

Domino aspecten van buisleidingen (Bevb)

Het voorkomen van domino-effecten met escalatie voor transportleidingen met gevaarlijke stoffen

Een verkennend onderzoek door de
Werkgroep Domino buisleidingen



Februari 2018

DEELNEMERS

Bas Chiaradia	Petrochemical Pipeline Services		
Frans Driessen	VELIN		
Gerald Laheij	RIVM		
Kees Theune	IenM / V&R		
Marc Dröge	Gasunie / Gas Transport Services		
Schelte Rozendal	NAM		

REVISIE

Revisienr.	Beschrijving	Datum
1.1	Eindversie voor kennisname (NC 310004, STOWA Studiegroep pijpleidingen voor vloeistoffen en gassen, BIG, w.g. NTA 8036 leidingstroken, Kennistafel buisleidingen).	01-02-2016
1.2	Update kratermodel hogedruk gasleidingen in Tabel 3 en de tekst in §5.2.1. De afmetingen zijn met het nieuwe PIPESAFE model berekend voor een guillotinebreuk, waarbij het nieuwe model rekening houdt met leidindruk. Verder een aantal tekstuele wijzigingen.	03-01-2018

INHOUDSOPGAVE	pagina
1. Samenvatting	6
2. Introductie en leeswijzer	7
2.1 Introductie	7
2.2 Historie van de domino discussie buisleidingen	7
2.3 Leeswijzer	8
2.4 Achtergrond en doel	8
2.5 Afbakening van het onderzoek	9
2.6 Beperkingen van het onderzoek	9
3. Kader wet- en regelgeving	10
3.1 Leidingen in leidingstroken	10
3.2 Bevb	11
3.3 NEN-3650:2012 en NTA-8000:2009/NEN-3655:2015	12
4. Definitie en toerekening van domino-effecten	13
4.1 Wederzijdse beïnvloeding van buisleidingen	13
4.2 Domino en cumulatie.	13
4.3 Domino-effecten	13
4.4 Escalatie overwegingen	14
4.5 Toedeling van domino-effecten in de QRA	14
5. Domino scenario's	15
5.1 Inventarisatie van domino-modellen	15
5.2 Ontgrondingen	16
5.2.1 Kratermodel hoge druk aardgasleidingen en hogedruk gasleidingen	16
5.2.2 Kratermodel vloeistofleidingen	18
5.2.3 Kratermodel buisleidingen gevuld met een tot vloeistof verdicht gas	18
5.3 Warmtestraling	18
5.3.1 Brandbaar gas naar gas	18
5.3.2 Gas naar vloeistof/chemische producten	19
5.3.3 Vloeistof naar gas/chemische producten	19
5.3.4 Vloeistof naar vloeistof	19
5.3.5 Tot vloeistof verdichte gassen naar gas/vloeistofleidingen	19
5.3.6 Effecten op reactieve stoffen in buisleidingen	20
5.4 Overdruk	23
5.4.1 Aardgasleidingen naar (aard)gasleidingen	23
5.4.2 Vloeistofleidingen naar gas/vloeistofleidingen	23
5.4.3 Falen door lage temperatuur	25
5.4.4 Falen tot vloeistof verdichte gassen door hoge temperatuur	25
5.4.5 Chemische producten	25
5.5 Aan te houden minimale afstanden ter voorkoming van domino-effecten	26
5.5.1 Fysische effecten door overdruk en grondversnellingen	26
5.5.2 Aardgasleidingen	26
5.5.3 Vloeistofleidingen	26
6. Aandachtpunten voor verwerking domino-effecten in risicoanalyse (QRA)	27
7. Risicoreducerende maatregelen ter voorkoming van domino-effecten	28
7.1 Dominovrij ontwerp buisleidingstrook	28
7.2 Vervolgkansbeperkende en effectbeperkende maatregelen	28
7.2.1 Beperking faalfrequentie initieel falende leiding	28
7.2.2 Beperking vervolgkans op een domino-effect	30
7.2.3 Beperking domino-effect zelf	30

8. Leemten in kennis	32
9. Toepassing van dit document	32
10. Referenties en literatuur	33
Bijlage 1: Effect van kruisende buisleidingen	34
Bijlage 2: Selectiemethodiek domino-effecten voor buisleidingen	39
Bijlage 3: Kraterberekeningen aardolieproductleidingen	40
Bijlage 4: Ontgronding bij vloeistoffen	41
Bijlage 5: Terms of Reference werkgroep Domino Buisleidingen	45

1. **SAMENVATTING**

Dit rapport beschrijft de aspecten die een falende buisleiding met gevaarlijke inhoud kan hebben op naast en/of nabijgelegen buisleidingen met een gevaarlijke inhoud, m.a.w. buisleidingen gelegen in een zogenaamde buisleidingenstrook.

Onder falen wordt verstaan lek of breuk ("loss of containment").

Indien één of meerdere naast of nabijgelegen buisleidingen falen spreken we van een domino-effect. Indien de gevolgen van het falen van die naast of nabijgelegen leiding(en) ernstigere uitwerkingen op de omgeving hebben dan die van de oorspronkelijke gefaalde leiding, spreken we van escalatie.

Dit rapport beschrijft naast de aspecten die kunnen leiden tot domino-effecten (kortweg domino genoemd) en escalatie, tevens maatregelen die genomen kunnen worden om dit tegen te gaan (mitigerende maatregelen). Het gaat hierbij om constructieve mitigerende maatregelen betreffende individuele buisleidingen, maar ook mitigerende maatregelen die betrekking hebben op het inrichten van leidingstroken voor meerdere parallelle buisleidingen met gevaarlijke inhoud. Het gaat hierbij in principe dus niet om kruisende buisleidingen, alhoewel een aantal van de voorgestelde mitigerende maatregelen in dergelijke gevallen eveneens soelaas kunnen bieden. Overigens is de kans, meestal uitgedrukt als de kans op een gebeurtenis per km buisleidinglengte per jaar, op het optreden van domino bij kruisende buisleidingen beduidend kleiner dan voor parallel liggende buisleidingen onder vergelijkbare omstandigheden.

Voorts gaat het in dit rapport uitsluitend over stalen buisleidingen in de grond. Specifieke situaties zoals bovengrondse leidingdelen en gestapelde buisleidingen (meerlaags gelegde buisleidingen) zijn niet expliciet beschouwd.

Er kan worden geconcludeerd dat het goed mogelijk is om minimale onderliggende afstanden tussen buisleidingen te definiëren waarbij er geen domino meer optreedt. Deze minimale afstanden zijn afhankelijk van het soort product, verpompingscondities en diameter/druk van de buisleidingen. Over het algemeen gaat het dan over maximale afstanden tussen de 4 en 9 meter. Dit gaat vooral op voor (brandbare) gassen onder hoge druk. Voor de meeste (brandbare) vloeistofleidingen gelden beduidend kleinere maximale afstanden.

Het is mogelijk om mitigerende maatregelen te treffen om de risico's van domino te verlagen. Een deel van deze maatregelen zijn kwantitatief te waarderen. Dit rapport geeft richting aan die te treffen maatregelen (vooral bij de aanleg van nieuwe leidingen). Een inschatting van haalbaarheid/betaalbaarheid is echter niet gedaan.

Een kwantificering van domino in de vorm van een QRA (kwantitatieve risicoanalyse) is nog niet gelukt omdat er geen cijfermatige onderbouwing van de faalkans verhoging als gevolg van domino is uitgevoerd c.q. verlaging als gevolg van mitigerende maatregelen.

Inmiddels wordt dit (concept)rapport ook gebruikt bij de opstelling van een NTA 8036 (Nederlandse Technische Afspraak) voor buisleidingstroken.

2. INTRODUCTIE EN LEESWIJZER

2.1 Introductie

Dit rapport beschrijft de aspecten van domino-effect scenario's tussen buisleidingen in buisleidingstroken, en vormt daarmee een aanzet tot het kunnen formuleren van aanbevelingen om deze effecten waar mogelijk te vermijden of te reduceren.

Een belangrijke karakteristiek van een buisleidingenstrook is de parallelle ligging van individuele buisleidingen. Het is denkbaar dat het falen van een buisleiding leidt tot het falen van een parallel liggende leiding. We spreken in dat geval van een domino-effect. Domino-effecten zijn altijd ongewenst, maar in het bijzonder als de door domino gefaalde buisleiding een groter effect heeft op de veiligheid (en het milieu) dan de eerst bezwoken leiding. We spreken in dit geval van escalatie.

Onder domino wordt in dit rapport niet verstaan de gevolgen die een falende buisleiding kan hebben op de leveringszekerheid of gevolgschades uit hoofde van de uitbedrijfname van de gefaalde buisleiding of naast of nabijgelegen buisleidingen. Onder domino wordt in dit verband verstaan de directe gevolgen voor de omgeving door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen, denk hierbij aan gaswolken, brand of explosie of ernstige milieuschade ten gevolge van de gefaalde buisleiding én één of meerdere naast of nabij gelegen buisleidingen. Het gaat hierbij dus om externe veiligheid en de extra risico's die domino-effecten en escalatie in het bijzonder kunnen introduceren.

Domino-effecten tussen parallelle buisleidingen worden in dit rapport als meest relevant beschouwd en daarom uitgewerkt. Bij kruisende buisleidingen kan er ook een domino-effect optreden, de kans van optreden is echter vele malen kleiner. In bijlage 1 wordt het effect van kruisende buisleidingen op buisleidingen in de strook weergegeven.

De kans op domino-effecten neemt toe met afnemende onderliggende afstand tussen de buisleidingen. In Nederland is ruimte vaak schaars, het is daarom van groot belang dat de beschikbare ruimte (o.a. voor buisleidingstracé's) op een efficiënte manier wordt ingericht waarbij echter de veiligheid niet uit het oog moet worden verloren.

2.2 Historie van de domino discussie buisleidingen

In 2009 kwam in het kader van de ontwikkeling Structuurvisie buisleidingen (strookindeling en hoofdstuk beheer) de discussie over domino en cumulatie op gang. Op 1 juli 2009 en 19 november 2009 zijn themaworkshops "beheer leidingstroken" gehouden onder regie van het toenmalige ministerie VROM. Door Gasunie is vervolgens voor aardgasleidingen in het kader van het Bevb een studie verricht om het aspect domino te kwantificeren. Deze bevindingen zijn in 2011 in klein comité besproken (Gasunie, NAM, IenM, RIVM). Daaruit bleek dat er geen eenduidigheid bestond over definities, relevantie en wijze van toerekening. In I&M-VELIN overleg werd derhalve besloten het onderwerp domino-effecten nader te onderzoeken. Dit resulteerde vervolgens in het instellen van een werkgroep Domino buisleidingen met Terms of References (zie bijlage 5) voor een verkennende studie die is uitgevoerd in 2013 t/m 2015. De studie heeft vervolgens geleid tot het nu voorliggende rapport.

2.3 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

Hoofdstuk 3 schetst het wettelijk kader.

In hoofdstuk 4 wordt vervolgens het begrip "domino" uitgewerkt met een definitie en de wijze van toerekening van domino-effecten.

Hoofdstuk 5 geeft de typen domino scenario's en effecten weer voor de diverse categorieën buisleidingen.

Vervolgens wordt in hoofdstuk 6 aandachtspunten voor de verwerking van domino-aspecten in de risicoberekeningen gedeeld.

Waarna met de opgedane kennis de bijbehorende risico reducerende maatregelen ter voorkoming van deze domino-effecten worden behandeld in hoofdstuk 7.

Hoofdstuk 8 geeft de leemten in kennis weer binnen de onderzoeksgroep voor eventueel toekomstig gebruik.

In hoofdstuk 9 ten slotte zijn suggesties voor het gebruik van het rapport gegeven. Vooral nuttig in dit verband is het volgordeschema voor de bepaling van domino in bijlage 2.

2.4 Achtergrond en doel

In de Structuurvisie Buisleidingen (SVB 2012) is in hoofdstuk 8 "Strookbreedte en externe Veiligheid" het aspect "domino" belicht voor parallelle buisleidingen. In de visie is niet diepgaand ingegaan op het begrip, noch op de eensluidende definitie, mechanismen en mogelijke mitigerende maatregelen.

Het aspect domino is in de Structuurvisie Buisleidingen onder meer behandeld in hoofdstuk 8.3 "Domino-effecten en cumulatie". Dit hoofdstuk bevat onder meer de volgende stelling:

"Domino-effecten in redelijk bewoonde locaties kunnen voor een belangrijk deel en misschien wel geheel door het toepassen van zwaardere pijpklassen in combinatie met strenger beheer dan gebruikelijk worden voorkomen. Nader onderzoek van het RIVM¹ zal dit moeten uitwijzen. Bij voldoende onderlinge afstand doet zich geen domino-effect voor en hoeft hier ook geen rekening mee gehouden te worden".

Uit een globale analyse uitgevoerd voor het ministerie van IenM ten behoeve van de Structuurvisie Buisleidingen blijkt dat er in circa 80 situaties (100 tot 200 km), volgens de visiekaart zo'n 5 à 10% van de totale lengte van de nationale leidingstroken, sprake is van versmalde buisleidingenstroken vanwege beperkingen zoals bebouwing. Volgens informatie van RWS (status oktober 2013) is dit aantal door aanvullende onderzoeken inmiddels toegenomen. In deze situaties is er een verhoogde kans op domino-effecten als gevolg van geringere onderlinge afstanden tussen buisleidingen.

In hoofdstuk 9 "Beheer van leidingstroken" worden beheeraspecten van SVB buisleidingstroken belicht en wordt een verdere uitwerking van het gezamenlijke beheer overgelaten aan een werkgroep van Rijkswaterstaat en VELIN. Onder beheer wordt mede verstaan het inrichten van de SVB buisleidingstroken.

¹De bijdrage van RIVM is verwoord in dit rapport.

Doel van dit “domino” rapport is de stand van zaken weer te geven van de kennis omtrent het optreden van domino-effecten, om daarmee invulling te kunnen geven aan (en omgaan met) het aspect domino zoals onder meer verwoord in hoofdstuk 8.3 van de Structuurvisie “Domino-effecten en cumulatie”.

Daarmee geeft dit rapport handreikingen voor het voorkomen van domino-effecten die gebruikt kunnen worden voor de inrichting en het beheer van leidingstroken en SVB stroken in het bijzonder omdat deze immers uitsluitend buisleidingen bevatten met gevaarlijke inhoud.

Inmiddels wordt dit (concept)rapport ook gebruikt bij de opstelling van een NTA (Nederlandse Technische Afspraak) voor buisleidingstroken.

