

<i>Titel en subtitel:</i> Risicoanalyse en risicobeoordeling van bundeling van kabels en leidingen			<i>Schrijver(s):</i> Dr. Ir. P.H. Waarts Mevr. Ir. R.M.L. Nelisse Ir. W.D. van der Wiel Ir. A.J.M. van Wingerden Ing. R. Beuken Ir. E.L. Huijzer Ir. A. Lombaers Dr. Ir. H.J. van Breen Ir. G.A. Bloemhof		
<i>Datum rapport:</i> 31 augustus 2006			<i>Type rapport:</i> eindrapport		
<i>Rapportnummer opdrachtnemer:</i>			<i>COB-publicatienummer:</i> O13-06-01		
<i>Projectleider(s) opdrachtnemer:</i>			<i>Projectbegeleider(s) opdrachtgever:</i> drs. A.W.M. Kamphuis		
<i>Projectbegeleider opdrachtnemer:</i>					
<i>Naam en adres opdrachtnemer:</i>			<i>Naam en adres opdrachtgever:</i> COB Postbus 420 2800 AK Gouda		
<i>Opmerkingen:</i>					
<i>Samenvatting rapport:</i> Dit rapport geeft de weerslag van de werkzaamheden uitgevoerd in het COB project O13 "Risicoanalyse en risicobeoordeling van bundeling van kabels en leidingen". Deze studie beperkt zich in grote mate tot het kwalitatieve en kwantitatieve deel van het risicomanagement. Geconcludeerd kan worden dat het project O13 er toe heeft geleid dat voor het eerst in de geschiedenis de kennis op het gebied van risico's voor bundeling van kabels en leidingen is samengebracht in één model.					
<i>Relationele rapporten:</i>					
<i>Trefwoorden:</i>			<i>Verspreiding:</i>		
<i>Classificatie:</i>		<i>Classificatie deze pagina:</i>	<i>Aantal blz.:</i> 106	<i>Prijs:</i> € 29,95	
<i>Versie:</i> 1	<i>Datum:</i>	<i>Namens opdrachtnemer:</i>	<i>Paraaf:</i>	<i>Namens opdrachtgever:</i>	<i>Paraaf:</i>

VOORWOORD

In zowel industriële als stedelijke omgevingen wordt de druk op de ondergrond de laatste jaren steeds groter. Hierdoor wordt het concept van gestructureerd bundelen van kabels en leidingen, bijvoorbeeld door middel van een integrale leidingtunnel, steeds interessanter. Dit blijkt uit zowel de ontwikkeling van het Botlek – Europoort gebied als van de centra van de vier grote steden en bij gemeenten als Arnhem of Maastricht.

Het ontbreken van een beoordelingsmethodiek voor risico's van bundeling van kabels en leidingen, belemmerde betrokken partijen om gezamenlijk effectief en efficiënt tot een goede afweging van risico's te komen en noodzakelijke preventieve maatregelen vast te stellen. Discussies lopen vast op standpunten gebaseerd op gevoelens. Het ontbreekt betrokkenen vaak aan kennis en begrip van elkaars belangen en beperkingen.

Met deze eindrapportage wordt een belangrijke stap gezet om dit te verbeteren. Voor het eerst in Nederland zijn op een gestructureerde wijze de risico's van bundeling van kabels en leidingen kwantitatief geanalyseerd, zowel voor de kans- als de gevolg-zijde en met inbegrip van eventuele vervolgrisico's. Dit is een stap die bij zal dragen aan de objectivering van de risico's en aan de acceptatie van nieuwe concepten voor ruimtegebruik. Een stap waar wij trots op zijn.

Het onderzoek naar de risico's van bundeling van kabels en leidingen heeft zich over een periode van 1,5 jaar uitgestrekt. Gedurende die periode hebben gemeenten, netbeheerders, leveranciers van nutsvoorzieningen, grondeigenaren, aannemers, kennisinstituten en adviseurs met elkaar overlegd en gediscussieerd. Daarbij zijn veel ervaringen en inzichten uitgewisseld. Er is veel tijd en moeite geïnvesteerd om elkaars problemen en oplossingen te begrijpen, en zich in te leven in de denkwereld van de andere partijen. Daarbij is begrip ontstaan voor elkaars standpunten en belangen. Deze rapportage is dan ook niet het enige wat de COB-uitvoeringscommissie "Risicoanalyse en Risicobeoordeling van bundeling van kabels en leidingen (O13)" nalaat. Vooral het vertrouwen dat is gegroeid tussen de samenwerkende partijen is een belangrijke verdienste van dit project; het vertrouwen dat samenwerking loont.

Naast deze schriftelijke rapportage is er een risico-analyse gereedschap beschikbaar waarmee, afhankelijk van de type en soort handeling de risico's eenvoudig en overzichtelijk kunnen worden weergegeven.

De nu ontwikkelde methode en de bijbehorende software bieden een krachtig instrument om de risico's van bundeling van kabels en leidingen te vergelijken met de traditionele oplossing van (ongestructureerde) ligging in de koude grond. De broncode van de

software is vrij beschikbaar zodat ook toekomstige ontwikkelingen eenvoudig kunnen worden geïmplementeerd.

De COB uitvoeringscommissie O13 en het College van Opdrachtgevers Integrale Leidingentunnels hebben er alle vertrouwen in dat het gebruik van deze methode zal bijdragen aan de noodzakelijke ordening van de ondergrondse ruimte en dat de hinder in de openbare ruimte ten gevolge ondergrondse infrastructuur sterk zal reduceren.

Frans Taselaar
Voorzitter COB
kennisplatform Kabels en
Leidingen

Piet Kunst
Voorzitter COB
Uitvoeringscommissie
“Risicoanalyse en
risicobeoordeling van bundeling
van kabels en leidingen (O13)”

Dit onderzoek is mogelijk gemaakt door het College van Opdrachtgevers dat bestond uit:

Organisatie	Naam
St. Buisleidingenstraat	ing. J.A.H. Haeck
Continuon, mede namens EnergieNed	ir. F.K.A.M. Wiercx
Duinwaterbedrijf Zuid Holland	W. Boonsma
EnergieNed	H. van Bruchem
Gemeente Amsterdam	drs. F.M. Taselaar
Gemeente Arnhem	drs M. Robben
	ing. M.C.W. de Ruiter
Gemeente Den Haag	drs. C.H. Schaapman (v.a. mei 2005) ing. J. Snoeren (tot mei 2005)
Gemeentewerken Rotterdam	ir. G.L. Slee
Gemeente Utrecht	drs. S.F. van der Weide
Ingenieursbureau Den Haag	H.J. Hogenbirk MSc
NUON Assetmanagement mede namens NUON Warmte	ing. C. den Hartog
Port of Rotterdam	ing. P.H.M. Verheijen
	R. Kaptein
VEWIN	drs. R.J. Eijsink
Zeeland Seaports	ir. D. Engelhardt
Zeeland Seaports	N. Durinck
Het onderzoek is begeleid en/of uitgevoerd door Uitvoeringscommissie O13	
Royal Haskoning	ir. P.A.J.C. Kunst, voorzitter
Grontmij Nederland bv	ing. D.J. de Bijl, secretaris
-	ir. G.L. Slee
COB	drs. A.W.M. Kamphuis
Gemeente Den Haag	ing. P.W. Dam
Kiwa Gastec Technology BV	ir. T. van Wingerden
Movares	Ing. C.N. van den Bosch
NUON Tecno	ing. J. den Hartog
	de heer E.L. Huijzer
TNO Bouw en Ondergrond	ir. R.M.L. Nelisse
	dr.ir. P.H. Waarts
TU Delft	ir. G. Arends
VEWIN	drs. R.J. Eijsink
Waternet	de heer A.J. Clement

MANAGEMENT SAMENVATTING

Dit rapport geeft de weerslag van de werkzaamheden uitgevoerd in het COB project O13 “Risicoanalyse en risicobeoordeling van bundeling van kabels en leidingen”.

In zowel stedelijke als industriële omgevingen wordt de druk op de ondergrond de laatste jaren steeds groter. Hierdoor wordt het concept van bundeling van kabels en leidingen interessanter. Dit blijkt uit zowel de ontwikkelingen in industriële omgevingen zoals het Botlek – Europoort gebied, als uit de ontwikkeling in de stedelijke omgevingen zoals in de gemeenten Amsterdam, Arnhem en Maastricht.

In de bestaande regelgeving wordt omschreven hoe omgegaan moet worden met de nabijheid van andere nutsvoorzieningen en de aanleg van kabels en leidingen in tunnels. Er wordt echter niet expliciet rekening gehouden met het bestaan van bundelingen van kabels en leidingen in tunnels. Dit terwijl de bundelingen van kabels en leidingen mogelijk andere risico's met zich mee brengen dan bestaande configuraties. De (internationale) literatuur geeft inzicht in mogelijke risico's alsmede in potentiële risicoreducerende maatregelen. Het is echter onduidelijk welke risico's worden gereduceerd en of er per saldo een groter of kleiner risico resulteert.

Door het ontbreken van normen of richtlijnen en/of een breed gedragen risicoanalysemethodiek wordt de besluitvorming over zowel planvorming, aanleg als beheer van een bundeling van kabels en leidingen bemoeilijkt

In het project O13 is een risicoanalysemethodiek uitgewerkt voor de bundeling van kabels en leidingen.

Een risicoanalysemethodiek kent in het algemeen een kwalitatief deel, een kwantitatief deel en een risicobeheersing deel.

1. In het kwalitatieve deel worden alle risico's (de faalmechanismen en de gevolgen van falen) geïdentificeerd. Voor dit deel is een goed begrip van het systeem essentieel. Er zijn veel technieken om de risicoanalist hierbij te ondersteunen (bijvoorbeeld PHA¹, HAZOP², foutenboom, gebeurtenissen boom, relationele netwerken en Bayesiaanse netwerken). Hier is gekozen voor de laatste.
2. In het kwantitatieve deel worden de kansen op de ongewenste gebeurtenissen en de ernst van het gevolg geschat. Dit kan in het algemeen worden uitgevoerd op drie niveaus:
 - > Rangschikken
 - > Classificatie

¹ PHA = Probabilistic Hazard Analysis

² HAZOP = Hazard & Operability

- > Volledig kwantitatief met gebruik van getallen voor kans en gevolg.

