Effect radiation level (%)	Warmtebelasting (kW/m ²)	Factor
1	1	9.85	0.01
2	10	13.4	0.09
3	25	15.9	0.15
4	50	19.4	0.25
5	100	19.9	0.50

Figuur 13 Overlijdenskans uitgezet als functie van de afstand tot een brandverschijnsel zoals toegepast in Safeti.



²³ Probitrelatie: $Pr = -36.38 + 2.56 \times \ln(Q^{4/3} \times t)$,
 $Q =$ warmtestraling (W/m^2), $t =$ blootstellingsduur (s)

D.4 Uitstroom met leegloop hellende leiding

Tabel 13 Uitstroom versus de diameter voor alle klassen brandbare vloeistoffen met leegloop vanuit de hellende leiding

Buisdiameter	(inch)	8	12	16	24	28	30	34	36
Leidinglengte	(km)	50	50	50	50	50	50	50	50
Druk	(10 ⁶ Pa)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Compressibiliteit	(10 ⁻⁹ m ² /N)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Line pack	(m ³)	5,7	12,8	22,8	51,3	69,9	80,2	103,0	115,5
Uitstroom stap 1	(m ³)	0,16	0,5	0,9	2,7	3,8	4,5	4,5	9,2
Uitstroom stap 2	(m ³)	5,7	13	23	51	70	80	103	116
Uitstroom stap 3	(m ³)	32	73	130	292	397	456	585	656
Uitstroom totaal	(m ³)	38	86	154	346	471	541	693	781
Uitstroom	(10 ³ kg)	26,8	60,4	107	242	330	378	485	547
Uitstroomsnelheid	(kg/s)	22,7	51,1	90,8	204	278	319	410	459
Uitstroomtijd	(s)	1181	1183	1183	1185	1186	1186	1184	1190

Bijlage E Selectie van woningen en potentiële knelpunten

De selectie van de potentiële knelpunten en de woningen binnen deze potentiële knelpunten vindt plaats op de onderstaande wijze:

1. Het gebied rond de buisleidingen is opgedeeld in een grid met kaartvakken van 100 bij 100 meter. Dit is herhaald voor drie andere grids die respectievelijk (0, 50), (50, 0) en (50, 50) meter ten opzichte van het eerste grid verschoven zijn. Per kaartvak is het aantal woningen geteld (Figuur 14).

Deze grids zijn met elkaar gekoppeld, zodat er per kaartvak van 50 bij 50 meter een maximale woningdichtheid wordt gegeven. Op deze wijze worden woningen die direct naast elkaar liggen, maar in het oorspronkelijke grid in twee verschillende kaartvakken vallen, toch herkend als niet-incidentele bebouwing (Figuur 15A).

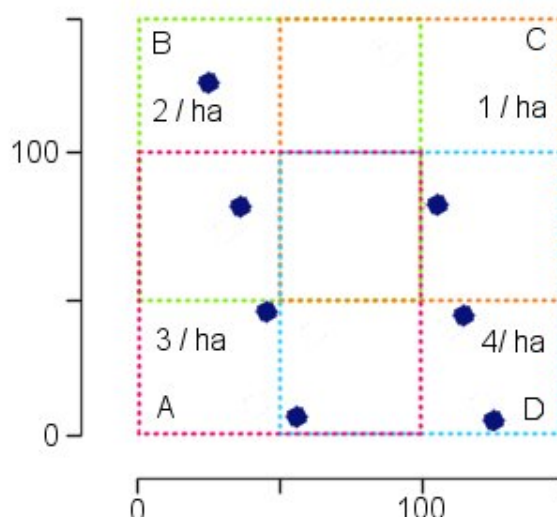
2. De woningen die behoren tot de niet-incidentele bebouwing binnen de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar worden geselecteerd. Dit zijn woningen die behoren tot een potentieel knelpunt (Figuur 15B).
3. Rond de geselecteerde woningen wordt een cirkel getrokken om de nabije leiding(en) te selecteren. Het gebied binnen deze cirkel wordt als potentieel knelpuntgebied weergegeven (Figuur 15C). De straal van de cirkels is berekend volgens:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