2.5 Afbakening van het onderzoek

Deze rapportage beperkt zich tot stalen buisleidingen in de grond, ook wel ondergrondse buisleidingen genoemd.

Deze rapportage gaat in op de effecten op de veiligheid bij falen van meerdere parallel en/of nabijgelegen buisleidingen. Het rapport geeft geen cijfermatige onderbouwing voor de faalkansverhoging of -verlaging van de individuele buisleidingen.

2.6 Beperkingen van het onderzoek

Langdurige secundaire faalmechanismen (zoals door de beschadiging van coating) en milieueffecten als gevolg hiervan (zoals door kleine lekkages, langdurige emissies) vormen ook geen onderdeel van deze rapportage.

Effect beïnvloedende omgevingsfactoren zoals bijvoorbeeld productuitstroming via drainageleidingen dwars over de buisleidingen zijn eveneens niet meegewogen; uitgegaan is van “standaard” situaties waarbij bijvoorbeeld leidingstroken niet door drainageleidingen worden gekruist.

Ook de bijdrage van risicoverhogende (met name faalkansverhogende) objecten zoals windturbines, hoogspanningsmasten en transportmiddelen in de nabijheid van een buisleiding zijn niet inbegrepen in deze rapportage. Deze zijn reeds verwerkt in de faalkansen van de individuele buisleidingen al dan niet na het nemen van mitigerende maatregelen mocht daartoe aanleiding zijn geweest.

Er wordt geen rekening gehouden met 2-staps domino-effecten. Het geval waarbij buisleiding 1, buisleiding 2 aanstraalt en die op zijn beurt weer buisleiding 3 (meervoudige domino) wordt dus niet meegenomen.

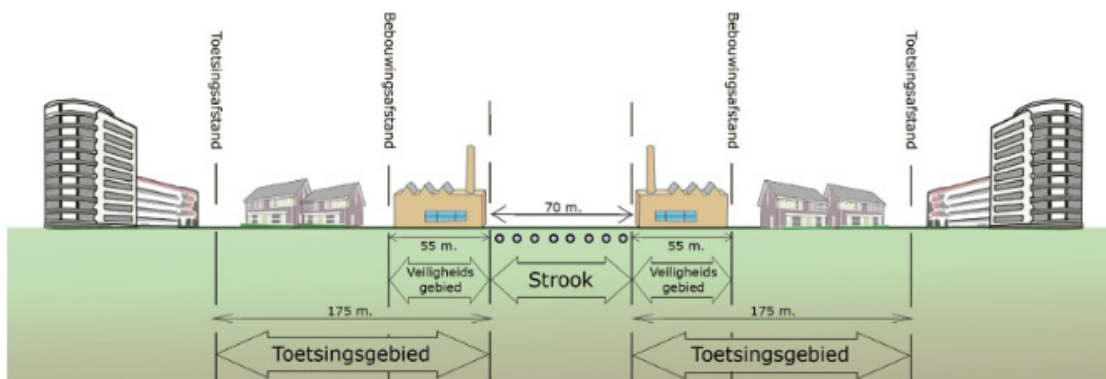
Momenteel is een ontwikkeling gaande over mogelijk beleid ten aanzien van meerlaags gelegde buisleidingen (verticaal gestapelde buisleidingen in de grond of in buisleidingframes). In dit rapport zijn dit type leidingen nog niet expliciet meegenomen.

Het rapport gaat niet in op aspecten met betrekking tot incidentbestrijding, leveringszekerheid en of beschadiging van nabijgelegen buisleidingen of bouwwerken. Het moge echter duidelijk zijn dat mitigerende maatregelen ter voorkoming c.q. vermindering van het optreden domino-effecten wel van invloed zijn op deze aspecten.

3. KADER WET- EN REGELGEVING

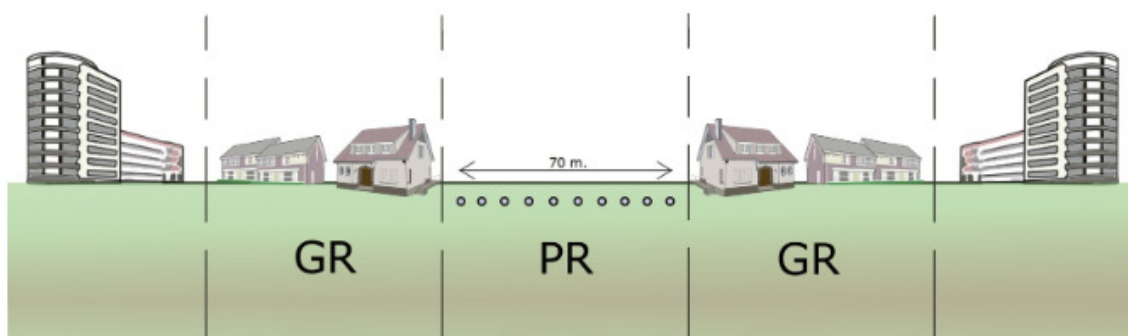
3.1 Leidingen in leidingstroken

In het oude Structuurschema (1985) gold een veiligheid strook van 55 meter aan weerszijden van de leidingstrook.



Figuur 8.1 Overzicht met veiligheids- en toetsingsgebieden Structuurschema Buisleidingen 1985

In de huidige Structuurvisie Buisleidingen (SVB 2012- 2035) is deze veiligheidszone zone rondom de strook verdwenen omdat met gepaste maatregelen de risico's kunnen worden beperkt. Men is derhalve uitgegaan van het standpunt dat de grenswaarde de plaatsgebonden risicocontour 10^{-6} (PR- contour 10^{-6}) niet buiten de randen van de buisleidingenstrook mag liggen.



Figuur 8.2 Overzicht met veiligheidsafstanden Structuurvisie Buisleidingen

N.B. In de provincie Zeeland geldt een strookbreedte van 40 m omdat door provinciaal beleid de leidingstroken al eerder werden aangegeven. De SVB heeft dit voor de provincie Zeeland overgenomen.

3.2 Bevb

Het Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevb) hanteert een aantal eisen met betrekking tot het plaatsgebonden risico (PR) voor individuele buisleidingen. Conform het Bevb, dat voor buisleidingen met gevaarlijke inhoud geldt, mag bij de aanleg van nieuwe buisleidingen of bij het vervangen van bestaande buisleidingen de plaatsgebonden risicocontour 10^{-6} , maximaal 5 meter aan weerszijden van de buisleiding liggen, gemeten vanuit het hart van de buisleiding. Dit geldt ook voor smallere stroken. In geval van bestaande buisleidingen mogen zich geen kwetsbare objecten binnen de 10^{-6} PR risicocontouren van die buisleidingen bevinden. Is dat wel het geval dan moeten er saneringsmaatregelen worden getroffen die ofwel de risicocontouren verkleinen ofwel het kwetsbare object binnen de contourlijnen verwijderen. Het Bevb bepaalt tevens dat er vanuit praktische overwegingen voor onderhoud- en inspectiedoeleinden een zekere ruimte moet zijn. Er is vastgelegd dat deze ruimte (de zgn. belemmeringenstrook) minimaal 4-5 meter ter weerszijden van de hartlijn van de buisleiding moet bedragen². Binnen deze strook gelden belemmeringen voor het gebruik van de grond in verband met een veilige en ongestoorde ligging van de leiding en voor het kunnen uitvoeren van onderhoud aan de leiding. Op grond van het Bevb moeten daarom in elk geval nieuwe kwetsbare bestemmingen buiten de belemmeringenstrook worden gebouwd. Met het instellen van de belemmeringenstrook is niet alleen de omgeving gediend maar ook leveringszekerheid. De facto betekent dit dat er uiteindelijk geen kwetsbare objecten meer binnen de 5 m van een buisleiding met gevaarlijke inhoud mogen worden gebouwd, zelfs al ligt de PR 10^{-6} contour dus binnen die 5m.

Dit betekent eveneens dat bij de aanleg van een nieuwe buisleiding deze niet dichterbij dan 5m van de afperking van buisleidingenstrook mag worden aangelegd als er zich tegen de grens van die leidingstrook kwetsbare objecten bevinden. Dit is vooral relevant in geval van versmalde situaties.

Het uitgangspunt van de Structuurvisie buisleidingen houdt tevens impliciet in dat nieuwe buisleidingen op zodanige afstand dienen te worden gelegd dat het domino-effect niet kan leiden tot te grotere risico's c.q. ingeval van bestaande buisleidingen deze risico's moeten worden teruggedrongen voor kwetsbare objecten. Volgens de Structuurvisie buisleidingen vraagt dit voor aardgasleidingen een onderlinge minimale afstand van zo'n 5 tot 7 meter. Daar waar buisleidingen dichterbij elkaar moeten worden gelegd en in een dergelijke situatie tevens sprake is van een redelijk dichte bewoning, moet met domino-effecten wel rekening worden gehouden door het treffen van mitigerende maatregelen. In de handleiding rekenmethodiek Bevb is de mogelijke invloed van parallelle buisleidingen en andere nabijgelegen risico verhogende objecten overigens niet uitgewerkt.

Daarnaast hebben gemeenten, conform artikel 11 lid 3 van het Bevb, een verantwoordingsplicht met betrekking tot het groepsrisico (GR) c.q. toename van het groepsrisico. Ook voor de GR-verantwoording zal rekening gehouden moeten worden met de risico's die buisleidingen met gevaarlijke inhoud dan wel met (toekomstige) buisleidingen in een SVB buisleidingenstrook met zich mee kunnen brengen, dus ook met betrekking tot het optreden van domino-effecten en mogelijke escalatie.

De Structuurvisie buisleidingen is inmiddels geïmplementeerd in het Barro (Besluit Algemene Regels Ruimtelijke Ordening) op basis van de WRO (Wet ruimtelijke ordening). Volgens het Barro dient het bevoegde gezag WRO (veelal de gemeenten) rekening te houden met het open houden van buisleidingstroken van Nationaal belang. In deze stroken liggen veelal reeds bestaande buisleidingen, maar er dient vooral ook ruimte te worden vrijgehouden voor toekomstige buisleidingen. Belangen van

² Overlap van belemmerde stroken voor meerdere buisleidingen is toegestaan.

omwonenden, externe veiligheid, interne veiligheid en optimaal ruimtegebruik spelen bij de ruimtelijke afwegingen en bestemmingplannen een belangrijke rol.

3.3 *NEN-3650:2012 en NTA-8000:2009/NEN-3655:2015*

Met extra beschermende maatregelen kan veel worden bereikt, zoals met mitigerende (beheers)maatregelen genoemd in de handleiding risicoberekeningen Bevb, de NEN 3650 en de NTA-8000:2009 c.q. de opvolger NEN-3655:2015, zodat de PR-contour mogelijk binnen de strook blijft. In een aantal leidingstroken is sprake van de aanwezigheid van reeds bestaande buisleidingen, hetgeen extra (beheers)maatregelen kan vergen.

4. DEFINITIE EN TOEREKENING VAN DOMINO-EFFECTEN

4.1 *Wederzijdse beïnvloeding van buisleidingen*

Leidingen die in elkaars nabijheid liggen, kunnen op meerdere mogelijkheden elkaar beïnvloeden. Denk aan beïnvloeding van de kathodische bescherming, beïnvloeding door graafwerkzaamheden bij constructie, reparatie en beheer (operatie) van een naastliggende buisleiding, alsook door falen van een van de buisleidingen ten gevolge van werkzaamheden door derden of externe factoren (zoals grondzettingen, drainage, constructie, het plaatsen van risico verhogende objecten in de omgeving zoals windturbines).

In dit rapport wordt alleen ingegaan op wederzijdse beïnvloeding die leidt tot het *falen* van één van de buisleidingen door welke oorzaak dan ook.

4.2 *Domino en cumulatie.*

Domino is niet hetzelfde als cumulatie. Cumulatie heeft betrekking op het louter optellen van het risico van (onderling onafhankelijke) gebeurtenissen. Bij domino daarentegen is er een onderlinge beïnvloeding doordat een eerste falen leidt tot het falen van andere risico veroorzakende objecten, in dit geval buisleidingen. Er is dus uiteindelijk één gebeurtenis die overblijft. Er is dus een causaal verband tussen het falen waarbij de effecten al dan niet in ernst kunnen toenemen. Neemt het totale effect merkbaar toe waardoor ook het uiteindelijke risico toeneemt dan spreken we van domino met escalatie. Domino al dan niet met escalatie aan de ene kant en cumulatie aan de andere kant zijn dus wezenlijk andere verschijnselen.

4.3 *Domino-effecten*

Indien een buisleiding faalt, kunnen de volgende effecten een rol spelen op de veilige ligging van naburige buisleidingen:

- Door het falen (als breuk) van een buisleiding onder hoge druk zal een schokgolf ontstaan, die naast ontgronding een parallel liggende buisleiding kan beschadigen door de directe krachtinwerking.
- Indien de falende buisleiding een brandbaar medium bevat, kan door de warmtestraling een parallel liggende buisleiding falen als gevolg van de hitte of door ongewenste reacties in de buisleiding die wordt aangestraald.
- Indien een buisleiding faalt en een grote krater ontstaat, kan een parallel liggende buisleiding falen door gebrek aan ondersteuning (free span) als gevolg van de ontgronding.
- Indien een buisleiding een corrosief medium bevat, kan dit de integriteit aantasten van nabij liggende buisleidingen.
- Indien een buisleiding een medium bevat dat sterk afkoelt bij vrijkomen van het product, kan een parallel liggende buisleiding bezwijken indien het leidingmateriaal niet bestendig is tegen de lage temperatuur.

De aard en stabiliteit van de bodem zijn daarbij factoren die een rol kunnen spelen (zand, klei, veen, waterstand).

Domino-effecten zullen zich alleen kunnen voordoen daar waar de onderlinge afstand tussen de buisleidingen onvoldoende is (men spreekt dan van een afhankelijke ligging). Dit is veelal het geval bij versmalde leidingstroken of smalle doorgangen waarbij veel buisleidingen binnen die stroken of doorgangen nopen tot een kleinere onderlinge afstand.

5. DOMINO SCENARIO'S

5.1 Inventarisatie van domino-modellen

De volgende domino-scenario's zijn onderkend voor falen van ontvangende buisleiding B (voortaan domino-leiding genoemd):

Medium veroorzakende buisleiding A	Domino-effecten door buisleiding A
Gas	overdruk / explosie ontgronding aanstralen (medium buisleiding A: brandbaar)
Vloeistof	ontgronding door overdruk aanstralen (medium buisleiding A: brandbaar)
Tot vloeistof verdicht gas	overdruk / explosie ontgronding aanstralen (medium buisleiding A: brandbaar) afkoeling (brosheid)

Tabel 1: Mogelijke domino faalscenario's voor verschillende type in producten.