Bij het rangschikken worden risico's alleen gecategoriseerd zoals "klein", "middel", "groot". Op het classificatie niveau worden de risico's getalsmatig aangegeven met ordegraad. Dat kan bijvoorbeeld voor veiligheid het aantal gewonden zijn en voor schade de ordegraad van de herstellkosten. Op het volledig kwantitatieve niveau moeten de kansen en gevolgen gebaseerd worden op data en modellen. Hier is dat gebeurd door een inventarisatie die is samengevat in de bijlage G;

3. In het risicobeheersing deel kan men ofwel proberen de kans op falen te beperken of proberen de mate van het gevolg te beperken, inclusief bijvoorbeeld noodplannen in geval van een calamiteit. Risicobeheersing zal een mix zijn van de volgende onderdelen:

- > verhinderen dat een bedreiging kan optreden of de
- > kans daarop beperken (bijvoorbeeld grotere wanddikte voor leidingen);
- > verhinderen dat een bedreiging groeit tot extreme
- > gevolgen (bijvoorbeeld door middel van sprinkler installaties);
- > maatregelen die de gevolgen beperken (ventilatie,
- > evacuatieplannen)
- > of er daadwerkelijk maatregelen genomen dienen te
- > worden, wordt meestal gebaseerd op het ALARP principe (As Low As Reasonably Possible).

Deze studie beperkt zich in grote mate tot het kwalitatieve en kwantitatieve deel van het risicomanagement. Over het al dan niet acceptabel zijn van de risico's wordt in dit rapport dus geen uitspraak gedaan. Naast de randvoorwaarde van veiligheid betreft het de verantwoordelijkheid van de gebruikers en beheerders. Gebruikers en beheerders zullen beide het ALARP principe gebruiken, waarbij de R (redelijkheid) per stakeholder kan verschillen. Voor de vraag hoe met de afweging van redelijkheid kan worden gegaan wordt verwezen naar de separate onderzoeken van het COB: "beslismodellen" en "Economische afwegingsmodellen".

In het kwalitatieve deel is de identificatie en classificatie van de risico's uitgevoerd door middel van brainstormsessies met multidisciplinaire, technische en praktisch ervaren experts samen met ervaren risicoanalisten, hierbij is onderscheid gemaakt tussen 4 situaties:

- > B0: conventionele ligging volgens norm
- > B1: gestructureerde plaatsing in de volle grond
- > B2: niet begaanbare goten of ducts
- > B3: begaanbare kabel en leidingen tunnel.

Het doel was om alle risico's (oorzaken van falen en gevolgen) in kaart te brengen inclusief die risico's met een lage waarschijnlijkheid maar grote gevolgen. De in het kader van dit onderzoek geïnventariseerde oorzaken van falen en gevolgen en de typen kabels en leidingen zijn weergegeven in onderstaande tabellen.

Oorzaken van falen	type	Gevolgen
Externe corrosie	Aardgas	Lagere productrendement
Interne corrosie	Drinkwater	Lagere productkwaliteit
Fabricage fouten	Elektriciteit	Beschadigen andere leidingen
Graafschade	Warmte	Degradatie van andere leidingen
Werkzaamheden aan leiding	Koude	Onveiligheid voor medewerkers
Werkzaamheden door derden	RWA riool	Onveiligheid van de omgeving
Mechanische belastingen	Telecom	
Zettingen	Industriële gassen	
	Industriewater	
	Vloeibare brandstoffen	
	DWA riool	
	Stoom	
	Perslucht	
	Afval	

In de risico-analyse zijn de oorzaken van falen (“lekkage”) en de gevolgen van falen met als tussengebeurtenissen “brand” of “explosie” (gegeven ontsteking), onderzocht.

In het kwantitatieve deel zijn de risico’s voor bundeling van kabels en leidingen geëvalueerd op basis van expert judgment. Experts zijn eerst ingewijd in de risicoanalyse methode, waardoor experts, met verschillende achtergronden, in dezelfde classificering van risico’s kunnen denken. De experts baseren hun schattingen vervolgens op data in literatuur en hun eigen waarnemingen, schattingen kunnen daarom afwijken van de werkelijke faalkans.

Falen van een leiding veroorzaakt door vandalisme c.q. terrorisme is buiten beschouwing gelaten vanwege de zeer kleine kans van optreden per kilometer per jaar en de onvoorspelbaarheid van het fenomeen. De kansen op “lekkage” van alle type leidingen is door de experts geschat, inclusief de kans op de mate van lekkage. De mate van lekkage is geëvalueerd als “klein”, “middel” of “groot”. Gegeven de mate van “lekkage” is de mate van gevolg geschat. Ook het gevolg is geëvalueerd in de maten “klein”, “middel” of “groot”. Indien van toepassing is ook de kans op brand en explosie ingeschat gegeven een “kleine”, “middel” of “grote” lekkage van brandbare of explosieve stoffen.

Nadat alle oorzaak-gevolg relaties zijn geïnventariseerd zijn deze in een geschikt model geplaatst om de risico’s te kunnen berekenen. Gezien de hoeveelheid relaties is er voor gekozen om het geheel onder te brengen in een zogenaamd “Bayesiaans netwerk”. Hierin kan een veelheid aan complexe relaties toch overzichtelijk weergegeven en verwerkt worden. Opgemerkt moet worden dat door de grootte van het netwerk dit model nog net in de geheugencapaciteit van een moderne PC past (jaar 2006).

In het rapport zijn de uitkomsten van de risicoanalyse weergegeven voor het geval dat alle in bovenstaande tabel gegeven kabels en leidingen in de bundeling aanwezig zijn. Hiermee zijn de risico’s van de verschillende situaties (Bo-B3) dus direct te vergelijken. Ingeval niet alle soorten kabels en leidingen in de bundelingen

aanwezig zijn, zijn de risico's door middel van een eenvoudige handeling met het computermodel snel te bepalen.

Uit de risico-analyse met alle mogelijke kabels en leidingen blijkt dat de risico's in bundeling in de B1-B3 situatie slechts in geringe mate verschilt van de Bo situatie (afhankelijk van het soort gevolg iets beter of minder). Bundeling van kabels en leidingen levert dus niet meer risico's op dan ligging in de koude grond. Alleen het risico van beschadigen van andere leidingen neemt in de B1-B3 situatie flink toe. Uit deze studie is gebleken dat, voor zowel ligging in de koude grond als gebundelde ligging, het risico op onveilige situaties voor medewerkers en omgeving aan de hoge kant lijkt in vergelijking met de waargenomen praktijk, waar het risico op doden verwaarloosbaar klein blijkt.

In het risicoanalyse model zijn ook de kansreducties opgenomen van maatregelen die door de experts als meest effectief werden gedacht. Hiermee is snel inzicht te krijgen in het risicoreducerende effect van deze maatregelen. Door triviale maatregelen (bijvoorbeeld detectieapparatuur) nemen risico's snel af.

Tot slot wordt opgemerkt dat het risicoanalyse model alleen als computermodel bruikbaar is. Hoewel het model door een ieder gebruikt kan worden zal het door de complexiteit van het model in de praktijk waarschijnlijk toch een drempel zijn om het model te gebruiken.

Om de robuustheid van het model nu en in de toekomst te waarborgen. De volgende aanbevelingen worden gedaan:

1. Het model toe te passen op vele praktijksituaties en te onderzoeken of de uitkomsten plausibel zijn;
2. regelmatig te onderzoeken of de geschatte kansen door middel van data kunnen worden geactualiseerd en of maatregelen kunnen worden toegevoegd;
3. om tot een eenvoudig computermodel en/of internet applicatie te komen;
4. het uitvoeren van een degelijke gevoeligheidsanalyse, waarmee het aantal relevante relaties wordt gereduceerd en het model wordt beperkt.

Geconcludeerd kan worden dat het project O13 er toe heeft geleid dat voor het eerst in de geschiedenis de kennis op het gebied van risico's voor bundeling van kabels en leidingen is samengebracht in één model.

Samen met de andere projecten bij COB en een vereenvoudiging van de toegankelijkheid van het risicoanalysemodel, kan dit op termijn leiden tot het krijgen van een breed gedragen risicoanalyse-methodiek voor de bundeling van kabels en leidingen.

INHOUDSOPGAVE

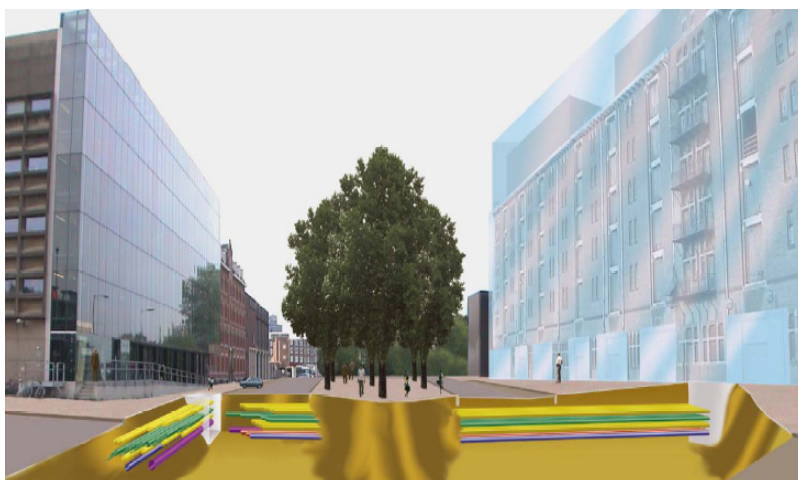
1	INLEIDING	13
1.1	AANLEIDING	13
1.2	HUIDIGE SITUATIE	13
1.3	PROBLEEMSTELLING	14
1.4	DOELSTELLING: ONDERZOEKSVRAGEN	14
1.5	AFBAKENING EN DEFINIËRING	15
1.6	RANDVOORWAARDEN	15
1.7	AANPAK/UITVOERING: ONDERZOEKSMETHODE	16
2	BESCHRIJVING VAN GEHANTEERDE BEGRIPPEN	17
2.1	ALGEMENE OVERWEGINGEN BIJ HET TOEPASSEN VAN BUNDELING VAN KABELS EN LEIDINGEN	17
2.2	BEGRIPPEN	17
2.2.1	B0: traditionele ligging	19
2.2.2	B1: Gestructureerde ligging	20
2.2.3	B2: Kabel- en leidinggoot	20
2.2.4	B3: Integrale kabel- en leidingtunnel	21
2.3	GEHANTEERDE OORZAKEN VAN FALEN VAN EEN LEIDING	21
2.4	IN RISICOANALYSE GEHANTEERDE MOGELIJKE GEVOLGEN VAN FALEN	22
3	LITERATUUR- EN EXPERTISEONDERZOEK	25
3.1	WET EN REGELGEVING MET BETREKKING TOT UTILITEITEN IN TUNNELS	25
3.1.1	Elektriciteit	25
3.1.2	Gas	25
3.1.3	Water	26
3.1.4	Stadsverwarming	28
3.1.5	Waterstaatkundige werken.	28
3.1.6	Lokale regelgeving	28
3.2	LITERATUUR ONDERZOEK NAAR RISICO'S, RISICOANALYSE EN CASUÏSTIEK	28
3.2.1	Informatie over risicoanalyses voor ILT's	28
3.2.2	Literatuur met specifieke informatie over faalkansen	29
3.2.3	Beschrijvingen van maatregelen om falen of gevolgen te beperken	29
3.3	INTERVIEWS	30
3.4	MAATREGELEN	31
4	RISICOANALYSE MODEL	33
4.1	INLEIDING	33
4.2	DOEL RISICOANALYSE	33
4.3	OPZET RISICOANALYSEMODEL	33
4.3.1	Dragers	33
4.3.2	Systeembeschrijving	34
4.3.3	Modelkeuze	34
4.3.4	Falen van een leiding	36
4.3.5	Oorzaken van falen van een leiding	36
4.3.6	Gevolgen van falen van een leiding	37