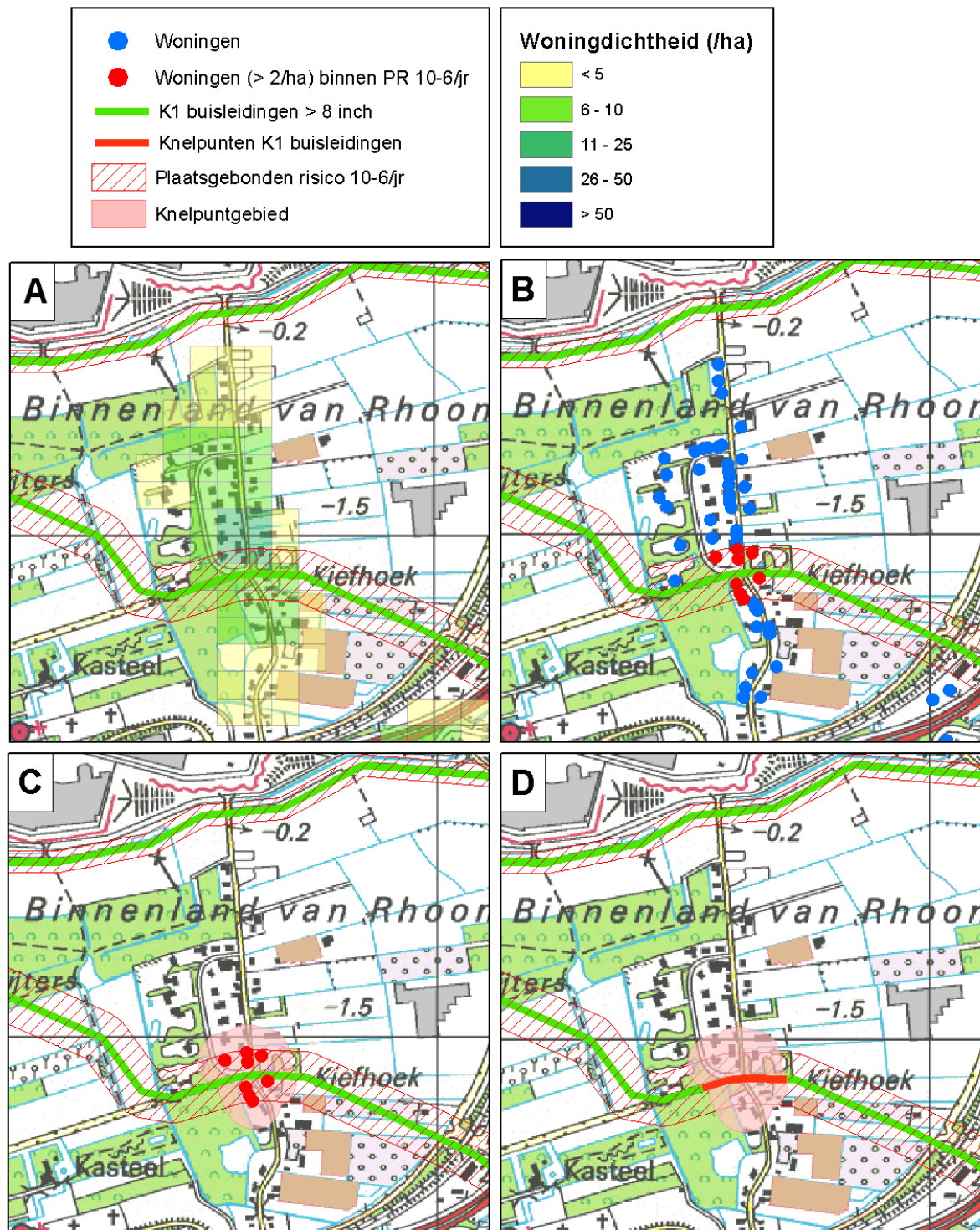
Waarbij x de afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar is van de meest dichtbij liggende buisleiding, en y de afstand van de woning tot de buisleiding. Deze formule zorgt ervoor dat er een buisleidingdeel wordt geselecteerd met een lengte van twee maal de afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van 10^{-6} per jaar.

4. Het deel van de buisleiding dat binnen het potentieel knelpuntgebied ligt, wordt geselecteerd en als één potentieel knelpunt aangemerkt (Figuur 15D).

Figuur 14 Woningdichtheden (methode overlappende grids met verschillende oorsprong).



Figuur 15 A. Woningdichtheden langs een buisleiding;
 B. Selectie van niet-incidentele bebouwing binnen PR 10^{-6} /jaar;
 C. Bepaling potentieel knelpuntgebied rond geselecteerde woningen;
 D. Selectie van de buisleiding.



Noot: Deze plaatjes zijn ter illustratie van de selectiemethode opgenomen. De ligging van de risico's kan hierbij gedramatiseerd zijn.

Bijlage F Leden begeleidingscommissie

Dit rapport is tot stand gekomen onder toezicht van een begeleidingscommissie. De begeleidingscommissie bestond bij het uitkomen van deze rapportage uit de hieronder vermelde personen.

Ministerie van VROM
Directie Externe Veiligheid
Maarten van Leest
Postbus 30945
2500 GX Den Haag
tel. 070 3994433
fax 070 3991084
email maarten.vanleest@minvrom.nl

Gasunie
Jeroen Zanting
Postbus 19
9700 MA Groningen
tel. 050 5212095
fax 050 5211932
email r.w.j.zanting@gasunie.nl

Ministerie van VROM
Directie Externe Veiligheid
Bas Weenink
Postbus 30945
2500 GX Den Haag
tel. 070 3992939
fax 070 3991084
email bas.weenink@minvrom.nl

SABIC
Theo Gielkens
Postus 601
6160 AP Geleen
tel. 046 4761418
fax 046 4762808
email theo.gielkens@sabic-europe.com

DOW Chemical Company
Rudi Dauwe
Postbus 48
4530 AA Terneuzen
tel. 0115 672920
fax 0115 673402
email rdauwe@dow.com

Shell Nederland Raffinaderij
Chiel Jacobs
Postbus 3000
3190 GA Hoogvliet
tel. 010 4311940
fax 010 4311507
email chiel.jacobs@shell.com

Gasunie
Eric Jager
Postbus 19
9700 MA Groningen
tel. 050 5213179
fax 050 5211932
Gasunie
email e.e.r.jager@gasunie.nl

VELIN
Rien van Berkom
Ringweg 37
6097 EC Heel
mobiel 06 53330285
email imconsultant@hetnet.nl

Disclaimer bij RIVM-rapport nr 620120001

Formeel geldt voor K1K2K3-leidingen nog steeds de circulaire K1K2K3. Anticiperen op nieuwe afstanden mag wel, maar deze afstanden zijn niet vastgesteld. Het RIVM-rapport geeft plaatsgebonden risicoafstanden op basis van een voorbeelddruk van 40 bar. Momenteel wordt er gewerkt aan een uitgebreid consequentieonderzoek voor K1K2K3-leidingen. Hierbij zal rekening worden gehouden met de druk in de leiding. De wijze van modelleren in het RIVM-rapport is leidend voor dit aanvullende onderzoek.

Voor verdere beleidsmatige vragen kunt u contact opnemen met dhr. Miggelbrink van het ministerie van VROM (tel. 070 – 339 4454).