Onderzoek door de werkgroep Domino heeft uitgewezen dat:

- Voor het veroorzaken van een domino-effect het in de meeste gevallen noodzakelijk is dat de domino-leiding in dezelfde krater moet liggen als de domino veroorzakende buisleiding, tenzij er sprake is van een explosie veroorzaakt door de domino veroorzakende leiding.
- In geval van een explosie door de domino veroorzakende buisleiding het afhankelijk is van kracht van de explosie, de grondslag, de diepteligging van de falende buisleiding c.q. de diepte waar de explosie plaatsvindt (ook in geval van een krater t.g.v. voorafgaande uitstroming onder druk), en de afstanden en dieptes tot de naastliggende buisleidingen of deze naast liggende buisleidingen al dan niet door een schokgolf worden beschadigd en vervolgens falen.
- Aanstralen van een andere buisleiding als gevolg van het vrijkomen van een vloeistof (plasbrand) een reële mogelijkheid is en daarom moet worden meegenomen. De aanstraling vindt echter pas plaats als de domino-leiding boven het vloeistofniveau in de krater gelegen is;
- Als gevolg van het vrijkomen van een corrosieve stof naastgelegen buisleidingen kunnen worden beschadigd. Dit scenario op vervolgschade wordt in de context van deze studie niet gezien als een domino-effect omdat er een te groot tijdsinterval zit tussen falen en mogelijk falen van andere buisleidingen. Er is dan voldoende tijd om maatregelen te nemen. De opname van mogelijke vervolgschade aan nabijgelegen buisleidingen is verondersteld te zijn geborgd in het reguliere leidingbeheer en calamiteitenafwikkeling.

Voor de bepaling of er sprake is van domino is het van belang om zowel de effecten van de falende buisleiding te bepalen zoals schokgolven, ontgronding en brand, als ook het gedrag op deze effecten van de ontvangende buisleiding te bepalen, evenals de bijkomende effecten (voor verschillende stoffen) van de ontvangende buisleiding (de domino-leiding) te bepalen met name of er al dan geen escalatie zal optreden.

De kennis over de domino-effecten van de verschillende combinaties van falende en escalerende buisleidingen verschilt per casus (tabel 1).

De meeste kennis is beschikbaar voor de situatie dat een aardgasleiding faalt en dat de parallel gelegen buisleiding ook een aardgasleiding is. Door onder meer Gasunie is hiervoor het model Prophet³ ontwikkeld, waarmee de gevolgen van overdruk en aanstralen kunnen worden doorgerekend als functie van de onderlinge afstand en de leidingparameters zoals diameter, druk, wanddikte en staalsoort.

TNO heeft voor de bepaling van overdrukeffecten op basis van onderzoek uit de jaren zeventig een model ontwikkeld⁴ (TNO- model overdruk). Dit schademodel kan (mogelijk) worden gebruikt voor alle typen buisleidingen (medium). Dit model is ook de basis van het overdrukmodel in Prophet.

De kennis betreffende beschikbare modellering voor domino door brand/aanstraling en overdruk/explosie is in onderstaande twee tabellen samengevat. Elk model wordt in de volgende paragrafen kort beschreven.

		Medium lekkende leiding		
		Aardgas (krater door, explosie, warmtestraling)	Vloeistof (ontgroning door uitspoeling warmtestraling)	Tot vloeistof verdicht gas (ontgroning of krater, warmtestraling, afkoeling)
Medium aangestraalde leiding	Aardgas	TNO-model (overdruk) Prophet (overdruk, krater)	Kratermodel conform rekenmethodiek NEN-3651	Kratermodel niet bekend, schademodel niet bekend
	Vloeistof		Schademodel niet bekend	
	Tot vloeistof verdicht gas			

Tabel 2: Beschikbaarheid van modellen voor domino voor diverse type scenario's.

Betekenis:

	= (afgeleid) Model beschikbaar
	= Model niet gepubliceerd maar mogelijk beschikbaar
	= Model niet bekend/beschikbaar

5.2 Ontgrondingen

5.2.1 Kratermodel hoge druk aardgasleidingen en hogedruk gasleidingen

Als gevolg van een explosieve ontspanning van samengeperst gas bij leidingbreuk, treedt er een ontgrondingskrater op. De kraterafmetingen hangt met name af van de diameter en diepteligging van de buisleiding en van de grondsoort, maar ook van de leidingdruk. Voor de grondsoort wordt voor risicoberekeningen generiek uitgegaan van een zand/klei mix. De kraterafmetingen in tabel 3 zijn berekend met het kratermodel in PIPESAFE⁵.

³ Prophet is een model dat in 1998 is ontwikkeld in een internationale samenwerking van aardgastransportbedrijven. Het model kan bepalen of tweede, parallelle buisleiding faalt door overdruk veroorzaakt door falen van de eerste leiding. Indien de buisleiding niet faalt door overdruk, maar wel in de krater komt te liggen en de gasuitstroom ontsteekt, kan het model bepalen welke flow nodig is om de aangestraalde buisleiding voldoende te koelen.

⁴ Safe Design of pipeline corridors, Onderzoek model Maasvlakte. RVO-TNO, 1973, opdracht 9124-I.

⁵ PIPESAFE is een model dat ontwikkeld wordt in een internationale samenwerking van aardgastransportbedrijven. Met het model kunnen risicoberekeningen van hogedruk aardgastransportleidingen worden uitgevoerd. PIPESAFE vormt de basis van het in het Bevb voorgeschreven pakket CAROLA.

Diameter van de leiding (mm)	Druk (bar)	Dekking [m]				
		0.8	1	1.2	1.5	1.75
DN 150	40	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9
	60	1.8	1.9	2.0	2.2	2.2
	80	2.0	2.1	2.3	2.4	2.5
	100	2.1	2.3	2.4	2.6	2.7
DN 250	40	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8
	60	2.5	2.7	2.8	3.1	3.2
	80	2.7	2.9	3.1	3.4	3.5
	100	2.8	3.1	3.3	3.6	3.8
DN 350	40	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4
	60	2.9	3.1	3.4	3.6	3.8
	80	3.1	3.4	3.7	4.0	4.2
	100	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5
DN 450	40	3.0	3.3	3.5	3.8	4.0
	60	3.4	3.7	3.9	4.3	4.5
	80	3.7	4.0	4.3	4.6	4.9
	100	3.9	4.2	4.5	4.9	5.2
DN 500	40	3.3	3.5	3.8	4.1	4.3
	60	3.6	3.9	4.2	4.6	4.8
	80	3.9	4.3	4.6	5.0	5.3
	100	4.2	4.5	4.9	5.3	5.6
DN 600	40	3.7	4.0	4.2	4.6	4.8
	60	4.1	4.4	4.7	5.1	5.4
	80	4.4	4.8	5.1	5.6	5.9
	100	4.7	5.1	5.4	5.9	6.3
DN 750	40	4.3	4.6	4.9	5.3	5.6
	60	4.8	5.1	5.5	5.9	6.3
	80	5.2	5.6	5.9	6.4	6.8
	100	5.5	5.9	6.3	6.8	7.2
DN 900	40	4.9	5.2	5.5	6.0	6.3
	60	5.4	5.8	6.2	6.7	7.0
	80	5.8	6.3	6.7	7.2	7.6
	100	6.2	6.6	7.1	7.6	8.1
DN 1050	40	5.4	5.8	6.1	6.6	7.0
	60	6.0	6.5	6.8	7.4	7.8
	80	6.5	7.0	7.4	8.0	8.4
	100	6.9	7.4	7.8	8.4	8.9
DN 1200	40	6.0	6.4	6.7	7.2	7.6
	60	6.7	7.1	7.5	8.1	8.5
	80	7.2	7.6	8.1	8.7	9.2
	100	7.6	8.1	8.6	9.2	9.7

Tabel 3: Halve kraterbreedte [m] (gemeten haaks op de leiding, vanaf hart leiding) voor aardgasleidingen bij een druk van 80 bar.

Deze tabel kan ook gebruikt worden als indicatie voor overige gassen onder hoge druk.

5.2.2 Kratermodel vloeistofleidingen

De bepaling van de kraterafmetingen voor een lekkende vloeistofleiding is beschreven in NEN-3651. De methode is samengevat in bijlage 4.

Bij vloeistof voerende leidingen zijn de afmetingen van de krater afhankelijk van het hydraulisch vermogen van de uitstromende vloeistof uit de leiding. Er zijn een aantal kraterberekeningen uitgevoerd voor aardolie(product)leidingen, bijlage 3 bevat de leidingparameters en kraterafmetingen.

Voor de berekende aardolieproductleidingen verbonden aan de winning van aardgas (eerste 10 cases van bijlage 3) is de berekende kraterbreedte kleiner dan 5 meter. Voor de grote aardolietransportleidingen is berekend dat de kraterbreedte kan toenemen tot enkele tientallen meters.

De berekeningen zijn op conservatieve wijze uitgevoerd en gaan uit van een continu gelijkblijvende maximale uitstroming. De werkelijke krater zal kleiner zijn indien de vloeistofleiding voortijdig (automatisch) wordt ingesloten.

5.2.3 Kratermodel buisleidingen gevuld met een tot vloeistof verdicht gas

Over de kratervorming bij buisleidingen met tot vloeistof verdichte gassen is weinig bekend. Of de kratervorming meer aansluit bij een gas- of vloeistofuitstroom zal onder andere afhangen van het expansie gedrag bij uitstroming. Als conservatieve benadering wordt voorgesteld om de kraterafmetingen zowel op basis van een vloeistof- als een gasuitstroom te bepalen en uit te gaan van de grootst berekende kraterafmetingen.

5.3 Warmtestraling

5.3.1 Brandbaar gas naar gas

Aanstraling vindt plaats indien een buisleiding faalt én er tevens een ontgrondingskrater ontstaat én de uitstroom ontsteekt én een parallel liggende buisleiding binnen de krater bloot komt te liggen. De aangestraalde buisleiding zal mogelijk falen indien er geen flow is om de buisleiding intern te koelen. Het programma Prophet kan uitrekenen welke flow (een maatstaf voor de warmteafvoer c.q. koeling) minimaal benodigd is om falen van de aanstraalde buisleiding te voorkomen. Deze flow hangt af van de diameter en druk van de aanstralende leiding. In Tabel 4 zijn voor 18" tot en met 48" aardgasleidingen op een druk van 80 bar de kritieke flowsnelheden gegeven die voor een aangestraalde aardgasleiding minimaal nodig zijn om de buisleiding voldoende te koelen. Voor andere gasleidingen zijn deze minimale flowsnelheden in het algemeen afwijkend afhankelijk van de verbrandingswarmte of calorische waarde van het brandende gas en de soortelijke warmte (Cv) en de warmte geleidbaarheid van het gas in de aangestraalde leiding.

	druk	Blootgestelde leiding (constructiefactor CF =0.65)		
		40 bar	60 bar	≥80 bar
	diameter			
straling veroorzakende leiding	DN450	0.45	0.42	0.39
	DN500	0.50	0.46	0.43
	DN600	0.61	0.56	0.51
	DN750	0.81	0.73	0.65
	DN900	1.05	0.93	0.81
	DN1050	1.33	1.17	1.01

	DN1200	1.63	1.42	1.22
--	--------	------	------	------

Tabel 4: kritieke flowsnelheden [m/s] voor koeling (aardgas/aardgas).

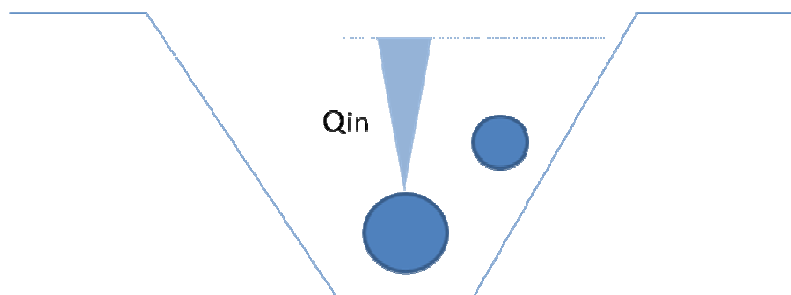
5.3.2 Gas naar vloeistof/chemische producten

Er wordt van uitgegaan dat buisleidingen anders dan aardgasleidingen op dezelfde wijze falen als aardgasleidingen. Omdat het koelend vermogen van vloeistoffen hoger is dan van aardgas is dit een conservatieve aanname die mogelijk nog verfijning behoeft. Immers, ter vergelijking, is de thermische geleidbaarheid die van belang is voor de warmteoverdracht van bijv. octaan (vergelijkbaar met een benzine-achtig product of met een zwaardere naftasoort) een factor 3,3 hoger dan methaangas onder druk. In andere literatuur worden voor de thermische geleidbaarheid van vloeistoffen een factor genoemd die 3 tot 10 keer hoger is dan die voor gassen. Daarnaast is warmtecapaciteit (warmteopname) van vloeistoffen door vooral de hogere dichtheid ook hoger. Daarmee kan de benodigde vloeistofstroming voor afkoeling beperkt blijven.

5.3.3 Vloeistof naar gas/chemische producten

Een ontstoken lekkage van een vloeistofleiding vormt alleen dan een bedreiging naar een blootliggende parallelle buisleiding in de gevormde krater als die leiding zich reeds boven het vloeistofniveau in de krater bevindt.

Om deze situatie te bereiken dient de hoeveelheid vloeistof die door verbranding of/en drainage (wegsijpelen) verdwijnt groter te zijn dan de toevoer van vloeistoffen (Q_{in}) uit de bezweken leiding. Zie figuur hierna.



De verbrandingssnelheid is afhankelijk van het type stof, voor nafta bedraagt deze ongeveer 0,5 cm/minuut. De tijd tot blootstelling aan warmtestraling en de totale blootstellingstijd van de nog intacte buisleiding valt dan eenvoudig af te leiden. Zo zal het, zonder rekening te houden met wegsijpelen, bij een afbrandsnelheid van 0.5 cm/min het circa 2 uur duren alvorens een vloeistofpeil 60 cm is afgebrand.

Omdat het mogelijke domino-effect op een veel later tijdstip plaatsvindt, bestaat de mogelijkheid om mitigerende maatregelen te nemen, zoals bv. het insluiten en drukvrij maken van de naastgelegen vloeistofleiding, door brandbestrijding middels het opbrengen van schuim of vol houden van de krater met water of het evacueren van de bevolking. Gezien de benodigde tijdsduur die tot falen kan leiden kan men dan eigenlijk al niet meer van een echt domino-effect spreken.