4.3.7	Bayesiaans netwerk	37
4.3.8	Kwantificering met behulp van expert judgement	39
4.4	RESULTATEN	41
4.4.1	Kansen voor de vier bundelingstypen	41
4.4.2	Gevoeligheden	44
4.5	MAATREGELEN	45
5	CONCLUSIES	47
6	LITERATUURLIJST	49
APPENDICES		
A	LITERATUUR ONDERZOEK NAAR RISICO'S EN CASUÏSTIEK	53
B	TOELICHTING OP BAYESIAANSE NETWERKEN – VOORBEELD	61
C	TOELICHTING OP BAYESIAANSE NETWERKEN – AANNAMEN	67
D	MAATREGELEN – OVERZICHT	69
E	OVERWEGING ACHTER DE INSCHATTING VAN RISICO'S VAN BUNDELING	73
F	VOORBEELD WERKING MODEL	85
G	KANSTABELLEN	93

1. INLEIDING

1.1. AANLEIDING

In zowel stedelijke als industriële omgevingen wordt de druk op de ondergrond de laatste jaren steeds groter. Hierdoor wordt het concept van bundeling van kabels en leidingen interessanter. Dit blijkt uit zowel de ontwikkelingen in industriële omgevingen zoals het Botlek – Europoort gebied, als uit de ontwikkeling in de stedelijke omgevingen zoals in de gemeenten Amsterdam, Arnhem en Maastricht. Bundelingen van kabels en leidingen brengen mogelijk andere risico's met zich mee dan bestaande configuraties, maar het is onduidelijk welke risico's dat zijn en of er per saldo een groter of kleiner risico resulteert. De besluitvorming over zowel planvorming, aanleg als beheer wordt bemoeilijkt door het ontbreken van een breed gedragen risicoanalysemethodiek. De beschikbare informatie op dit gebied is weinig bekend en deels verouderd (KIVI/NSTT 1996, aanvulling 1999) [20]. Onder andere het COB ziet dit als is een belemmering voor de aanleg van integrale leidingen tunnels (ILT's) en andere typen bundelingen in Nederland.



Bron: Presentatie Frans Taselaar – COB-Dag 2005

1.2. HUIDIGE SITUATIE

De kabel- en leidinginfrastructuur in Nederland wordt traditioneel in de grond aangelegd. De gemeente als beheerder van de ondergrond wijst in de regel het tracé aan waar kabels en leidingen mogen liggen. Idealiter worden hierbij de belangen van de beheerders van kabels en leidingen zoveel mogelijk behartigd via coördinerende vergaderingen of andere wijze van overleg. Mogelijke risico's van interactie tussen de verschillende infrastructuren worden tijdens dergelijke vergaderingen besproken. Het algemeen gehanteerde uitgangspunt is dat kabels en leidingen tegenwoordig zo veel mogelijk onder de trottoirs of in bermen worden aangelegd. In het geval van een kruising van een weg worden aanvullende maatregelen getroffen, zoals de aanleg in mantelbuizen. Kruisingen

van kabels en leidingen met waterstaatkundige werken, te weten dijken, spoorwegen en primaire en secundaire wegen, dienen plaats te vinden binnen het kader van de NEN 3651 [42] en NEN 3650 [43].

1.3. PROBLEEMSTELLING

Ontwikkelingen op het gebied van stadsontwikkeling- en beheer (stedelijke verdichting, bovengrondse bereikbaarheid, kwaliteit van openbare ruimte, bescherming van archeologisch erfgoed en andere ondergrondse functies) en nutsvoorzieningen (liberalisering, gescheiden rioolsystemen) hebben recentelijk geleid tot studies naar de mogelijkheden om kabels en leidingen te bundelen. Er zijn diverse soorten bundelingen mogelijk, welke in hoofdstuk 2 nader worden toegelicht.

Bij het ontwerpen van bundelingen blijkt in de praktijk dat een kwantitatieve risicoanalyse van de toepassingen van een bundeling lastig uit te voeren is. De redenen hiervoor zijn o.a. het ontbreken van gegevens en het ontbreken van een algemeen geaccepteerde methodiek. Daardoor worden discussies bemoeilijkt door standpunten gebaseerd op gevoelens, meningen en standaard werkmethoden en het ontbreken van kennis en begrip van elkaars belangen.

Inzake risicobeoordeling zijn de absolute (kwalitatieve) beoordeling en de relatieve beoordeling ten opzichte van traditionele ligging van kabels en leidingen moeilijk te scheiden. Er bestaat dan ook behoefte aan een gestructureerde risicobeoordelingmethodiek, gebaseerd op normen en kwantitatieve informatie. Daarbij hoort ook een inzicht in ongeval- of incidentstatistieken.

1.4. DOELSTELLING: ONDERZOEKSVRAGEN

Het doel van het onderzoek is het ontwikkelen van een beoordelingsmethodiek voor risico's van bundeling van kabels en leidingen. Deze methodiek stelt betrokken partijen in staat om gezamenlijk tot een goede afweging van risico's te komen en noodzakelijke maatregelen vast te stellen.

De volgende onderzoeksvragen zijn geformuleerd:

- > Welke (inter)nationale normen en wetten zijn van toepassing op bundelingen van kabels en leidingen? *Hoofdstuk 3;*
- > welke risico-objecten zijn te onderkennen? *Hoofdstuk 3;*
- > welke faalmechanismen zijn te onderkennen? *Hoofdstuk 3;*
- > wat zijn de gekwantificeerde faalkansen? *Hoofdstuk 4;*
- > wat zijn de effecten van het falen? *Hoofdstuk 4;*
- > hoe is kans x effect uit te drukken in een risico? *Hoofdstuk 4;*
- > hoe is een en ander om te zetten in een risico-inventarisatie model toepasbaar op diverse bundelingconcepten? *Hoofdstuk 4;*
- > welke maatregelen kunnen genomen worden om het risico te beperken? *Hoofdstuk 3 en 4.*

1.5. AFBAKENING EN DEFINIËRING

Daar waar gesproken wordt over leidingen worden zowel kabels als leidingen bedoeld, tenzij uitdrukkelijk anders vermeld.

Het onderzoek beperkt zich tot de toepassing van bundelingen van kabels en leidingen t.b.v. transport en distributie van elektriciteit, gassen, vloeistoffen en telecommunicatie toepassingen.

Het begrip risico is een functie van kans en gevolg. In dit rapport worden kans en gevolg gelijk gewogen en wordt risico gedefinieerd als (faal)kans x gevolg(schade).

De risicomethodiek wordt toegelicht aan de hand van drie situaties: een integrale leidingentunnel in een grootstedelijke omgeving, een bundeling in een industriële omgeving en een bundeling op een VINEX locatie. Deze situaties worden nader toegelicht in hoofdstuk 3.

De in dit rapport gepresenteerde risicoanalyse richt zich op een aantal gedefinieerde gebeurtenissen en gevolgen in de gebruiksfase. Hierbij zijn veiligheid, rendement, leverbetrouwbaarheid de belangrijkste aandacht gebieden. Aspecten als maakbaarheid en flexibiliteit ten aanzien van het aanbrengen, verplaatsen en wijzigen van klantaansluitingen maken geen deel uit van deze studie.

Er kunnen transportleidingen en distributieleidingen onderscheiden worden. Transportleidingen kenmerken zich door doorgaande leidingen met weinig tot geen aftakkingen, terwijl distributieleidingen zich kenmerken door veel aftakkingen. De vraag is bij welke ‘dichtheid van aftakkingen’ de grens ligt. In de literatuur is hiervoor nog geen definitie gevonden. Juist vanwege de risico’s die aftakkingen met zich meebrengen, is in deze rapportage gekozen om in het bijzonder distributieleidingen te beschouwen.

1.6. RANDVOORWAARDEN

In het onderzoek zijn de volgende randvoorwaarden geformuleerd:

- > Het risicomodel is universeel toepasbaar t.b.v. analyse en besluitvorming over het al dan niet toepassen van een bundeling, de keuze voor een type bundeling, de keuze voor te bundelen leidingen en de keuze van maatregelen;
- > de methodiek is toepasbaar in de gehele life-cycle van de bundeling: ontwerp, bouw, exploitatie, vernieuwing-/renovatie/groot onderhoud en sloop;
- > het model en de methodiek houden rekening met de interacties tussen risico-objecten onderling en tussen risico-objecten en de omgeving;
- > het model en de methodiek dragen bij tot het versterken van de kennis over en het begrip tussen leidingbeheerder en beheerders openbare ruimte;
- > het model en de methodiek zijn flexibel ten aanzien van het type bundelingen, aantal en soort betrokken kabels en leidingen en aard van de omgeving (interne en externe risico’s);

- > het onderzoek maakt maximaal gebruik van beschikbare normen, documentatie en ervaring (waarbij ook naar de ontwikkeling van andere ondergrondse bouwwerken wordt gekeken);
- > creëren van draagvlak is een essentieel onderdeel van het onderzoek.

1.7. AANPAK/UITVOERING: ONDERZOEKSMETHODE

Het onderzoek is gestart met een literatuuronderzoek en het houden van interviews met ervaringsdeskundigen waarbij getracht is de wettelijke randvoorwaarden en de bestaande kennis op het gebied van risico's en casuïstiek betreffende falen van kabels en leidingen te inventariseren.

Door een gebrek aan kwantitatieve data betreffende het falen van kabels en leidingen gecombineerd met de beperkte ervaring met kabels en leidingentunnels noopte tot het maken van risicoinschattingen door middel van 'expertjudgement'. Deze fase is afgerond met een eerste voorzet van een integraal risico-inventarisatiemodel toepasbaar op diverse bundelingconcepten. Het resultaat is tijdens een interactieve workshop beoordeeld en aangescherpt. Ook is één en ander op praktische bruikbaarheid getoetst door toepassing op enkele karakteristieke bundelingtypen waaronder een Integrale Leidingen Tunnel.

Op basis van een literatuuronderzoek en van diepte-interviews met ervaringsdeskundigen zijn de risico-objecten en de bijbehorende risico's bepaald.

De onderzoeksresultaten zijn in de onderhavige rapportage vastgelegd. Het resultaat van dit onderzoeksproject bestaat uit een onderbouwd en aan de praktijk getoetst risicoanalysemodel dat toepasbaar is op diverse bundelingconcepten.

De uitkomsten zijn bedoeld voor het geven van inzicht in de genoemde risico's, het effect van de verschillende typen kabels en leidingen op elkaar en het risicoreducerend effect van beheersmaatregelen.

2. BESCHRIJVING VAN GEHANTEERDE BEGRIPPEN

2.1. ALGEMENE OVERWEGINGEN BIJ HET TOEPASSEN VAN BUNDELING VAN KABELS EN LEIDINGEN

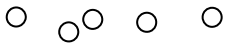
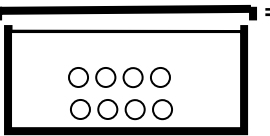
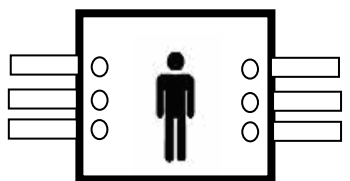
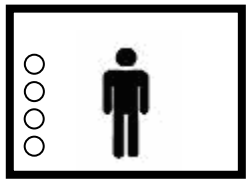
Algemeen uitgangspunt is dat het ontwerp, de aanleg, de bedrijfsvoering en het beheer van elk leidingsysteem zodanig moet zijn, dat het veiligheidsrisico voor de omgeving aanvaardbaar is, dat de beoogde transportzekerheid wordt verkregen en dat dit doelmatig kan gebeuren.

Voor de netbeheerder kan aanleg, in een bundeling, in het kader van deze studie, betekenen:

- > Door mogelijke interferentie, domino- en synergie-effecten moeten er extra maatregelen genomen worden. Dit heeft invloed op het ontwerp, de aanleg, de bedrijfsvoering en het beheer. De netbeheerder is gebaat bij een zoveel mogelijk duidelijke en éénduidige richtlijn hiervoor;
- > randvoorwaarde bij aanleg in een ILT is dat de leveringszekerheid en de veiligheid op het beoogde hoge niveau blijven;
- > de doelmatigheid is in het gedrang door de uitgebreide voorbereiding en de extra benodigde maatregelen. Dit kan verbeterd worden door de al genoemde éénduidige richtlijn. Momenteel zijn de voorschriften en wet- en regelgeving verspreid over vele voor andere doeleinden geschreven normen. Bundeling daarvan of een verwijzingsdocument kan de voorbereidingsfase bijzonder versnellen.

2.2. BEGRIPPEN

In figuur 1 worden de diverse mogelijke bundelingen schematisch weergegeven en worden een omschrijving en voorbeelden van toepassingen gegeven. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de standaard zoals gebruikt in de risicoanalyse.

Type	Schematische doorsnede	Omschrijving	Voorbeeld toepassingen
Bo	===== 	Conventionele, volgens norm (1738, 1739:1964) gestructureerde plaatsing kabels en leidingen.	Vrijwel overal
B1	===== 	Gestructureerde plaatsing kabels en leidingen in de volle grond	Vivaldi, Amsterdam MultiCore, Rotterdam
B2	===== 	kabel- en leidingengoot, bereikbaar vanaf het maaiveld	Almere Stadshart Maastricht (niet uitgevoerd)
	===== 	Niet begaanbare ondergrondse kabel- en leidingentunnel	Spoor- en wegkruisingen
	===== 	Combinatie van mantelbuizen en begaanbare werkruimtes	Lloydkwartier Rotterdam
B3	===== 	Begaanbare ondergrondse kabel- en leidingentunnel (ILT)	Hollandsch Diep Mahlerlaan, Amsterdam Stationsgebied, Arnhem Kruising A2 Leidscherijn, Utrecht OudeMaas, Rotterdam Calandkanaal, Europoort

Figuur 1: Schematisch overzicht typen bundelingen in toenemende complexiteit

Wat	Diameter [mm]	Materiaal	Niveau	Opmerking
Aardgas	50-500	Staal, PE	8 bar	
Elektriciteit	-	GPLK	50-150 kV, 3-25 kV, 0-4 kV	HS, MS, LS
Drinkwater	40-1000	Kunststof, staal en beton in grotere diameters	2-6 bar	
Stadsverwarming	20 – 600?	Staal, Kunststof	90 °C/ 50 °C	Onder druk, Geïsoleerd
TelecomKabels	-	Koper, Glasvezel,	-	UTP, Kabel TV
	60,3 - 406,4	Staal	8 bar	PE bekleed, Kathodisch beschermd, gelast
	50 - 350	PE	4 bar	gelast
	50 - 250	slagvast PVC	100 mbar	insteekmoffen
	50 - 250	PE		gelast

Tabel 1: Gehanteerde leidingen binnen de risico-analyse

2.2.1. B0: TRADITIONELE LIGGING

Deze situatie beschrijft de situatie zoals die in vrijwel heel Nederland voorkomt. Van oudsher zijn kabels en leidingen aangelegd in de volle grond. Dit heeft geleid tot een situatie van organische groei, waarbij in veel gevallen een oude liggingsituatie de basis heeft gevormd voor uitbreidingen en vervangingen. Ook zijn normen opgesteld om de ligging te structureren zoals NEN 1738 [40] en NEN 1739 [41]. Deze dateren echter uit 1964. In de loop van de tijd zijn door gemeenten verordeningen opgesteld waarbij standaardprofielen worden opgegeven.

Deze situatie wordt in dit rapport beschouwd als de nulvariant. Er worden geen maatregelen voor het verlagen van risico's voor deze variant voorgesteld. De overige bundelingen zullen wel met de traditionele ligging vergeleken worden.



Bron: website www.bezuidenhout.nl

2.2.2. B1: GESTRUCTUREERDE LIGGING

Deze variant beschrijft gecontroleerde bundeling in de grond. Dit kan variëren van toegewezen leidingstroken tot leidingstraten waar tijdens aanleg en beheer een verzwaard regime van toezicht wordt gehanteerd.

In dit rapport wordt onder deze variant een door de gemeente toegewezen leidingstrook beschouwd. Hierbij wordt uitgegaan van een goed gecontroleerde planvorming en aanleg. Omdat wordt uitgegaan van een gecontroleerde situatie en de beschikbaar gestelde grond schaars is, kunnen kabels en leidingen op minimaal toelaatbare onderlinge afstand zijn aangelegd.

2.2.3. B2: KABEL- EN LEIDINGGOOT

Deze variant beschouwt ondergrondse constructies waarin kabels en leidingen zijn samengebracht maar die niet betreedbaar zijn. De goot is ingegraven en geheel of gedeeltelijk afgedekt met deksels. Hoewel vaak voorgeschreven wordt hier aangenomen dat in de goot geen gedwongen ventilatie aanwezig is. De goot is voldoende verankerd om opdrijving te voorkomen, is waterdicht tegen binnendringend grondwater en is voorzien van een afdoende systeem van drainage. Op regelmatige afstanden is een toegangsconstructie voor aansluitingen en noodzakelijk hulpmiddelen zoals afsluiters.



Utility Duct Lloyd Kwartier – bron: website Lloyd Kwartier Rotterdam

2.2.4. B3: INTEGRALE KABEL- EN LEIDINGTUNNEL

Hieronder wordt beschouwd een ondergrondse begaanbare tunnel waarin op geordende wijze kabel en leidingen zijn aangebracht. De kabels en leidingen zijn aangebracht op rekken. De tunnel wordt volgens de Arbo-wetgeving beschouwd als een werkplek. Dit heeft onder ander tot gevolg dat verlichting aangebracht zal moeten zijn en dat inspectie altijd door minimaal 2 personen moet plaatsvinden. Er wordt in de risicoanalyse uitgegaan van een maximale afstand tot een toegang van 1 km. Op regelmatige afstanden is een toegangsconstructie opgenomen voor aansluitingen. Er wordt uitgegaan van een enkele buis, zonder compartimentering, met alle voorzieningen die door normen en richtlijnen worden voorgeschreven.



ILT Calandtunnel – foto Anne Kamphuis

2.3. GEHANTEERDE OORZAKEN VAN FALEN VAN EEN LEIDING

De volgende oorzaken van falen van kabels en leidingen worden in de risicoanalyse gebruikt:

- > Externe corrosie
Dit betreft de aantasting van leidingen door corrosie, erosie en andersoortige aantastingen van buitenaf.
- > Interne corrosie
Onder interne corrosie wordt de aantasting van leidingen door corrosie, erosie en andersoortige aantastingen van binnenuit verstaan.
- > Fabricagefouten
Fouten die gedurende de fabricage en montage van de kabels en leidingen leiden tot falen van die leiding worden onder de noemer fabricagefouten geschaard.

- > Graafschade
Graafschade betreft het falen van leidingen als gevolg van graafwerkzaamheden.
- > Werkzaamheden
Dit betreft onderhouds-, reparatie- en vervangingswerkzaamheden aan een leiding die als gevolg daarvan faalt.
- > Werkzaamheden door derden
Dit betreffen onderhouds-, reparatie- en vervangingswerkzaamheden aan een leiding die het falen van een andere leiding tot gevolg hebben.
- > Mechanische belastingen
Onder deze oorzaak vallen mechanische belastingen op leidingen en koppelingen, bijvoorbeeld door verkeersbelasting, boomwortels etc.
- > Zettingen
Hieronder worden grondzettingen beschouwd die leiden tot het falen van een leiding.

Falen van een leiding veroorzaakt door vandalisme c.q. terrorisme is buiten beschouwing gelaten vanwege de zeer kleine kans van optreden en de onvoorspelbaarheid van het fenomeen.

Invloed van lekkages op het milieu, flora en fauna is in de risicoanalyse eveneens buitenbeschouwing gelaten.