5.3.4 Vloeistof naar vloeistof

Dit is analoog aan het scenario vloeistof naar gas.

5.3.5 Tot vloeistof verdichte gassen naar gas/vloeistofleidingen

Hierover is weinig generieke kennis beschikbaar en er zal daarom stof specifiek naar gekeken moeten worden. Voor brandbare stoffen met een calorische waarde kleiner of

vergelijkbaar met die van aardgas kan worden uitgegaan van de aanpak uit paragraaf 7.5.4.

Buisleidingen met stoffen met een hogere calorische waarde dan aardgas, zullen specifiek bekeken moeten worden bekeken. Bij benadering kan worden uitgegaan door de verhouding van de verbrandingswarmte van het uitstromende medium en die van aardgas te vermenigvuldigen met de kritieke flowsnelheden uit tabel 4.

5.3.6 Effecten op reactieve stoffen in buisleidingen

In het voorgaande ging het om direct fysieke inwerkingen van krachten als gevolg van ontgrondingen en om de inwerking van warmtetoevoer op de ontvangende leiding (aanstraling). Hierbij werd ervan uitgegaan dat de inhoud van de ontvangende buisleiding zich gedraagt als een inert materiaal ten minste zolang de inhoud niet vrijkomt. Er zijn echter ook enkele stoffen die zich agressief of reactief kunnen gedragen indien ze worden opgewarmd. Voorbeelden zijn stoffen als ethyleenoxide (EO), propyleen oxide (PO), zuurstof en chloor. Deze worden hieronder besproken.

EO/PO

Bij een druk van 1 bar en een temperatuur van circa 500 °C treedt er decompositie van de ethyleenoxide (EO) op waarbij veel warmte vrijkomt. Als de druk in de buisleiding hoger is, dan treedt decompositie al bij lagere temperaturen op.

De decompositie gaat met explosieve snelheid (zelfs vlamverschijnselen in de leiding) gepaard en veroorzaakt een overdruk welke het falen van de buisleiding tot gevolg kan hebben. De kans dat dit optreedt bij een ingeblokte buisleiding (geen koeling) die wordt aangestraald wordt als zeer groot gezien.

Vanaf circa 130°C treedt polymerisatie op.

Voor PO (propyleenoxide) geldt in principe hetzelfde.

N.B. EO is toxisch. Bij EO is het effect van een toxische wolk groter dan bij ontsteking van het brandbare gas. Dit is vooral het geval indien er sprake is bij falen door druk, niet bij warmtestraling gevolgd door een ontsteking waarbij de stof wordt verbrand.

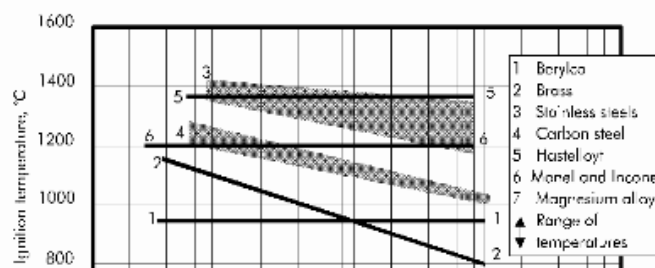
Zuurstof

Bij een door domino falende zuurstofleiding zal de stralingsintensiteit van een brand fors toenemen d.w.z. de afgegeven warmte per tijdseenheid neemt toe door de hogere zuurstofconcentratie. Een falende zuurstofleiding zal dus tot grotere stralingscontouren en dus tot grotere effect afstanden leiden en waarschijnlijk tot escalatie.

Afgezien van het hiervoor beschreven propagerend effect van het vrijkomen van zuurstof in de onmiddellijke omgeving van een brand zijn er de volgende bijzonderheden:

De max. operating temperatuur voor O₂ buisleidingen is in het algemeen +100 °C maar deze kan/mag niet gerelateerd of gebruikt worden voor het beoordelen van de conditie van de buisleiding als gevolg van incidentele blootstelling aan hoge temperatuur zoals stralingswarmte ingeval van een brand in de onmiddellijke nabijheid van de leiding.

De wand van een stalen (C-staal) buisleiding zal i.h.a. niet ontsteken tenzij de temperatuur stijgt boven 1.000 - 1.300°C. De brand moet dus in de onmiddellijke nabijheid van de buisleiding plaatsvinden.

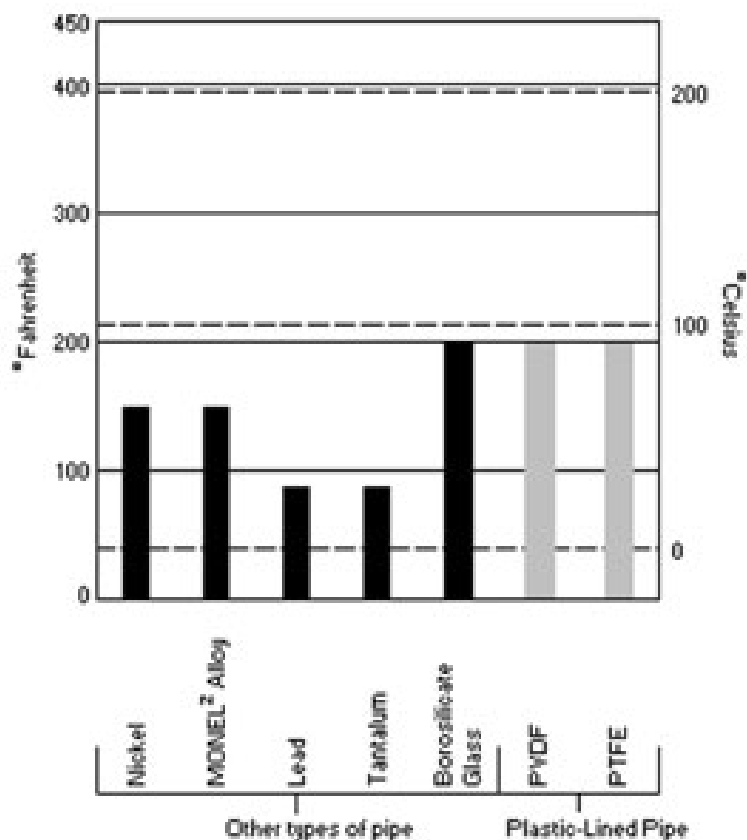


Chloor

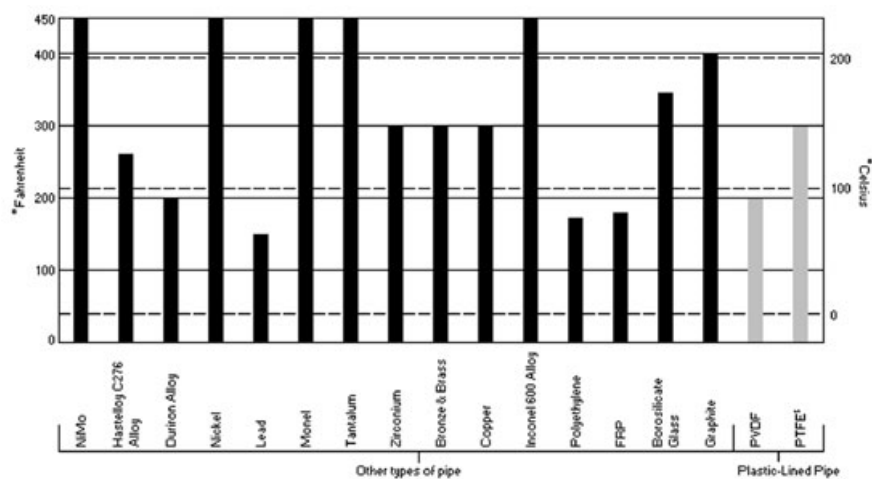
Bij normale temperaturen zal technisch droog chloor (max. 150 ppm water), vloeibaar of gasvormig, voor staal niet corrosief zijn. Dat verandert echter bij hogere temperaturen. Door de aanwezigheid van zelfs zeer geringe hoeveelheden vocht zullen staal maar ook veel andere constructiematerialen snel corroderen. Vandaar dat voor de meeste materialen de maximale materiaal gebruikstemperatuur op circa 100 °C is vastgesteld. Vanaf circa 170 °C kan er zelfs chloorbrand ontstaan. Het vrijkomen van chloor heeft door zijn toxiciteit zeer ernstige gevolgen. Bij het falen van een chloorleiding t.g.v. domino-effecten zal dus altijd sprake zijn van escalatie. Daar staat tegenover dat chloortransportleidingen, in tegenstelling tot zuurstofleidingen, niet in SVB stroken voorkomen maar slechts lokaal op één enkele plaats in het Rotterdamse havengebied. Het betreft een dubbelwandige buisleiding waardoor, afgezien van de lokale omstandigheden, directe aanstraling van de wand daardoor is uitgesloten en externe opwarming aanmerkelijk wordt vertraagd.

Figuur: Chlorine Liquid (Cl₂)¹ - maximum use temperatures.

¹Dry - containing less than 150 ppm H₂O.



Figuur: chlorine (Cl₂) Dry Gas¹ - maximum use temperatures



¹The addition of even a few ppm of water will cause dry chlorine gas to become extremely corrosive to practically all metals and alloys thereby eliminating a number of popular materials from consideration.

²Trademark of Inco Alloys International, Inc.

³Trademark of Stellite Rod Div., Stoddy Deloro Stellite, Inc.

⁴Trademark of Duriron Company, Inc.

5.4 Overdruk

5.4.1 Aardgasleidingen naar (aard)gasleidingen

Het model Prophet kan bepalen of een parallel liggende buisleiding kan falen door overdruk van de falende leiding. De leidingparameters die hier een rol spelen, zijn de diameter en druk van de buisleiding die de overdruk veroorzaakt, en diameter, druk, wanddikte, staalsoort van de buisleiding die blootgesteld wordt aan de overdruk. De afstand tussen beide buisleidingen is hierbij van groot belang. Tabel 5 geeft enkele voorbeelden van minimaal benodigde afstanden tussen buisleidingen om falen door overdruk te voorkomen.

Falende leiding		Onderlinge afstand (dagmaat)	Optredende overdruk ter plaatse van blootgestelde leiding	Parallele (blootgestelde) leiding			
Diameter	Druk			Diameter	Druk	Wand-dikte	Grade
(mm)	(bar)	(m)	(bar)	(mm)	(bar)	(mm)	
1219	80	0.5	70	1219	80	15.9	X70
1219	80	0.4	72	610	80	9.3	X60
1219	80	1.1	59	610	66.2	7.7	X60
1219	66.2	0.5	58	323.9	40	7.1	Grade B
914	80	0.3	71	1219	80	15.9	X70
914	80	0.2	74	610	80	9.3	X60
914	80	0.8	58	610	66.2	7.7	X60
914	66.2	0.3	59	323.9	40	7.1	Grade B
610	80	0.3	68	1219	80	15.9	X70
610	80	0.2	72	610	80	9.3	X60
610	80	0.6	57	610	66.2	7.7	X60
610	66.2	0.3	56	323.9	40	7.1	Grade B
457	80	0.2	71	1219	80	15.9	X70
457	80	0.2	71	610	80	9.3	X60
457	80	0.5	56	610	66.2	7.7	X60
457	66.2	0.2	59	323.9	40	7.1	Grade B

Tabel 5: enkele voorbeelden van minimaal benodigde afstanden voor aardgasleidingen ter voorkoming van falen door overdruk.

Voor buisleidingen met een tot vloeistof verdicht gas is het niet uitgesloten dat de ontstane drukgolf vergelijkbaar is met die voor een buisleiding waardoor een gas wordt getransporteerd. Met behulp van het Blast model van Baker is bekeken of er voor buisleidingen met tot vloeistof verdichte gassen significante overdruk effecten verwacht kunnen worden. Het model kan, ondanks dat het niet geheel geschikt is voor buisleidingen, de verwachte overdruk effecten voor aardgas- en aardolieleidingen redelijk goed reproduceren. De overdruk effecten voor leidingen met tot vloeistof verdichte gassen blijken dan weer overeen te komen met die voor aardgas. Aanbevolen wordt om voor buisleidingen met tot vloeistof verdichte gassen de onderling aan te houden afstand ter voorkoming van falen door overdruk gelijk te maken aan die voor een vergelijkbare aardgasleidingen.

5.4.2 Vloeistofleidingen naar gas/vloeistofleidingen

De druk van vloeistofleidingen daalt sterk/instantaan bij het bezwijken ervan. De drukgolf van de buisleiding op een parallelle buisleiding is daarmee in algemene zin gering. Het

risico op domino-effecten door overdruk is daarom nihil en wordt niet nader beschouwd/uitgewerkt.

5.4.3 *Falen door lage temperatuur*

Wanneer een buisleiding ten gevolge van breuk faalt en een tot vloeistof verdicht gas bevat of een superkritische stof, kan in de resulterende krater een koud kokende plas ontstaan. Wanneer de krater groot genoeg is en de afstand tot de naastgelegen buisleiding klein is, zal de naastgelegen buisleiding doorhangen in de krater terwijl het tegelijkertijd blootgesteld wordt aan (zeer) lage temperaturen. Dit wordt *koud doorhangen* genoemd.

Wanneer bij de falende buisleiding sprake is van een lek waarbij de uitstroom gericht is op de naastgelegen leiding, zal de naastgelegen buisleiding plaatselijk worden blootgesteld aan (zeer) lage temperaturen. Dit wordt *cold spot* genoemd. In beide gevallen kan afkoelen leiden tot grotere lokale (rest)spanningen in de buisleiding en in de lassen en tot veranderingen in taaiheid c.q. leiden tot lokale brosheid. In hoeverre de naastgelegen buisleiding uiteindelijk zou kunnen falen, zal moeten worden bepaald aan de hand van onderzoek (berekeningen, simulatie, testen). Daarnaast zal flow door de buisleiding evenals in het geval van aanstraling ook hier een mitigerende werking hebben nu door het opwarmen c.q. afvoeren van de koude.

5.4.4 *Falen tot vloeistof verdichte gassen door hoge temperatuur*

Aanstraling van de “hotspot” en de daarbij gepaard gaande drukverhoging zal in de buisleiding ontlast worden, en als zodanig niet tot BLEVE c.q. verhoogd effect leiden.

5.4.5 *Chemische producten*

Een overzicht van de chemische producten wordt gegeven in de (concept) Module D van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb. De hierin voorkomende agressieve en reactieve stoffen voor zover zij bijzondere aandacht behoeven qua temperatuurverhogingen zijn hierboven besproken.