2.4. IN RISICOANALYSE GEHANTEERDE MOGELIJKE GEVOLGEN VAN FALLEN

Hieronder worden de mogelijke gevolgen van het falen van een kabel of leiding beschreven. De volgende gevolgen zijn in het algemeen geïdentificeerd:

- > Lager rendement van het product
Door falen van een leiding kan de levering van het getransporteerde product afnemen of zelfs volledig stilvallen. Hierdoor neemt het rendement af.
- > Lagere productkwaliteit
Door falen van een leiding kan de kwaliteit van een product verminderen, met name bij lekkage. Hierdoor ontstaat een opening in de kabel of leiding, waardoor vuil, ongedierte of andere zaken die de productkwaliteit aantasten kunnen indringen. Wanneer een leiding onder druk staat, zal de indringing en daarmee de vermindering van de productkwaliteit beperkt zijn.
- > Beschadiging van andere leidingen (direct)
Door falen van andere leidingen kunnen situaties ontstaan die als gevolg hebben dat andere leidingen direct falen. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan brand en explosie.
- > Degradatie van andere leidingen (lange termijn)
Degradatie van andere leidingen met als gevolg falen op de langere termijn kan optreden als gevolg van het falen van een leiding en het vrijkomen van een stof of vorm van energie die

bijvoorbeeld corrosief is of op een andere wijze andere leidingen kan aantasten.

- > Onveiligheid voor medewerkers
Bij het falen van een leiding en met name bij het lekken kunnen stoffen vrijkomen die gevaar voor aanwezigen kunnen opleveren. Hierbij hoeft geen sprake te zijn van gevaarlijke stoffen, ook bijvoorbeeld grote hoeveelheden drinkwater kunnen voor verdrinkingsgevaar zorgen.
- > Onveiligheid voor omgeving
Door lekkage van stoffen als gevolg van falen van een leiding kan een gevaarlijke situatie voor de omgeving ontstaan. Hierbij kan worden gedacht aan het vrijkomen van toxische stoffen, brand en explosie.

Een speciaal gevolg is wanneer het vrijkomen van een brandbare of explosieve stof samenvalt met het ontstaan van een ontsteking en de combinatie leidt tot een brand of explosie.

3. LITERATUUR- EN EXPERTISEONDERZOEK

Dit hoofdstuk bestaat uit een overzicht van de wet- en regelgeving op het gebied van bundeling van kabels en leidingen, conclusies betreffende in het verleden uitgevoerde bundelingen van kabels en leidingen, en meest voorkomende risicoreducerende maatregelen

3.1. WET EN REGELGEVING MET BETREKKING TOT UTILITEITEN IN TUNNELS

In de bestaande regelgeving is niet expliciet rekening gehouden met het bestaan van bundelingen van kabels en leidingen in tunnels. De vigerende regelgeving omschrijft echter wel hoe omgegaan moet worden met de nabijheid van andere nutsvoorzieningen e.d. en de aanleg in tunnels of gebouwen. Dit wordt hieronder omschreven. Hoe deze (detail)punten in eventuele toekomstige wijzigingen beschreven zal worden is nog niet te zeggen.

3.1.1. ELEKTRICITEIT

In de Nederlandse praktijkrichtlijn NPR 2760 [29] wordt voor elektriciteit de inductieve beïnvloeding van kabels op leidingen door sluiting in de 1 fase en 3 fase kabel besproken. De invloed van leidingen op kabels wordt bepaald door effecten zoals lekkage en brand en de noodzaak van kathodische bescherming.

De electriciteitswet en de bijbehorende netcode stellen bindende eisen aan het ontwerp van de netten, leverbetrouwbaarheid, definieert standaard typen aansluitingen, geeft de klant het primaat voor de keuze van het type aansluiting, definieert vaste prijzen per type aansluiting en stelt vaste termijnen voor levertijden. E.e.a. beperkt de netbeheerder echter niet met betrekking tot aanpassingen ten behoeve van gebruik van bundelingen.

Geconcludeerd kan worden dat ten aanzien van elektriciteit er geen beperkingen zijn voor aanleg in een bundeling maar er moet aandacht worden besteed aan de inductieve beïnvloeding en voor de netbeheerder is de kostenvergoeding een belangrijk aandachtspunt.

3.1.2. GAS

Bovengrondse gasleidingen moeten bestand of beschermd zijn tegen externe invloeden (UV, thermische uitzetting, grondzetting, corrosie, schade door derden), in voldoende mate ondersteund en voorzien van trekvast verbindingen. Bovendien moeten ze als gasleiding herkenbaar zijn. Een PE-gasleiding mag niet warmer worden dan 40 °C (NEN 7244 [2]).

In de overige normen is de volgende informatie te vinden:

- > NEN 1078 [31]. Binnenleidingen moeten afstanden aanhouden van:
 - A. Elektriciteitskabels (kruisingen) 0,5 m.
 - B. Riolen (parallel) 1,5 m.

- > NEN 2078 [32]. Leidingen in tunnels dienen te voldoen aan:
 - A. Verzwaaarde constructie-eisen:
 - i. lasverbindingen toepassen
 - ii. geen appendages aanbrengen
 - iii. alle lassen radiografisch inspecteren indien middellijn groter of gelijk is aan DN 50 en de druk groter of gelijk aan 500 mbar.
 - B. Drievoudige ventilatie per uur in verband met corrosie
 - C. Toegankelijk voor controle.

In de NEN 7244-1 [30] worden algemene aanwijzingen gegeven voor onderlinge afstanden. Hoewel deze afstanden gelden voor ondergrondse leidingen wordt dat niet expliciet vermeld. De aangegeven afstanden zijn:

Kabels ($\leq 25\text{kV}$)	0,3 m.
Kabels ($> 25\text{kV}$)	5,0 m.
Drukloos riool	1,0 m.
Benzineleiding	5,0 m.
Bovengrondse kabels ($> 25\text{kV}$)	25 m.

Explosieveiligheid is omschreven in Richtlijn 1999/92/EG [42]. In de daarbij horende “niet bindende gids voor goede praktijken voor de tenuitvoerlegging van Richtlijn 1999/92/EG” staat als opmerking bij zone 2:

N. B.: Plaatsen in de omgeving van pijpleidingen, waarin brandbare stoffen alleen in duurzaam technisch dichte pijpleidingen worden getransporteerd, zijn geen explosiegevaarlijke plaatsen.

Integrale leiding- en kabel tunnels vallen op grond van deze definitie buiten “explosiegevaarlijke plaatsen”.

Geconcludeerd kan worden dat de eisen aan gasleidingen de aanleg in een bundeling van kabels en leidingen niet onmogelijk maken. Echter eisen ten aanzien van explosieveiligheid zijn nog niet robuust in de regelgeving opgenomen.

3.1.3. WATER

In de Waterleidingwet [43] (artikel 4) is bepaald dat de eigenaar van een waterleidingbedrijf is gehouden zorg te dragen, dat de levering van deugdelijk leidingwater aan de verbruikers in zijn distributiegebied gewaarborgd is in zodanige hoeveelheid en onder zodanige druk als het belang der volksgezondheid vereist. Uit deze bepaling vloeit onder andere voort dat waterbedrijven de verplichting hebben tot het treffen van voorzieningen zodat:

- > De levering van drinkwater te allen tijde wordt gewaarborgd;
- > de kwaliteit van het drinkwater van bron tot watermeter wordt bewaakt;

- > storingen in de drinkwatervoorziening op zo kort mogelijke termijn worden opgeheven.

In het Waterleidingbesluit worden vervolgens eisen geformuleerd waaraan de kwaliteit van het drinkwater moet voldoen. Deze eisen hebben onder andere betrekking op het vermijden van verontreinigingen bij werkzaamheden. Binnen het voorliggende onderzoek is de eis relevant dat de temperatuur van leidingwater aan de tap niet hoger mag zijn dan 25°C. Aangezien de temperatuur van drinkwater, gewonnen uit een oppervlaktewinning, in de zomer relatief hoog kan zijn, is het van belang opwarming van drinkwater in een gebundelde ligging zo veel mogelijk te beperken. Nadrukkelijk moet daarbij ook rekening worden gehouden met opwarming die nog in het resterende leidingdeel tot aan het leveringspunt (en met name ook binnenshuis) kan optreden. Recent zijn er verschillende bepalingen verschenen om het risico in te perken dat mensen besmet raken met legionella.

De Inspectie Volksgezondheid heeft tot taak het toezien op de naleving van de Waterleidingwet en het Waterleidingbesluit. In het bijzonder ziet zij toe op de handhaving van de waterkwaliteit. Ook toetst zij periodiek of de waterleidingbedrijven in staat zijn de watervoorziening te waarborgen in geval van calamiteiten. Waterleidingbedrijven zijn hiervoor verplicht tot het beschikken over een actueel Leveringsplan.

De VEWIN-Richtlijn Drinkwaterleidingen buiten gebouwen (VEWIN 2003/25/5218) [44] geeft voor Nederlandse drinkwaterleidingnetten nadere invulling aan de eisen van NEN-EN 805:2000. [45]. De VEWIN-Richtlijn legt geen expliciete juridische verplichting op aan de bedrijven.

Het is echter wel een door de bedrijfstak opgesteld en geaccepteerd document. De VEWIN-Richtlijn stelt dat de horizontale afstand tot van leidingen met kabels en andere leidingen onder normale omstandigheden minimaal 0,40 m moet bedragen. Op drukke punten of bij kruisingen met kabels en andere leidingen waar deze afstand niet haalbaar is moet minimaal 0,20 m worden aangehouden. Indien dit niet mogelijk is moeten maatregelen getroffen worden om direct contact te vermijden, waarbij het wederzijds overdragen van krachten moet worden voorkomen.

Waterleidingbedrijven hebben geen wettelijke verplichting tot het leveren van bluswater. De VEWIN-Richtlijn stelt dat de capaciteit van het leidingnet primair wordt uitgelegd op het leveren van drinkwater aan verbruikers en het waarborgen van een goede waterkwaliteit. Indien de dimensionering van het leidingnet toereikend is om in bluswater te voorzien, kunnen brandkranen op het drinkwaterleidingnet worden aangesloten, waarbij de capaciteit en de locatie in onderling overleg met de brandweer worden vastgesteld. Indien de capaciteit van het leidingnet onvoldoende is voor het leveren van de gewenste hoeveelheid bluswater, bepaalt het waterbedrijf in overleg met de brandweer of aanpassing van het leidingnet mogelijk is.

Geconcludeerd wordt dat de eisen aan waterleidingen de aanleg in een bundeling van kabels en leidingen niet onmogelijk maken. Er zal

echter rekening gehouden moeten worden met de speciale eisen die de wetgever stelt aan de kwaliteit van de levering van drinkwater, in het bijzonder voor het tegengaan van opwarming.

3.1.4. STADSVARWARMING

Specifieke regelgeving t.a.v. stadsverwarming in bundels is alleen gevonden in NEN-EN 13941 [2003] waar heel summier wordt vermeld dat er speciale aandacht nodig is voor de ondersteuning in de tunnel, het voorkomen van schade bij het inbrengen van de buizen, weerstand bij de verbinding met begraven leidingen en speciale statische condities.

3.1.5. WATERSTAATKUNDIGE WERKEN.

De NEN3651 [2003] en NEN3650 [2003] is van toepassing op leidingen die belangrijke waterstaatkundige werken (dijken, spoorwegen en autowegen) kruisen of daar parallel aan liggen. Indien nodig worden specifieke maatregelen genomen.

3.1.6. LOKALE REGELGEVING

Door het alsmaar groeien van de ondergrondse infrastructuur in met name stedelijke omgevingen worden door gemeenten (en met name de grote steden) plaatselijke verordeningen [38, 39] opgesteld. In deze verordeningen worden de mogelijke plaatsen van kabels en leidingen aangegeven waardoor ook bundelingen (kunnen) ontstaan.

3.2. LITERATUUR ONDERZOEK NAAR RISICO'S, RISICOANALYSE EN CASUÏSTIEK

Er is literatuuronderzoek gedaan naar risicoanalyses over ILT's. Er is daarbij gebruik gemaakt van een digitale informatiedienst, directe zoekopdrachten op Internet, beschikbare literatuur in bedrijfsbibliotheken en informatie verkregen uit persoonlijke contacten. De informatie is in drie categorieën verdeeld:

- > Informatie over risicoanalyses voor ILT's.
- > Literatuur met specifieke informatie over faalkansen
- > Beschrijvingen van maatregelen om falen of gevolgen te beperken

De volledige beschrijving is te vinden in bijlage A. In deze paragraaf worden alleen de belangrijkste conclusies behandeld.

3.2.1. INFORMATIE OVER RISICOANALYSES VOOR ILT'S

In het onderzoek is een aantal publicaties gevonden die specifiek ingaan op de risico's die samenhangen met bundelingen van kabels en leidingen. Het gaat daarbij om de referenties [3], [11-16]. De gevonden risicoanalyses betreffen meestal kwalitatieve risicoanalyses. Bijzonder te vermelden is de beschrijving van de interactie tussen de verschillende netwerken en de kwantitatieve analyse van risico's in een tunnel met auto-, spoor en ander verkeer, waterleidingen, riool, elektriciteit, aardgas, LPG, telecom en ethyleen in [3].

Voor de ILT in de Mahlerlaan (Amsterdam) is een uitgebreide (kwalitatieve) risicoanalyse uitgevoerd [11].



ILT Mahlerlaan – foto Anne Kamphuis

Als belangrijkste geïdentificeerde risico's worden gevonden

- > ontoegankelijkheid van de tunnel;
- > miscommunicatie bij beheer of calamiteuze situaties;
- > letsel bij werkzaamheden in de tunnel;
- > kabelbreuk ≥ 10 kV door werkzaamheden in de leidingen-tunnel.

Geconcludeerd kan worden dat in de literatuur enkele, bruikbare intuïtieve risico-inventarisatie methoden beschikbaar zijn.

3.2.2. LITERATUUR MET SPECIFIEKE INFORMATIE OVER FAALKANSEN

Kwantitatieve gegevens over het falen van kabels en leidingen in tunnels zijn niet gevonden. Wel is er literatuur over infrastructuur in conventionele omstandigheden [16 t/m 18]. Een schatting op basis daarvan voor tunnels kan slechts met voorzichtigheid worden gebruikt. Geconcludeerd wordt dat kwantitatieve gegevens niet voldoende beschikbaar zijn.

3.2.3. BESCHRIJVINGEN VAN MAATREGELEN OM FALEN OF GEVOLGEN TE BEPERKEN

Een lange lijst van risicobeperkende maatregelen is te vinden in “Integrale leidingentunnels, Deel 1” [20]. Ook in [16] is een lijst beschikbaar.

In [21] wordt specifiek een brandwerende muur besproken. Een dergelijke constructie is ook toegepast in de ILT in de Mahlerlaan. In [22] wordt een monitoring systeem beschreven dat is ontwikkeld na een brand in een tunnel in Tokyo. Het is een redundant systeem met alarmeringen, sensoren en communicatiemogelijkheden.

Geconcludeerd wordt dat er vele mogelijkheden beschikbaar zijn om risico's in tunnels te beperken. Informatie met betrekking tot de kosteneffectiviteit van de maatregelen en de daarmee samenhangende risico-inschatting zijn niet in de literatuur gevonden.

3.3. INTERVIEWS

Naast literatuur is er ook veel kennis aanwezig bij ervaringsdeskundigen. Tabel 2 geeft een overzicht van de geïnterviewden. Gevraagd is naar risico-objecten en ervaringsgegevens. Naast deze aspecten is gevraagd hoe de besluitvorming over de keuze van bundeling nu tot stand komt.

Samengevat kan worden gesteld dat er af en toe een risicoanalyse gemaakt wordt. Als zij worden gemaakt zijn dit kwalitatieve risicoanalyses, vaak gemaakt door nutsbedrijven. Vaak wordt gesteld dat gas en elektriciteit niet bij elkaar mogen liggen. Het leidt tot verschillende oplossingen, zoals scheiding van warm en koud en een scheiding van droog en nat. Gezien het beperkte aantal aanwezige bundelingen lijkt er nog geen trend te bestaan. Het lijkt erop dat iedereen het wiel aan het uitvinden is. Tevens is er verschil van mening in hoeverre drinkwateropwarming een risico zou zijn. Overigens wordt gesteld dat kwantitatieve risicoanalyses erg moeilijk zijn te maken.

Materiaalgebruik in leidingentunnels verschilt niet met de situatie in volle grond. Tevens wordt in de B2 situatie amper problemen (duikers, kleine diameter tunnels) gezien.

Verder vallen de volgende zaken op:

- > De bundeling is nooit reden om geen ILT te gebruiken, wel de kosten;
 - > terrorisme lijkt nooit onderdeel van risicoanalyses, wel vandalisme;
 - > regelgeving blijkt het gebruik van ILT's niet tegen te houden.
- Het gebrek aan regelgeving zorgt voor een vertraging in de besluitvorming

Aspecten die worden genoemd zijn:

- > In B2 en B3 situatie is er een lagere kans op breuken of schade door graafwerkzaamheden en grondzettingen;
- > in bundeling is er minder third party interference, door graafwerkzaamheden, heiwerkzaamheden;
- > in de B2 en B3 situatie kan men makkelijker bij kabels en voor inspectie etc. dan in de B0 en B1 situatie;
- > bundeling leidt tot beperkter ruimtebeslag omdat kabels en leidingen gebundeld zijn;
- > als gas vrijkomt in tunnel wordt het gemonitord, in de volle grond niet. Het is positief dat het eerder wordt opgemerkt, maar het kan mogelijk ook sneller tot een onveilige situatie leiden;
- > toegankelijkheid moet goed geregeld worden, zodat leidingen geïnspecteerd kunnen worden, er is een veiligheidsprotocol nodig, de beheerder moet controleren en een veiligheidsplan hebben;
- > wellicht moeten er voor de B2 en B3 situatie afwijkende eisen per leiding komen, bijvoorbeeld dikte of materiaal van leiding;
- > ingang van tunnel voor leidingen is groter, vanwege

- boogstralen;
- > let op ongelijke zettingen bij einde B2 en B3 situaties;
- > aansluitingen vanuit de tunnel zijn lastig. Hoe pas je die in? Hoe blijf je flexibel met het oog op eventuele wijzigingen?;
- > het oplossen van storingen bij calamiteiten is lastiger vanwege de beperkte ruimte in de B1-B3 situaties.

Tabel 2: Overzicht van geïnterviewden*

Functie/taak	Specifiek	Organisatie	Contactpersoon	Aspecten
Netbeheerder	Electra/gas	Eneco	E.A. van Dam	
	Gemeente	Gemeente Arnhem	M. de Ruiter	Riool/ afvaltransport
Netbeheerder	Telefoonbedrijf	KPN	R. Brinkman, W. Lambo en M. Driezen	Communicatie
Netbeheerder	Kabel TV beheerder	UPC		TV-kabel
Tunnelbouwer	Ingenieursbureau	Grontmij	D. de Bijl	Bouwkundig
Tunnelbouwer	Beheerder	Buisleidingenstraat ZWN	K. Haack	Beheer
Beheerder constructie	Beheerder	Gemeente Rotterdam	G.L. Slee	Beheer
Ministerie		VROM	Kuijer en De Jong	Veiligheid
Installatie		GTI	W.W. Persoon	

* Kiwa Gastec, Kema, Nuon-Tecno en TNO zijn niet geïnterviewd omdat deze organisaties al deel namen in de uitvoeringscommissie..

3.4. MAATREGELEN

Maatregelen kunnen aan de bron, de ontvanger en het tussenliggende medium worden genomen. Algemeen heerst de opvatting (uit literatuur en interviews) dat maatregelen aan de bron geprefereerd worden boven maatregelen aan het medium of de ontvanger. Maatregelen kunnen de kans van optreden of de effecten van een gebeurtenis beïnvloeden en hebben daarom een kansreductie of een effectreductie tot gevolg. Beiden leiden per saldo tot een risicoreductie.

Binnen het onderzoek zijn uit de literatuur, uit de interviews en uit een brainstorm met de projectleden een groot aantal maatregelen opgesteld. Vervolgens zijn een aantal gelijklopende maatregelen samengevoegd. Deze zijn te vinden in bijlage D.

Vervolgens zijn in een expertsessie maatregelen verkozen die volgens de experts de grootste reductie in risico opleveren. Dit zijn de zogenaamde ‘blauwe maatregelen’ die zijn meegenomen in de risicoanalyse als risico-reducerende maatregel.

In tabel 3 zijn de “blauwe maatregelen” weergegeven met in de eerste kolom het aantal punten dat ze in de expertsessie hebben gekregen. Blijkbaar wordt de maatregel “plaats en afstand van kabels en leidingen ordenen” met 24 punten als meest kansrijk beoordeeld. De juiste materiaalkeuze komt op een goede tweede plaats.

Tabel 3: Blauwe maatregelen met score.