5.5 *Aan te houden minimale afstanden ter voorkoming van domino-effecten*

5.5.1 *Fysische effecten door overdruk en grondversnellingen*

(Domino)faalafstanden als gevolg van een explosie of plotselinge fysieke ontspanning ten gevolge overdruk (explosie-explosieve ontspanningen) bedragen veelal <2 m (tabel 5) en zijn afhankelijk van de grondslag (zand, klei etc.). Ook in de literatuur worden d.m.v. testen met springstoffen in het algemeen geen grotere afstanden gevonden voor grotere piekbelastingen bij afstanden van meer dan 5 meter⁶.

5.5.2 *Aardgasleidingen*

De maximale berekende kraterafmetingen bij gasleidingen (zie tabel 3) bedragen circa 9 m afhankelijk van de leidingdruk en de diepte van de ligging. Op basis van het voorgaande vormt aanstraling t.g.v. van het ontbranden van het vrijgekomen gas het grootste domino risico. Daarvoor moet de aangestraalde buisleiding zich binnen de ontgrondingskrater bevinden.

5.5.3 *Vloeistofleidingen*

Bij vloeistofleidingen kunnen de maximale afmetingen van de ontgrondingskuilen beduidend groter worden met name bij de hoog volume transportleidingen variërende van tussen de 20m * 50m tot 50m * 100m (bij bijv. 2000 m³/hr 60 bar uitgaande van geen afschakeling en "full bore" breuk). De maximale ontgrondingsdiepte is ongeveer gelijk aan de diepteligging van de leiding. Op basis van het voorgaande vormt met name de ontgroning, dus de krachtinwerking door doorhangen, het grootste domino risico. Ook hiervoor moet de domino ontvangende buisleiding zich dus binnen de ontgrondingskuil bevinden van de domino veroorzakende leiding. De ontgrondingskraters zijn i.h.a. echter niet al te diep. Direct optredende beschadigingen waardoor lekkages of zelfs breuk optreden als gevolg het doorhangen zijn gezien de beperkte ontgrondingsdieptes niet erg waarschijnlijk.

⁶ Blast Effects on Underground Pipes Akinola J. Olarewaju Kameswara Rao, Md. A. Mannan Civil Engineering Program, School of Engineering and Information Technology, SKTM; Universiti Malaysia Sabah, 88999, Kota Kinabalu, Malaysia.

6. AANDACHTPUNTEN VOOR VERWERKING DOMINO-EFFECTEN IN RISICOANALYSE (QRA)

Domino-effecten kunnen zowel kwalitatief, semi-kwantitatief (met behulp van de risicomatrix) als volledig kwantitatief (QRA) worden beschouwd in risicoanalyse. Voor (semi) kwantitatieve toetsing van het risico wordt de faalkans verbonden met het effect. Er is nog geen uitgewerkte voorgeschreven methodiek voor het in rekening brengen van domino in de rekenmethodiek Bevb (QRA), bijvoorbeeld voor gebruik in de SVB stroken.

Uitgangspunt voor parallelle buisleidingen die binnen elkaar beïnvloedingszone liggen zou kunnen zijn dat domino kan alleen optreden als de afstand tot een andere (parallelle) buisleiding kleiner is dan de kraterafstand van de falende leiding. Vervolgens wordt er gekeken of er escalatie kan optreden.

Voor de faaloorzaak External Interference kan onderscheid gemaakt worden tussen falen door horizontale activiteiten (bijvoorbeeld diepploegen) en falen door verticale activiteiten (bijvoorbeeld het slaan van heipalen). Voorgesteld wordt om ook de horizontale activiteiten slechts eenmalig in rekening te brengen voor de gehele bundel.

Hierbij kan overwogen worden rekening te houden met verschil in diepteligging (en dus verschil in raakkans bij horizontale activiteiten), verschil in sterkte van de leiding, verschil in ontstekingskans en kans op onvoldoende flow in de aangestraalde leiding. Uitwerking hiervan is bewerkelijk.

Een ander aspect is de ligging aan de binnen- of buitenzijde van een strook, waardoor buisleidingen aan de buitenzijde mogelijk eerder geraakt worden, dan wel binnenliggende buisleidingen meer bescherming hebben.

Dit zou de complexiteit wel verder verhogen (zeker als het verschil in diepteligging meegenomen dient te worden).

7. RISICOREDUCERENDE MAATREGELEN TER VOORKOMING VAN DOMINO-EFFECTEN

Maatregelen ter voorkoming van domino-effecten kunnen als volgt worden onderscheiden:

1. Een dominovrij ontwerp van de strook. De buisleidingstrook is dusdanig ontworpen dat domino-effecten met escalatie niet kunnen optreden,
2. Maatregelen die de vervolgcans op een domino-effect beperken, dit kunnen organisatorische of technische maatregelen zijn.

In de onderstaande paragrafen wordt nader ingegaan op de maatregelen die getroffen kunnen worden om domino-effecten te voorkomen of te verkleinen. Op basis van de gehanteerde definitie voor domino-effecten moet voor het optreden ervan aan de volgende randvoorwaarden worden voldaan:

- het falen van de tweede buisleiding moet een escalerend effect hebben
- de bijdrage van domino-effecten moet minimaal een impact hebben van 10% van de standaard faalfrequentie van de domino ontvangende buisleidingen.

Bij de invulling van de maatregelen is niet specifiek bekeken of er oplossingen zijn die domino-effecten (alleen) rekentechnisch uitsluiten.

7.1 *Dominovrij ontwerp buisleidingstrook*

De meest voor de hand liggende maatregel om domino-effecten te voorkomen is een dominovrij ontwerp van de buisleidingstrook. Dit kan door de strook in het horizontale en verticale vlak dusdanig te ontwerpen dat geen domino-effecten kunnen optreden, zie hoofdstuk 6.

Een dominovrije strook wordt bereikt door de buisleidingen in de strook op een dusdanige afstand van elkaar te leggen, dat bij het falen van één van de buisleidingen de andere buisleidingen niet beschadigd kunnen raken. De minimaal aan te houden onderlinge afstand wordt bepaald door:

1. de afmetingen van de krater.
2. de afstand tot waar overdrukeffecten (schokgolf) er voor kunnen zorgen dat er een domino-effect optreedt.

In bestaande situaties en in situaties waar onvoldoende ruimte is om de strook dominovrij aan te leggen en waar de omgeving een kwetsbaar karakter heeft, kan de kans op een domino-effect worden beperkt door het nemen van aanvullende maatregelen.

7.2 *Vervolgkansbeperkende en effectbeperkende maatregelen*

De kans op een domino-effect kan worden beperkt door enerzijds maatregelen te nemen waardoor de faalfrequentie van de initieel falende buisleiding wordt beperkt en anderzijds door maatregelen te nemen die de vervolgcans op een domino-effect beperken.

7.2.1 *Beperking faalfrequentie initieel falende leiding*

De faalfrequentie van een buisleiding kan worden beperkt door het nemen van maatregelen in het ontwerp of door het nemen van aanvullende maatregelen. Deels zijn deze maatregelen gekwantificeerd.

- **Ontwerp buisleiding**
De faalfrequentie van een buisleiding afhankelijk van een aantal ontwerpparameters (druk, wanddikte, staalsoort en diepteligging). De invloed van deze parameters op de faalfrequentie is op dit moment alleen vastgesteld voor de hoge druk aardgasleidingen. Voor de buisleidingen met aardolieproducten en de overige buisleidingen is deze invloed nog niet gekwantificeerd.

- Aanvullende maatregelen die de faaloorzaak 'beschadiging door derden' beperken. De invloed hiervan is gekwantificeerd in de Handleiding risicoberekeningen Bevb. Specifiek betreft het de maatregelen:
 - vergroten van de dekking, de invloed van de diepteligging is bepaald voor buisleidingen met een gronddekking van maximaal 2 meter. De invloed van gestuurde boringen etc. is nog niet vastgesteld.
 - afdekken met beschermend materiaal en fysieke barrières.
 - Vergroten van de wandikte.
 - Beschermende werking tegen graafwerkzaamheden door verhoogde ligging van naastliggende buisleiding(en) met klein effect.
- Toepasbaarheid voor hele strookdelen
Dekking verhogen, hekwerk, barrières. Kunnen getroffen worden in overleg met alle leidingbeheerders in strook. Mogelijkheid van hek/barrières in smalle delen zou zeker overwogen moeten worden.
- Nieuwe maatregelen
 - Damwanden aan de rand van de strook (voorkomen schade uit horizontale grondbewerkingen en dwingt kruisende infra om voldoende diep te kruisen):
 - Beheersmaatregelen, aandachtspunt hierbij is dat invloed van meerdere exploitanten binnen een leidingstrook nog moet worden vastgesteld. De Beheerovereenkomsten als beschreven in de Handleiding Bevb zijn niet direct toepasbaar, omdat hiermee toekomstig leidingaanleg wordt uitgesloten (als mede onderhoud en kruising van de stroken met bijv. kabels). Het lijkt gewenst deze met een drietal maatregelen uit te breiden nl. alleen grondroeren voor aanleg nieuwe buisleidingen, natuurlijk normaal beheer en onderhoud van en aan de buisleidingen.
 - Cameratoezicht.
 - Strikte begeleiding van de werkzaamheden.
 - Markering levert (formeel) geen reductiefactor, maar een duidelijk gemarkeerde strook zal wel bijdragen. Mogelijk is een reductiefactor gewenst.
- Aanvullende maatregelen voor de overige faaloorzaken (corrosie, operationeel falen, mechanisch falen) die gekwantificeerd zijn.
- Leidingen met grootste effect (aardgas) diep(er) leggen. Hierdoor neemt escalatie af, maar kan domino juist toenemen (door een grotere krater).
- Specifiek voor leidingstroken kunnen aanvullende maatregelen die de faalfrequentie beïnvloeden zijn:
 - een verhoogd inspectieregime,
 - strikte begeleiding met werkvergunning en verhoogd toezicht,
 - gezamenlijk beheer en/of het aanstellen van één strookbeheerder,De invloed van deze maatregelen op de faalfrequentie en de bijbehorende randvoorwaarden zijn niet vastgesteld.
- Vloeistofleidingen die produceren laten produceren. Vloeistofleidingen die niet produceren op verlaagde druk wegzetten.
- Voor hogedruk / hoog-volume vloeistof buisleidingen het nemen van maatregelen die de uitstroom beperken.
- Leidingbeheer

Leidingbeheer af te stemmen op faalmechanismen (bv CO₂, H₂S) en maatregelen (KB) en onderlinge afstanden om domino te mitigeren/compenseren. Nieuwe buisleidingen versus bestaand kan anders uitpakken (diepteligging, wanddikten).

7.2.2 *Beperking vervolgcans op een domino-effect*

Gegeven dat één van de buisleidingen in de strook faalt, kan de vervolgcans op een domino-effect worden beperkt door de gevolgen van de schokgolf en/of warmtestraling te beperken. Dit kan (mogelijk) door:

Ontwerp buisleiding/leidingstrook

- De vervolgcans op een domino-effect is mogelijk afhankelijk van een aantal ontwerpparameters (druk, wanddikte, staalsoort en diepteligging). De invloed van deze parameters op de vervolgcans is echter nog niet voor alle leidingen vastgesteld.

Bij het ontwerp van een buisleiding kan ook al rekening worden gehouden met het aanbrengen van een hittewerende coating. De specificaties en effectiviteit ervan, in samenhang met andere maatregelen, moeten nog worden vastgesteld.

Bij het ontwerp van de strook kan rekening worden gehouden met de grondsoort waarin de buisleidingen worden gelegd. Dit heeft een invloed op de grootte van de krater en de doorwerking van de schokgolf.

- Aanvullende maatregelen set van maatregelen tegen beschadiging door derden. Van de bovengenoemde maatregelen heeft mogelijk alleen cameratoezicht een effect op de vervolgcans. Dit hangt echter sterk af van de vervolgmaatregelen die kunnen worden getroffen. De overige gespecificeerde maatregelen beïnvloeden de vervolgcans niet.

7.2.3 *Beperking domino-effect zelf*

- Blus- en koelvoorzieningen
Blusvoorzieningen kunnen ervoor zorgen dat als initieel een vloeistofleiding faalt de warmtestralingseffecten beperkt blijven. Blusvoorzieningen bij gasleidingen hebben geen effect. Mogelijk dat deze voorziening wel enigszins behulp kan zijn bij het neerslaan van een toxische wolk. De effectiviteit ervan zou dan wel onderbouwd moeten worden.
Blusvoorzieningen bij (brandbare) vloeistofleidingen kunnen middels het vullen van de gevormde krater met water voorkomen dat naastgelegen buisleidingen worden aangestraald. Indien tevens schuim op de plasbrand wordt opgebracht is er grote kans op blussing.

Een maatregel is om tijdens ervoor te zorgen dat de warmte wordt afgevoerd door het stromende medium. Maatregel is dan doorproduceren met de overige buisleidingen. De stroomsnelheid in de dominoleiding zal bij het aanstralen een mitigerend effect hebben. Dit temperatuur vereffeningeffect treedt ook op bij sterke afkoeling waardoor het risico op een brosse breuk van de domino-leiding wordt verkleind/voorkomen.

Niet onderzocht is of dit een goede maatregel voor is (toxische) buisleidingen met een relatief kleine diameters.

Of aanvullende koelvoorzieningen mogelijk en praktisch zijn, is hier niet bekeken.

- Inblokken van de initieel gefaalde leiding/stoppen van de pomp
Hierdoor wordt uitstroomduur van de initieel gefaalde buisleiding beperkt waardoor ook de duur waarmee de dominoleiding wordt aangestraald wordt beperkt. Voor vloeistofleidingen is het stoppen van de pomp voldoende. Echter indien de verkeerde

buisleiding wordt ingeblokt, leidt dit tot een hogere kans op een domino-effect. Dit omdat de warmte nu niet meer door het niet meer stromende medium kan worden afgevoerd.

- Afstemming meetkamers bij calamiteiten
De invloed hiervan en de bijbehorende randvoorwaarden moeten nader worden ingevuld (bijv. welke afstemming en vervolgacties worden afgesproken).
- Fysieke afscherming
Fysieke afscherming kan de gevolgen van de schokgolf en de kraterafmetingen beperken. De randvoorwaarden hiervoor moeten nog worden ingevuld, ook de mogelijke nadelige gevolgen moeten worden gezien (bereikbaarheid van de buisleidingen, effect op kathodische bescherming etc.).