Score	Maatregel
24	Plaats en afstand van de leidingen en kabels ordenen
23	Materiaal van de leiding (kunststof i.p.v. staal of staal i.p.v. kunststof)
20	Trace's niet zonder meer beschikbaar stellen (incl proefsleuven) Gecontroleerde graafwerkzaamheden middels controles en procedures.
18	Inspecties
17	Toezicht
16	Lekdetectie
15	Grondroerdersregeling
13	Ventileren
11	Preventief vervangen
10	Effecten bodem reduceren
7	Rook- en branddetectie

4. RISICOANALYSE MODEL

4.1. INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de oorzaken en gevolgen van mogelijke ongewenste gebeurtenissen en de (kwantitatieve) relaties daartussen. Verder wordt er een model voorgesteld waarin deze relaties gekwantificeerd worden en waarvan de gevoeligheid wordt getoetst. Tenslotte zullen een aantal maatregelen worden voorgesteld waarmee de risico's beperkt kunnen worden.

4.2. DOEL RISICOANALYSE

Het doel van de methodiek is om een risicoanalyse te kunnen uitvoeren in situaties waarin verschillende bundelingsvormen van kabels en leidingen worden overwogen. Met behulp van de risicoanalyse kunnen de kansen op bepaalde gevolgen van het falen van leidingen, vooral lekkages, worden berekend. Tevens kunnen effecten van risicoreducerende maatregelen zichtbaar gemaakt worden. Voor een overzicht van de soorten gevolgen die in de methodiek zijn meegenomen, wordt verwezen naar paragraaf 4.3 6.

Er zijn binnen het risicoanalyse model vier verschillende bundelingstypen te onderscheiden, zoals eerder toegelicht in hoofdstuk 2 (figuur 1).

Dit model berekent uitsluitend de risico's die bij de bundeling van bepaalde soorten leidingen voorkomen en neemt hierbij niet de kosten die verbonden zijn aan de verschillende alternatieven en eventuele maatregelen in beschouwing. Er wordt vanuit gegaan dat de kabels en leidingen niet alleen een transportfunctie hebben maar ook een distributie functie.

De risicoanalyse betreft alleen de gebruiksfase, niet de aanleg en sloopfase. Volledigheidshalve wordt erop gewezen dat de risico-inventarisatie alleen de technische faalmechanismen betreft en niet de organisatorische faalmechanismen.

4.3. OPZET RISICOANALYSEMODEL

4.3.1. DRAGERS

Bij de risico-inventarisatie is ervan uitgegaan dat de in tabel 4 genoemde kabels en leidingen in een bundeling kunnen worden opgenomen. Daarbij staat aangegeven van welk materiaal de betreffende kabel of leiding is gefabriceerd. Leidingen die niet worden genoemd, zijn niet opgenomen in de risico-inventarisatie. Voor de materiaalkeuze is uitgegaan van het materiaal dat op dit moment het meest wordt toegepast bij de aanleg van nieuwe kabels en leidingen in de volle grond.

Wanneer in een B2 of B3 bundeling een ander materiaal wordt toegepast, wordt dat beschouwd als een maatregel die genomen wordt. Hierop wordt later ingegaan.

Tabel 4: Kabels en leidingen in risico-analyse

Kabel of leiding	Materiaal
Aardgas	Staal of kunststof (PE of PVC)
Drinkwater	Kunststof (PVC), staal en beton in grotere diameters
Elektriciteit	Koper/Kunststof (XLPE, GPLK)
Warmte	Staal
Koude	Staal
RWA riool ³	Beton of kunststof (PE)
Telecom	Glasvezel/Kunststof
Industriële gassen 1	Staal
Industriële gassen 2	Staal
Industriewater	Staal of kunststof
Vloeibare brandstoffen	Staal
DWA riool ⁴	Beton of kunststof (PE)
Stoom	Staal
Perslucht	Staal
Afval	Staal

4.3.2. SYSTEEMBESCHRIJVING

De bundeling van kabels en leidingen wordt beschouwd als een systeem in zijn omgeving. Daarmee kunnen externe invloeden effect uitoefenen op het systeem en vice versa. De grenzen van het systeem zijn voor de gesloten of deels gesloten constructies de overgang tussen tunnelwand en het omringende medium, in de meeste gevallen grond. Er wordt vanuit gegaan dat de leiding ook aftakkingen heeft.

Voor de ongestructureerde en gestructureerde bundeling van kabels en leidingen in de volle grond wordt een andere systeemgrens gehanteerd (zie figuur 2). Voor de gestructureerde bundeling kan een grens worden getrokken door een imaginaire omhullende om de dwarsdoorsnede van het kabel- en leidingenpakket te trekken. Het tussenliggend medium, ook hier in de meeste gevallen grond, wordt dus als een onderdeel van het systeem beschouwd. Voor de ongestructureerde ligging kunnen om elke leiding systeemgrenzen worden getrokken. Zodoende bestaat het systeem uit meerdere mono-utility subsystemen.



Figuur 2: systeemgrenzen voor bundelingen in de volle grond

³ RWA, RegenWaterAfvoer, ook wel genoemd “rioolwater” is de hemelwaterafvoer.

⁴ DWA, DroogWeerAfvoer, ook wel genoemd “riool droog weer” is de vuilwaterafvoer.

4.3.3. MODELKEUZE

Risico is een functie van kans en gevolg. Voor een transparante risico-inventarisatie dienen derhalve alle oorzaak-gevolg aspecten te worden geïnventariseerd. Een voorbeeld: de kans dat iets aan leiding A een bepaald effect heeft op leiding B. Vervolgens kan het effect op leiding B weer iets aan leiding C doen. Ten slotte is er een gevolg voor de maatschappij in termen van slachtoffers, niet-beschikbaarheid en schade.

In dit rapport zijn de oorzaken, de gevolgen en de relaties daartussen in eerste instantie kwalitatief geïnventariseerd, waarna vervolgens kansen zijn ingeschat van de mogelijke gebeurtenissen. Dit is gedaan voor elk van de bundelingsstypen B0 t/m B3 voor de volgende situaties:

- > normale bedrijfssituatie;
- > situatie bij onderhoudswerkzaamheden;
- > extreme situaties (brand, explosies).

Niet alleen de effecten van kabels en leidingen onderling maar ook de effecten van buitenaf en naar buiten toe zijn dus geïnventariseerd.

Er zijn twee mogelijke aanpakken om bovenstaande zaken te kunnen onderzoeken, namelijk met een top-down of een bottom-up aanpak. Beide aanpakken zijn in globale termen beschreven, waarna is aangegeven welke keuze is gemaakt en waarom.

BOTTOM-UP:

- > via een what-if analyse worden de ongewenste gebeurtenissen alsmede de mogelijke maatregelen onderzocht;
- > via what-if analyse worden de sociaal-maatschappelijke en economische gevolgen worden onderzocht.

Hier worden dus sec de oorzaak-gevolg relaties bepaald door middel van literatuur of experts.

TOP-DOWN:

Er zijn al bundelingen van kabels en leidingen toegepast. Hierin zijn bepaalde maatregelen genomen uit angst voor een bepaalde, onbekende gebeurtenis X. Deze onbekende gebeurtenis kan worden achterhaald via een zogenaamd reverse-relationale-risico-analyse. Deze analyse start met een vraag naar (bestaande en soms intuïtief genomen) maatregelen. Vervolgens wordt geanalyseerd welke voordelen de maatregel biedt qua risicoreductie (reductie van de kans op een bedreiging of beperking van een gevolg).

KEUZE

Zowel de bottom-up als de top-down aanpak kunnen worden uitgevoerd door literatuurstudie en interviews met experts. Reeds gerealiseerde bundelingen van kabels en leidingen in binnen- en buitenland kunnen d.m.v. de reverse-analyse worden geanalyseerd. Uit de interviews en het literatuuronderzoek is echter gebleken dat het aantal gerealiseerde bundelingen maar zeer beperkt is. Tevens is gebleken dat zowel kwalitatieve als kwantitatieve oorzaak-gevolg relaties moeilijk zijn aan te geven. De topdown methodiek is daarom

niet toepasbaar en er is dus voor gekozen om uitsluitend maatregelen van andere situaties de bottom-up methode toe te passen.

4.3.4. FALEN VAN EEN LEIDING

Falen van een kabel of leiding kan zijn de uitval of lekkage van een kabel of leiding. Bij lekkage is gedeeltelijke levering nog mogelijk, terwijl bij uitval helemaal geen levering meer kan plaatsvinden omdat de toevoer is afgesloten. Het falen van een kabel of leiding kan worden veroorzaakt door bijvoorbeeld graafwerkzaamheden, onderhoudswerkzaamheden, etc. Hierop wordt in paragraaf 4.3.5 nader ingegaan.

Het directe effect van falen is bedrijfseconomisch van aard voor de eigenaar van de leiding. Deze kan namelijk slechts deels of in het geheel geen product leveren aan zijn klanten. Daarnaast kan het falen van een kabel of leiding leiden tot verschillende gebeurtenissen zoals brand, explosie, corrosie. Deze gebeurtenissen kunnen op hun beurt leiden tot lekkage of uitval van één of meerdere kabels of leidingen in de directe nabijheid. Hierop wordt in paragraaf 4.3.6 nader ingegaan.

4.3.5. OORZAKEN VAN FALEN VAN EEN LEIDING

De oorzaken van falen en het aantal malen dat falen is opgetreden zijn voor veel soorten kabels en leidingen vastgelegd in een database (voor gas- en elektriciteitsdistributie Nestor). Dit betreft echter vrijwel altijd traditionele bundelingen in de volle grond. Tijdens het onderzoek is gebleken dat de informatie uit de databases onvoldoende toepasbaar en gedetailleerd is. Daarom is deze informatie slechts als achtergrond informatie gebruikt en is gebruik gemaakt van de meningen van experts.

In hoofdstuk 2 zijn de gebruikte oorzaken van falen van kabels en leidingen weergegeven. In tabel 5 zijn deze samengevat tesamen met de gebruikte term in het risicoanalyse model.

Tabel 5: gebruikte termen in risicoanalyse model

Oorzaak van falen	Term in risicoanalyse model
Externe corrosie	Ext_corrosie
Externe corrosie bij leiding zonder mantelbuis	Ext_corrosie_2
Interne corrosie	Int_corrosie
Fabricagefouten	Fabricagefouten
Graafschade	Graafwerkzaamheden
Werkzaamheden	Werk_installatie
Werkzaamheden door derden	Werk_installatie-3den
Mechanische belastingen	Mechanische belasting koppelingen
Zettingen algemeen	Zettingen_M
Verschilzettingen aan einde bundeling	Zettingen_E

Falen van een leiding veroorzaakt door vandalisme c.q. terrorisme is buiten beschouwing gelaten vanwege de zeer kleine kans van optreden per kilometer per jaar en de onvoorspelbaarheid van het fenomeen. Ook op dit moment worden geen speciale maatregelen

genomen in de volle grond om te voorkomen dat een kwaadwillend persoon een leiding opgraaft en deze saboteert.