Daarnaast is het gewenst dat er afstemming is tussen de brandweerregio's onderling en met de sector over de aanvalsplannen bij een incident.

- Leidingbeheer
Leidingbeheer af te stemmen op faalmechanismen (bv CO₂, H₂S) en maatregelen (KB) en onderlinge afstanden om domino te mitigeren/compenseren. Nieuwe buisleidingen versus bestaand kan anders uitpakken (diepteligging, wanddikten).

8. LEEMTEN IN KENNIS

De kratermodellen bij (vooral) tot vloeistof verdichte gassen zijn niet bekend.

Vooralsnog vormt een leemte: stoffen die op elkaar reageren (te denken aan b.v. zuurstofleiding en waterstofleiding vormt knalgas. Superkritisch CO₂-leiding zou staalbroosheid en daarmee falen kunnen veroorzaken van de andere buisleiding).

Bovengrondse buisleidingen in rekken, of buisleidingen in tunnels.

Schokgolven met het effect van grondversnellingen. Wellicht kan hier kennis worden overgenomen van de lopende onderzoeken over de effecten van aardbevingen op buisleidingen.

De effectiviteit en kwantificering van maatregelen bij vaststelling van mogelijke domino-effecten.

De eventuele beschermende werking van naastliggende (hoger gelegen) buisleidingen en meerlaags gelegde leidingen (bijvoorbeeld aardgas onderliggend, vloeistof bovenliggend).

9. TOEPASSING VAN DIT DOCUMENT

Toepassing van dit document kan nuttig zijn voor:

- formulering van beleid voor het omgaan met domino-effecten in smalle(re) leidingstroken,
- beoordeling van nieuwe buisleidingen naast bestaande buisleidingen (inclusief beschermende werkingsfactor buitenste gelegen buisleiding op de rest),
- interactie diverse buisleidingen met verschillende gevaarlijke stoffen,
- stapelen van buisleidingen,
- voorkomen toekomstige knelpunten door toepassing van bijv. dikkere wanddikten,
- Bepaling van andere maatregelen die risicoreducerende factoren opleveren.

Kennis kan voor domino mogelijk leiden tot:

- Vaststelling of een kwalitatieve benadering voor de risicoschatting volstaat,
- Aanpak GR-verantwoording nabij leidingstroken.

Behulpzaam zijn voor domino:

- hoe om te gaan met toekomstige buisleidingen in leidingstroken,
- Hoe om te gaan met risicovolle objecten nabij de leidingstroken,
- Hoe om te gaan met bestaande buisleidingen en nieuwe buisleidingen in leidingstroken.

De bepaling van:

- Wat is een slimme indeling bij bundeling
 - van geheel lege leidingstroken,
 - van leidingstroken waar al buisleidingen aanwezig zijn.
- Toepasbaarheid van risico-reducerende maatregelen van enkele buisleidingen ook in leidingstroken.

10. REFERENTIES EN LITERATUUR

1. Memo domino-effecten (in een leidingstrook), VROM, 16-11-2010.
2. Kort onderzoek domino-effecten in leidingstroken 5 nov.pdf, Gasunie, 1-11-2010.
3. Vragen en antwoorden Domino onderzoek leidingstroken.doc, Gasunie, 12-11-2010.
4. Verslag te RIVM, 2010.
5. EV aspecten in relatie tot SVB stroken, Domino-effecten in smalle stroken. Gasunie, maart 2012.
6. Verslag Domino-effecten buisleidingen, 16 maart 2012.
7. Domino van gasleiding naar gasleiding, Gasunie, augustus 2012.
8. Perry's Chemical Engineers' handbook 8^{ste} editie, 2008.
9. NTA 8036 Eisen voor de gezamenlijke ligging van buisleidingsystemen in een leidingstrook (werkdokument).
10. Verslag te VROM conclusies conceptbeheer voor buisleidingen (instelling werkgroep), 9/2/2011.
11. Ontgroning bij persleiding, breuk- of lek evaluatie rekenmethode NEN 3651, Deltares.
12. Rapport Olielekkage Vlake, Een graafincident, ILT.
13. Deltares rapport naar ontgroning, olielekkage Vlake.
14. WalnutCreek Kinder Morgan rupture FinalReport.pdf.
15. Safe Design of pipeline corridors, Onderzoek model Maasvlakte. TNO, 1973.
16. Veiligheid van buisleidingstraten, TNO artikel, 1975.
17. Leiding minimum hart-op-hart-afstanden formule. LSNed.
18. Ontgroning door aardgasleidingen, Waterloopkundig Lab, 1991.
19. Stuctuurvisie buisleidingen, passages over domino.
20. Bevb (artikel 11.3 en toelichting m.b.t. risicoverhogende objecten).
21. Instrument Domino-effecten BRZO (RIVM).

BIJLAGE 1: EFFECT VAN KRUISENDE BUISLEIDINGEN

In deze bijlage wordt het (domino)effect van kruisende buisleidingen gegeven. Als uitgangspunt is hierbij aangenomen dat een kruisende buisleiding een buisleiding binnen de strook over maximaal een afstand van 10 meter kan beïnvloeden.

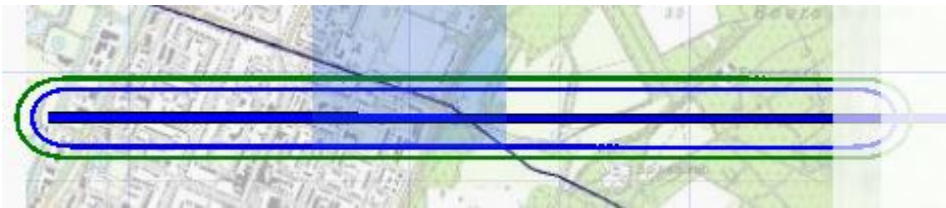
Leidingen met brandbare stoffen

Hiervoor zijn als uitgangspunt twee buisleidingen genomen:

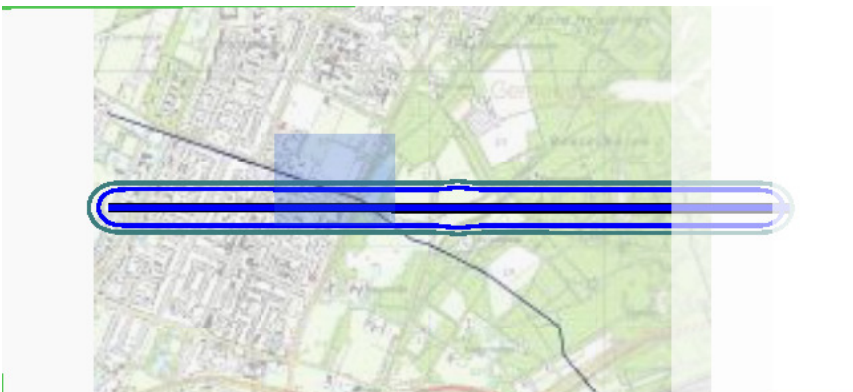
- 1) Een 12 inch aardgasleiding op 66,2 bar. Deze buisleiding is initieel aangelegd met een PR niveau op de buisleiding van ongeveer 5×10^{-7} per jaar.
- 2) Een 48 inch aardgasleiding buisleiding op 80 bar. Deze buisleiding is initieel aangelegd met een PR niveau op de buisleiding van ongeveer 8×10^{-7} per jaar.

Onderzocht is of het PR van de twee voorbeeld buisleidingen sterk wordt beïnvloed als op een afstand van 10 meter de breukfrequentie met een factor 10 wordt verhoogd als gevolg van domino-effecten van een kruisende leiding. De maximale verhoging voor de 48 inch buisleiding is ongeveer een factor 160 maar aangenomen is dat in ongeveer 95% van de gevallen door voldoende flow in de aardgasleiding een domino-effect wordt voorkomen. De maximale verhoging voor de 48 inch buisleiding is ongeveer een factor 15.

Resultaten voor de 12 inch leiding

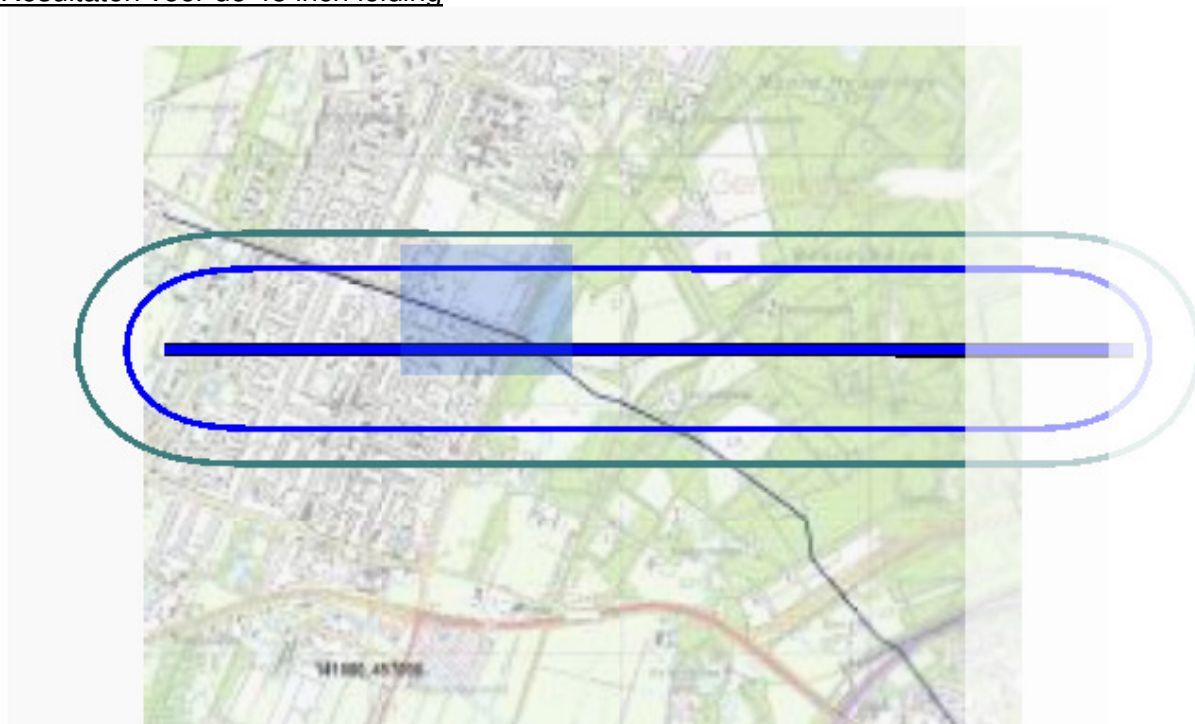


Plaatsgebonden risicocontour buisleiding zonder domino-effecten (blauw: PR 10^{-7} per jaar; groen PR 10^{-8} per jaar).

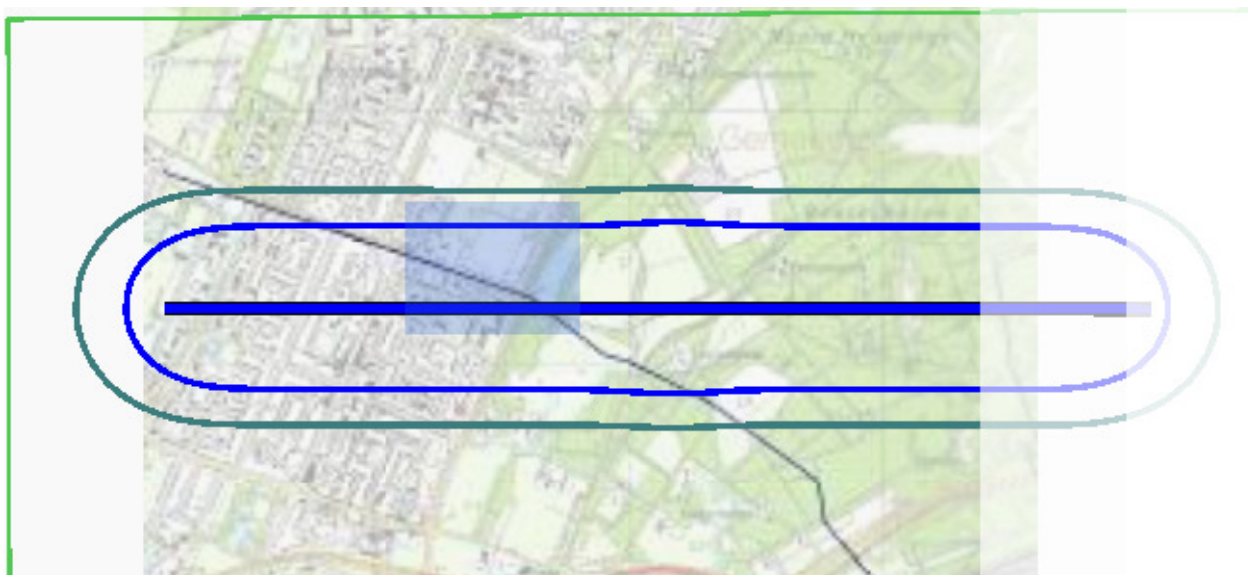


Plaatsgebonden risicocontour indien over 10 meter de faalfrequentie met een factor 10 wordt verhoogd (blauw: PR 10^{-7} per jaar; groen PR 10^{-8} per jaar).

Resultaten voor de 48 inch leiding



Plaatsgebonden risicocontour buisleiding zonder domino-effecten (blauw: PR 10^{-7} per jaar; groen PR 10^{-8} per jaar).

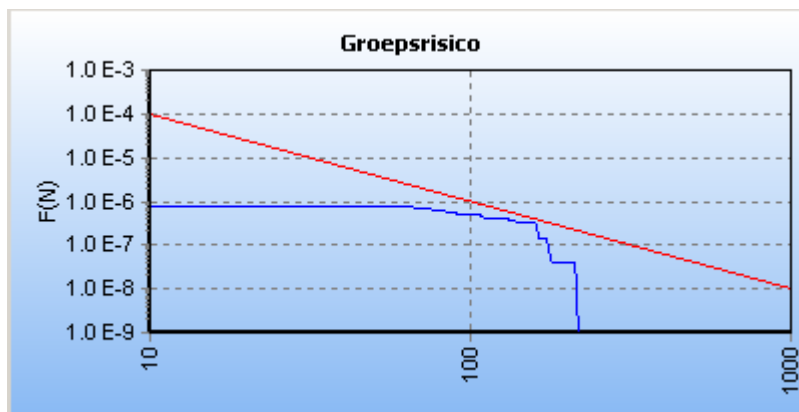


Plaatsgebonden risicocontour indien over 10 meter de faalfrequentie met een factor 10 wordt verhoogd (blauw: PR 10^{-7} per jaar; groen PR 10^{-8} per jaar).

Het effect op het groepsrisico wordt in onderstaande figuren gegeven.



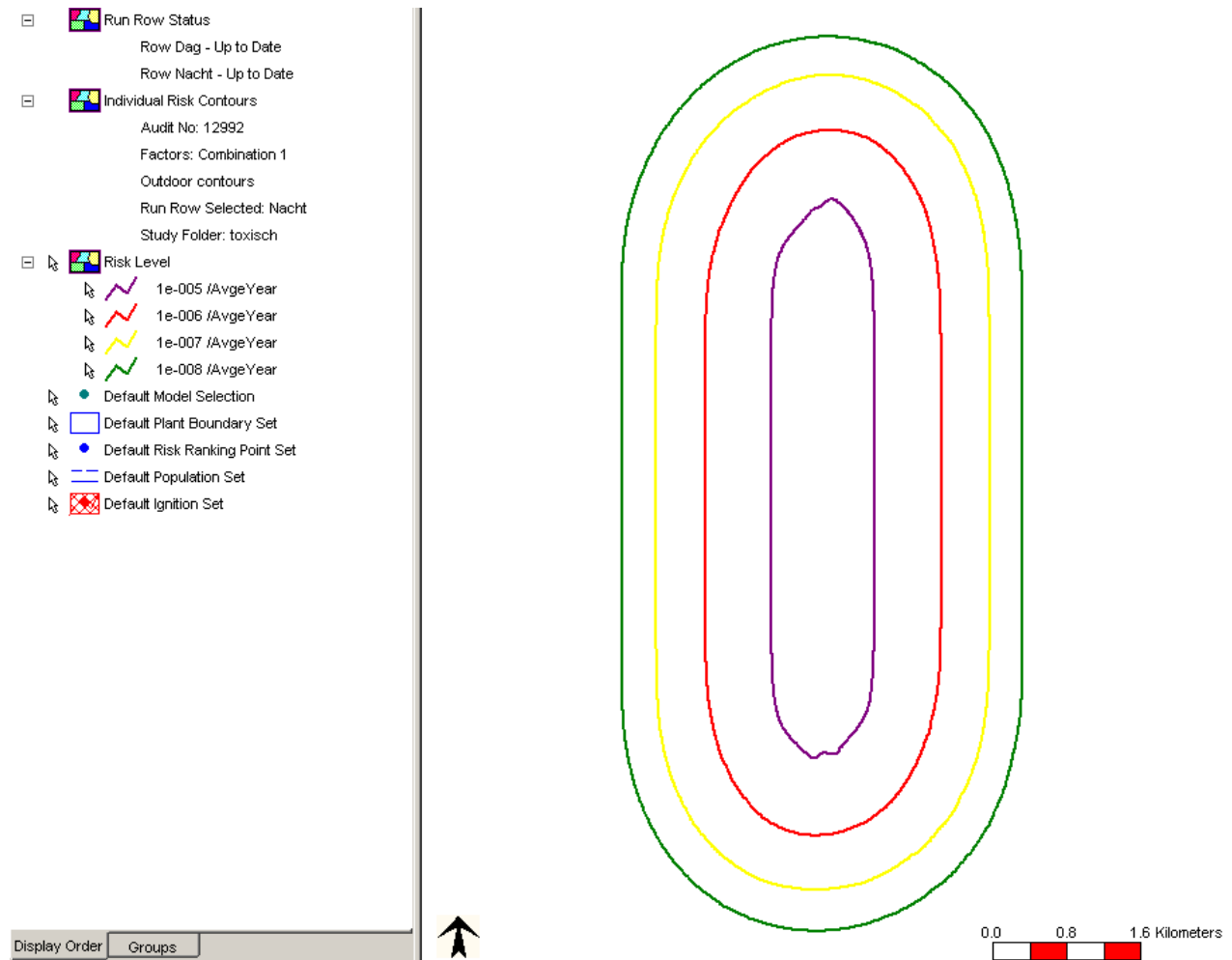
Leiding zonder domino-effecten (overschrijdingsfactor = 0,8)



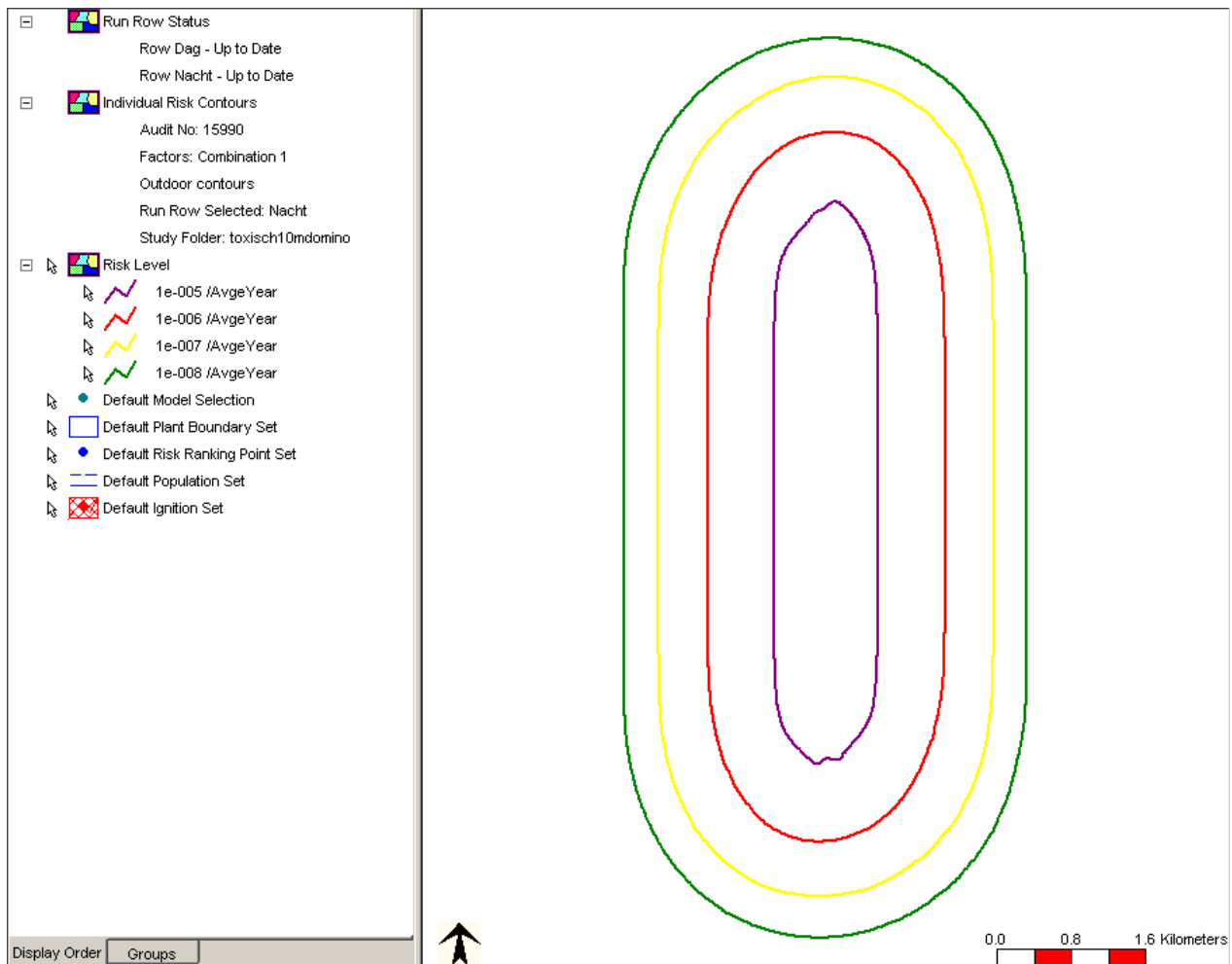
Leiding met domino-effecten over 50 meter (overschrijdingsfactor = 0,86)

Leidingen met toxische stoffen

Ook voor de buisleidingen met toxische stoffen is uitgegaan van de buisleiding met de grootste effectafstanden (4 inch chloor leiding). Voor deze buisleiding wordt de breukfrequentie met maximaal een factor 2 verhoogd als gevolg van domino-effecten bij een breuk van een kruisende leiding.

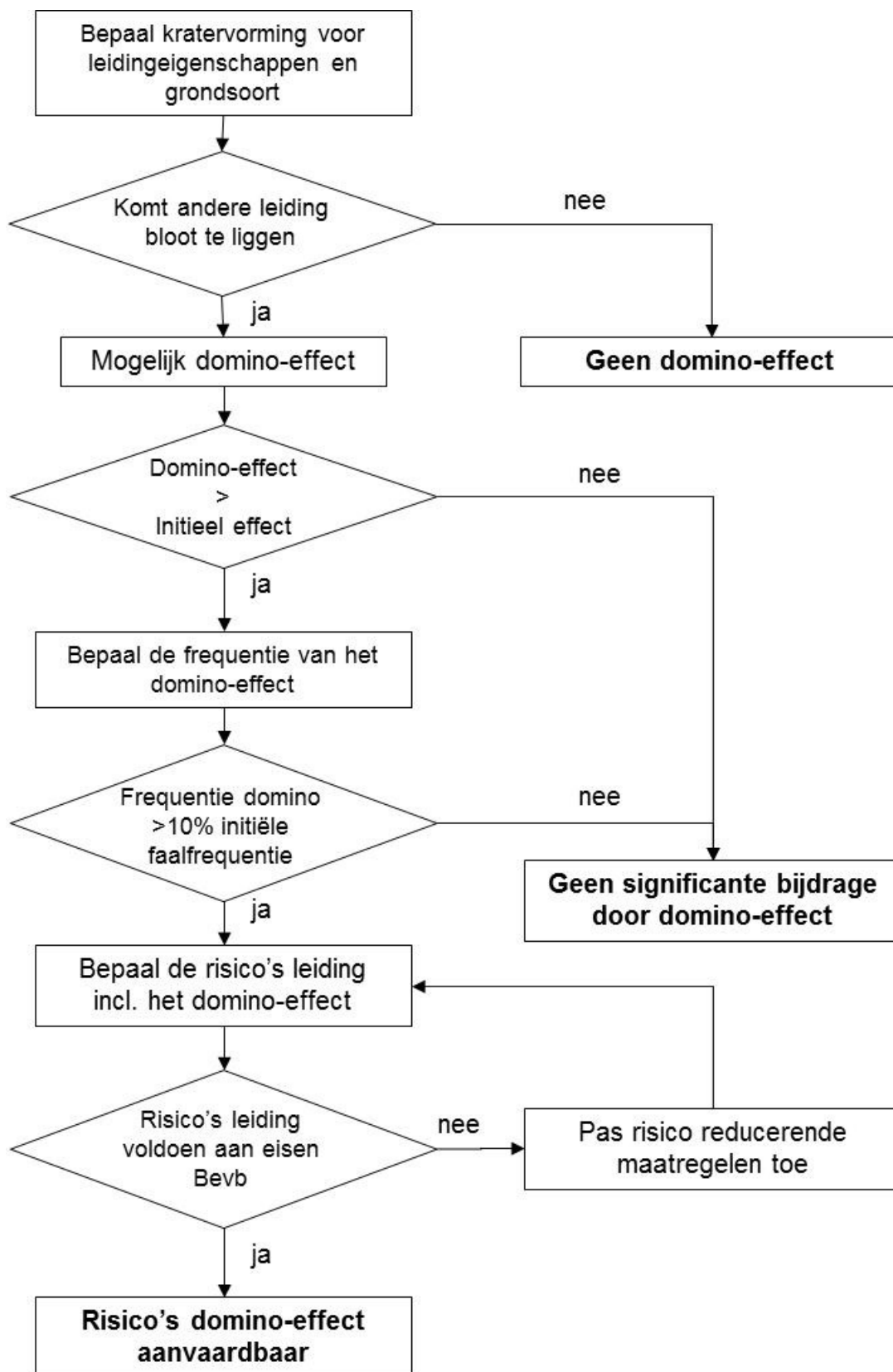


Plaatsgebonden risicocontour buisleiding zonder domino-effecten (afstand tot PR 10^{-6} per jaar is 1270 meter)



Plaatsgebonden risicocontour indien over 10 meter de faalfrequentie met een factor 2 wordt verhoogd (afstand tot PR 10^{-6} per jaar is 1270 meter).

BIJLAGE 2: SELECTIEMETHODIEK DOMINO-EFFECTEN VOOR BUISLEIDINGEN



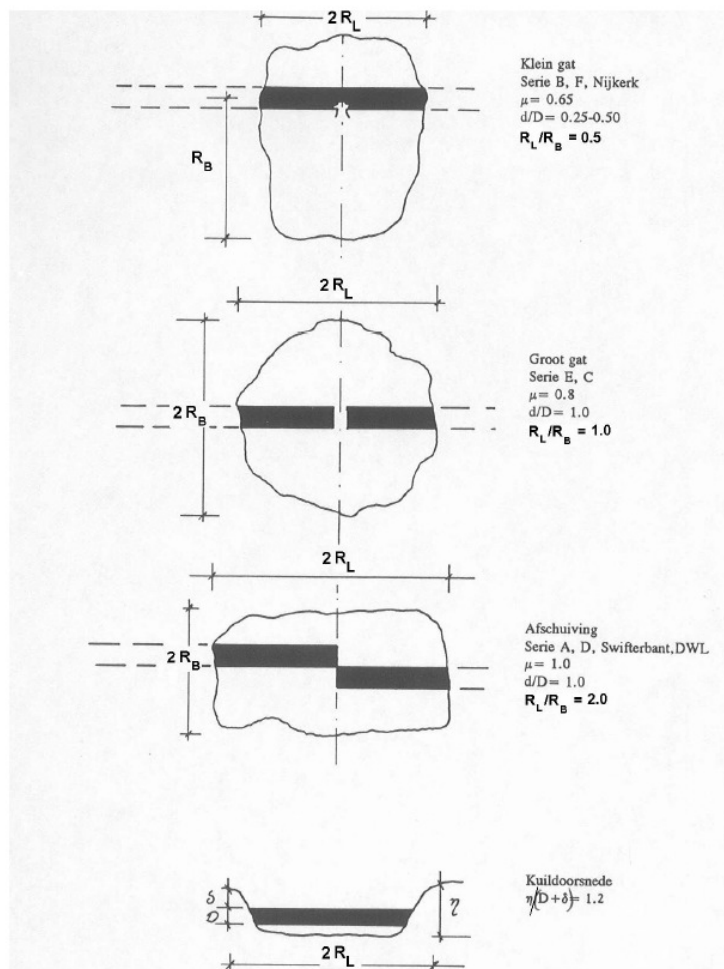
BIJLAGE 3: KRATERBEREKENINGEN AARDOLIEPRODUCTLEIDINGEN

					NAM pipelines under investigation										Other pipelines in NL				Methodology:		using the same equations as the $\mu = 0,5$ calculations					
					1	2	3	4	5	Groningen Ring					PRB	PALL	RRP 1	RRP 2	Assumptions:	$d_g=D_i$	i.e. full bore rupture					
					Type of pump	reciprocal	reciprocal	centrifugal	centrifugal	centrifugal	reciprocal										$Q=Q_0$	i.e. flow is at maximum capacity				
					PDMS website	Click here	Click here	Click here	Click here	Click here	Groningen ring schematic										$z_0 = 0$					
					symbols	units	VALUES					VALUES					VALUES									
Constant values					g	m/s ²	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8			
Variables					μ	---	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5				
					Q_i	m ³ /h	35,4	16,7	7	25	20	150	150	150	150	150	198	741,6	2088	2988						
					Q_k	m ³ /s	0,010	0,005	0,002	0,007	0,006	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042	0,055	0,206	0,580	0,830						
					z_0	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
					D_i	inch	8	8	3	3	10	3	4	6	10	12	8	18	24	36						
					D_j	m	0,203	0,203	0,076	0,076	0,254	0,076	0,102	0,152	0,254	0,305	0,203	0,457	0,610	0,914						
					h	m	500	755	420	250	170	495	495	495	495	495	670	690	620	430						
Calculations																										
Values dependent on variables					A_g	m ²	0,032	0,032	0,005	0,005	0,051	0,005	0,008	0,018	0,051	0,073	0,032	0,164	0,292	0,657						
					v_i	m/s	0,303	0,143	0,426	1,523	0,110	9,137	5,139	2,284	0,822	0,571	1,696	1,255	1,987	1,264						
					H	m	500	755	420	250	170	499	496	495	495	495	670	690	620	430						
					R_B	m	8,11	7,46	4,53	5,44	5,62	9,94	10,36	11,00	11,88	12,21	13,23	20,73	27,12	28,77						
					R_L	m	13,79	12,69	7,70	9,24	9,55	16,89	17,61	18,71	20,19	20,75	22,49	35,25	46,11	48,91						
Discussions:																										
					- Worst case scenario proven (based on the assumptions made)																					
					- Pipeline resistance not taken into account																					
					- Pump curve not taken into account, esp the centrifugal pump curves																					
					- Maximum operating pressure and capacity of the pump were used for the calculations																					
					- Page 35-36 of NEN 3651 suggested a refined calculation methods: taking into account hole diameter d_g , pipeline resistance and the pump curve																					

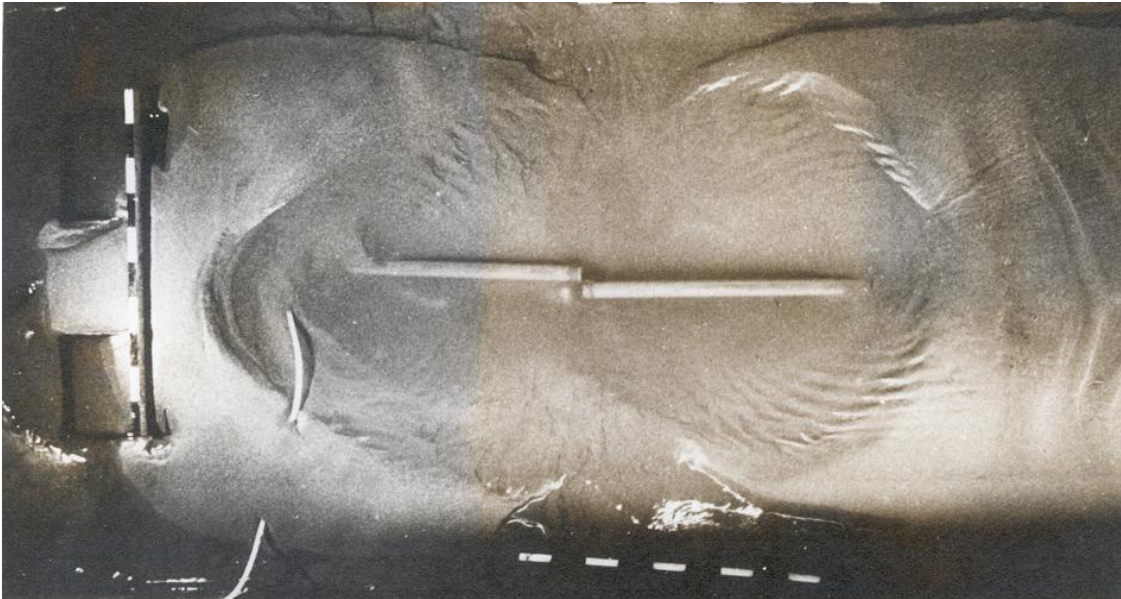
BIJLAGE 4: ONTGRONDING BIJ VLOEISTOFFEN

Uit model proeven en berekeningen blijkt dat ingeval van een leidingbreuk of een gat in de leiding, zich vrijwel direct na het ontstaan hiervan een stationaire stromingssituatie instelt (lit 1). Dit vergt meestal slecht enkele minuten. Omdat de vorming van de ontgrondingskuil vervolgens ook vrij snel verloopt kan voor de berekening van de te verwachten afmetingen van de ontgrondingskuil worden uitgegaan van een stationaire stromingssituatie die zich vrijwel direct na het ontstaan van de breuk of het lek instelt en die zich gedurende enige tijd kan handhaven. De tijd dat de stationaire situatie voortduurt wordt bepaald door het stoppen van de verpomping (stoppen van de pomp c.q. dichtsturen van een afsluiter).

Onder de kuilafmetingen verstaan we kuillengte (R_L), kuilbreedte (R_B) en kuildiepte (η). Zie ter illustratie onderstaande figuren.



Figuur 3.3 Ontgrondingskuilvormen bij verschillende mogelijke typen leidingbreuk



De kuildiepte is afhankelijk van de buisdiameter en de gronddekking.
Een veel gebruikte relatie voor de kuildiepte is:

$$\eta = 1,2 (D_e + \delta) \text{ [m]}$$

waarin de uitwendige leidingdiameter [m] en δ de gronddekking [m].

De formules gelden voor buisleidingen op een diepte van maximaal circa 3 tot 5* leidingdiameter (uitwendig), dus voor oppervlakkige ontgrondingen met vrije uitstroming van vloeistof.

Bij grotere diepte kan de grond ten gevolge van de vloeistofdruk inwendig bezwijken door plastische vervorming of scheurvorming (met als gevolg blow-out of uitbraak) (lit 2). Een ontgrondingskrater kan echter alleen ontstaan bij vrije uitstroming van de vloeistof uit de kuil.

Voor niet al te diepliggende buisleidingen is de kuildiepte niet afhankelijk van de impuls of het hydraulisch vermogen.

Het kuilvolume is volgens de ontgrondingstheorieën wel afhankelijk van de impuls van de uitstromende vloeistof c.q. het hydraulische vermogen.

Dit betekent dat voor niet al te diepliggende buisleidingen de kuilafmetingen (breedte, lengte) vooral door de impuls c.q. het hydraulische vermogen worden bepaald. Het gaat hierbij om de impuls van de uitstromende vloeistof c.q. het hydraulische vermogen van de uitstromende vloeistof. Er kan niet worden uitgegaan van de impuls c.q. het vermogen tijdens de normale verpompings. Afhankelijk van de grootte van het gat en de respons van het leidingsysteem met pompstation, zal zich bij het lek een bepaalde druk en debiet instellen. Onder verwaarlozing van drukverliezen van pompstation naar de locatie van het lek en het debiet naar andere vertakkingen van het netwerk, kan aangenomen worden dat de optredende druk en debiet liggen bij het rendementspunt van het pompstation d.w.z. bij maximaal vermogen. Meestal zal de druk echter ingeval van een lek lager en het debiet hoger zijn dan in de gemiddelde bedrijfssituatie. Anderzijds is het niet aannemelijk dat het betreffende rendementspunt optreedt bij een maximale gatgrootte zoals bij een volledige afschuiving of breuk. De druk maar ook het vermogen zullen dan meestal verder afnemen. Ook zal er sprake zijn van een aanzienlijk drukverlies van het pompstation naar het lek en zal het volledige geleverde debiet door het gat uitstromen. Ook kan een pompstation op een bepaalde voorgeprogrammeerde manier reageren op de plotselinge debiettoename bijv. door het extra bijzetten van pompen om de druk te handhaven.

Voor de ontgrondingen zijn echter de instellingen van belang in de eerste minuten nadat het lek of de breuk is ontstaan.

Om de maatgevende hydraulische gegevens op een bepaalde kritieke locatie te bepalen gaat men als volgt te werk:

- Men berekent aan de hand van de leiding- en pompgegevens de werkelijk optredende druk en het debiet ter plaatse van de betreffende kritieke locatie door de grootte van een gat d_g stapsgewijs te vergroten van 0 (géén lek) tot de maximaal de inwendige diameter D_i (volledige afschuiving of breuk). Bij een leidingbreuk is de druk niet gegeven, maar deze neemt in het algemeen af bij toename van het geleverde debiet door de lekkage. Dus om te beginnen, neem de waarde voor de energiehoogte H bij normaal bedrijf ter plaatse van het gat bij een minimale gatgrootte d_g en bereken het debiet Q . Bereken opnieuw de energiehoogte, vergroot stapsgewijs de gatgrootte en bereken steeds opnieuw de energiehoogte H en het debiet Q . Dit levert een “pompkromme” ter plaatse van het gat, dus met een druk als functie van het debiet.
- Het maximale product van Q en H en de bijbehorende kuilafmetingen kunnen nu worden berekend met de zgn. WL 1991 formules conform de NPR 3659 (lit 1). Zodoende wordt de maatgevende gatgrootte gevonden ongeacht de kans op een bepaalde gatgrootte bij leidingbreuk op de betreffende kritieke locatie.
- Verder is nog de positionering van het gat van belang vanwege de lengte/breedte afmetingen (verhouding) van de kuil. Een klein gat aan de zijkant van de buis kan dan maatgevend zijn voor de grootste kuilbreedte. Het Meest ongunstig voor de *gat/lengte* (in langsrichting van de pijpleiding) is een volledige afschuiving, maar in deze situatie is de *kuilbreedte* waarschijnlijk geringer dan bij een klein gat aan de zijkant, omdat het hydraulisch vermogen dan waarschijnlijk lager is ten gevolge van een lagere druk.

Afmetingen van ontgrondingskuilen

De lengte en breedte van de ontgrondingskuilen (zie. Lit 1 fig. 2.4) zullen zelden 10 m overschrijden. Dit geldt voor pompvermogens tot circa 300 KW. Het totale ontgrondingsvolume komt i.h.a. niet boven de 1000 m³ uit.

Invloed van de grondsoort

De berekeningen aan de hand van bijv. de WL 1991 formules zijn afgeleid voor fijn, waterverzadigd zand. In sterk cohesieve grond (bijv. klei) zullen de werkelijke de kuilafmetingen naar verwachting ongeveer gelijk of kleiner zijn dan de berekende afmetingen, in grof zand of steenslag waarschijnlijk kleiner. In droog fijn zand of in slappe veengrond kunnen de werkelijke kuilafmetingen echter juist groter zijn. Het wordt aanbevolen de buisleiding dan met een extra zandlaag af te dekken mochten er zich kritieke locaties voordoen.

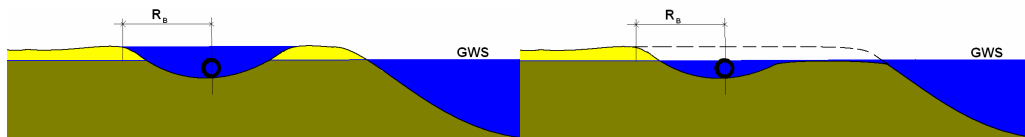
Invloed van de aanwezigheid van een talud

In geval de vrijkomende vloeistof langs een talud naar een lagere gelegen niveau kan afstromen, zodat de zwaartekracht de stroming op gang houdt, dan kan daarmee veel meer grond worden afgevoerd. Dit houdt aan zolang als deze stroming optreedt dan wel de bodem door het erosieproces geheel is uitgevlakt. Dit wordt geïllustreerd door onderstaande figuren (lit 1).

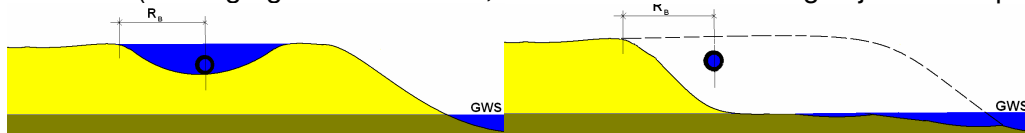
Zonder talud (stand van het grondwater niveau is niet of nauwelijks van invloed):



Met talud (met hoge grondwaterstand, situatie direct ná en enige tijd na het optreden van het lek)



Met talud (met lage grondwaterstand, situatie direct ná en enige tijd na het optreden van het lek)



Lit.1 Rapport Deltares Ontgroning bij persleiding breuk- of lek evaluatie rekenmethode NEN 3651, 2009.

Lit. 2 NEN 3651 E2 (horizontaal gestuurde boringen).

BIJLAGE 5: TERMS OF REFERENCE WERKGROEP DOMINO BUISLEIDINGEN

Werkgroep Domino-effecten

Het doel van deze werkgroep is:

- 1) Het in kaart brengen van factoren die een rol spelen bij de wederzijdse beïnvloeding van buisleidingen voor het transport van gevaarlijke stoffen in leidingstroken ingeval een van de aanwezige leidingen faalt.
- 2) Het bepalen de kwantitatieve effecten van de afzonderlijke factoren.
- 3) Het doen van redelijke aanbevelingen om deze effecten te vermijden c.q. zodanig te reduceren dat nabij gelegen leidingen niet falen. De aanbevelingen kunnen zowel constructief alsook organisatorisch van aard zijn.

De werkgroep bestaat uit vertegenwoordigers van I&M en Velin en hun experts op het gebied van externe veiligheid c.q. veilig ontwerpen van ondergrondse buisleidingen.