4.3.6. GEVOLGEN VAN FALEN VAN EEN LEIDING

In hoofdstuk 2 zijn de mogelijke gevolgen van het falen van een kabel of leiding beschreven. In tabel 6 zijn de geïdentificeerde gevolgen weergegeven tesamen met de gebruikte term in het risicoanalyse model.

Tabel 6: geïdentificeerde gevolgen van falen

Geïdentificeerd gevolg	Term in risicoanalyse model
Lager rendement van het product	Rendement_lager
Lagere productkwaliteit	Productkwaliteit_lager
Beschadiging van andere leidingen (direct)	Beschadiging_andere_leidingen
Degradatie van andere leidingen (lange termijn)	Degradatie_andere_leidingen
Onveiligheid voor medewerkers	Onveiligheid_medewerkers
Onveiligheid voor omgeving	Onveiligheid_omgeving

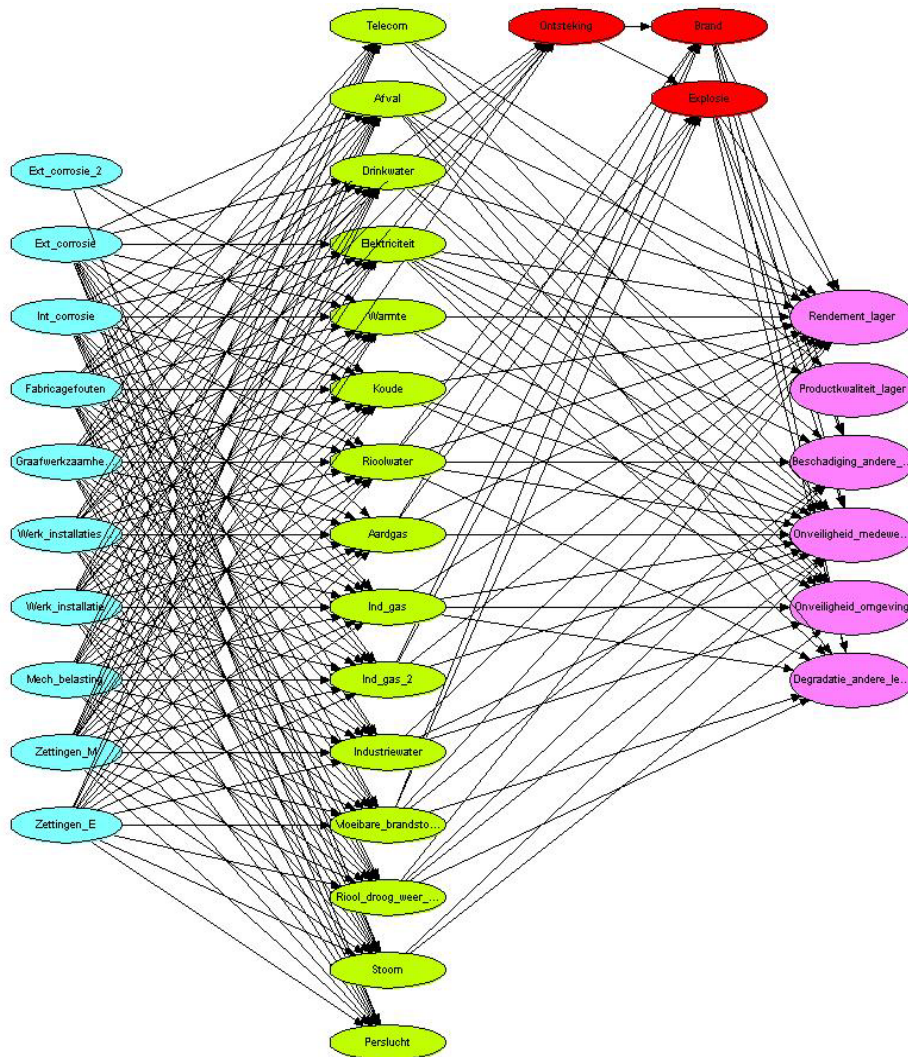
4.3.7. BAYESIAANS NETWERK

Wanneer met de bottom-up methode alle oorzaak-gevolg relaties zijn geïnventariseerd, dienen deze in een geschikt model te worden geplaatst om ermee te kunnen rekenen. In eerste instantie is overwogen om de oorzaak-gevolg relaties in een foutenboom te plaatsen.

Tijdens het onderzoek is gebleken dat de materie zo complex is dat een foutenboom niet voldoet. Daarom is een relationeel netwerk (Bayesiaans Beliefnetwerk, BBN) toegepast. Hierin kan een veelheid aan complexe relaties toch overzichtelijk weergegeven en verwerkt worden. In het netwerk (figuur 3) worden de falende kabels en leidingen, hun faaloorzaken en de gevolgen, voor de verschillende getroffen kabels en leidingen afgebeeld.

Er zijn verschillende commerciële pakketten beschikbaar om Bayesiaanse netwerken in te modelleren. Bij TNO is Hugin Researcher beschikbaar (www.hugin.com).

Voor een uitleg van een Bayesiaans netwerk wordt verwezen naar bijlage A. Hierin wordt beschreven hoe een Bayesiaans netwerk wordt opgezet, hoe de kansen en conditionele kansen worden berekend en wordt een eenvoudig voorbeeld uiteengezet. Meer informatie over de gedane aannamen is te vinden in bijlage B.



Figuur 3: overzicht van het totale netwerk

In het netwerk zijn knopen en pijlen weergegeven. De knopen representeren gebeurtenissen en de pijlen de relaties tussen de gebeurtenissen. Aan de linkerkant van het netwerk zijn alle oorzaken van falende leidingen overzichtelijk onder elkaar weergegeven.

In het midden van het netwerk zijn verticaal alle kabels en leidingen weergegeven, zoals in paragraaf 4.3.1 van dit hoofdstuk genoemd. Onder falen van een leiding is lekkage verstaan, in de breedste zin van het woord. Dus ook het beschadigen van een elektriciteitsleiding leidt tot 'lekkage'. Uitval van kabels en leidingen is niet in het model opgenomen, omdat de gevolgen in termen van rendementsverlies uitsluitend van effect zijn op de leidingeigenaar en daarom geen meerwaarde heeft ten behoeve van de afweging voor een bepaald type bundeling.

De relaties tussen de gebeurtenissen (knopen) in het netwerk worden weergegeven met pijlen. Zoals uit het netwerk valt op te maken hangt alles met alles samen en er zijn maar weinig relaties die niet mogelijk blijken te zijn. Een voorbeeld van een onmogelijkheid is de relatie tussen "drinkwater" en "explosie". Uit het netwerk blijkt dat er geen relatie (pijl) tussen deze twee gebeurtenissen (knopen) is getrokken. Dat betekent dat "(lekkage van) drinkwater" geen oorzaak is van "explosie".

4.3.8. KWANTIFICERING MET BEHULP VAN EXPERT JUDGEMENT

Wanneer de oorzaken en gevolgen van falen en de relaties daartussen bekend zijn, dienen deze gekwantificeerd te worden. In eerste instantie zouden de kansen worden bepaald door middel van de faalfrequenties (hoe vaak is de gebeurtenis opgetreden ten opzichte van de lengte van de bundeling in kilometers). Uit het literatuuronderzoek (hoofdstuk 3) is duidelijk geworden dat deze harde gegevens niet beschikbaar zijn. De kansen zijn daarom bepaald op basis van expert judgement. Hierbij zijn experts op verschillende relevante vakgebieden bijeen gevraagd en door middel van discussies zijn kansen geschat voor verschillende oorzaken, gevolgen en de omvang van lekken. Aangezien het een schatting betreft, zijn alleen orde groottes gevraagd in stappen van factor 10, met als kleinste mogelijke kans 10^{-6} en als grootste mogelijke kans 1. Het betreft hier de kans op een gebeurtenis per km per jaar.

Om de tabellen in een Bayesiaans netwerk te kunnen invullen, zijn de volgende experts (TNO, KEMA, KIWA, NUON-Tecno en KIWA-Gastec) ingezet:

- > Mevr. Ir. R.M.L. Nelisse (TNO);
- > Dr. Ir. P.H. Waarts (TNO);
- > Ir. A.J.M. van Wingerden (KIWA-Gastec);
- > Ing. R. Beuken (KIWA);
- > Ir. E.L. Huijzer (NUON-Tecno);
- > Ir. A. Lombaers (NUON-Tecno);
- > Dr. Ir. H.J. van Breen (NUON);
- > Ir. G.A. Bloemhof (KEMA).

Voor elk type bundeling is voor elke leiding en voor elk van de acht oorzaken de kans gegeven dat de leiding lek gaat door één bepaalde oorzaak. Vervolgens is aangegeven hoe groot de kans is dat dat lek klein, middelgroot of groot is. Deze kansen zijn geïnventariseerd in een Exceltabel en worden daaruit ingelezen in het Bayesiaanse netwerk. In dit geval zijn dus (4 bundelingstypen maal 8 oorzaken maal 14 leidingsoorten) 448 kansen op lekken geschat en (3 lekgroottes maal 8 oorzaken maal 14 leidingsoorten) 336 kansen op lekgroottes. Tevens zijn een aantal kansen ingeschat voor de kans op ontsteking door diverse oorzaken en de kans op uitval van leidingen. Deze laatste bleken niet tot bruikbare oorzaak-gevolg relaties te leiden. In bijlage E zijn de overwegingen weergegeven waarom tot bepaalde kansen is gekomen. Bijlage G laat de uitkomsten in tabellen zien.

In tabel 7 is een onderdeel als voorbeeld uitgelicht. Wij zien daar bijvoorbeeld dat de kans op lekkage van de afvalleiding ten gevolge van interne corrosie gelijk is aan 10^{-4} /km/jaar onafhankelijk van de uitvoering (Bo t/m B3). Voor lekkage als gevolg van zettingen zien we een kans van 10^{-5} /km/jaar voor het deel in de tunnel en een kans 10^{-3} /jaar voor de uiteinden. Deze kansen gelden alleen voor de B2 en B3 situatie. Voor de situatie in volle grond (Bo en B1) is de kans 10^{-5} /km/jaar.

In het rechter deel van tabel 7 staan de kansen gegeven op een bepaalde mate van lekkage, gegeven een bepaalde oorzaak bij bundeling type Bo. Dus gegeven dat de afvalleiding in bundelingstype Bo “lekt” door externe corrosie, dan is de kans op een klein lek 0.95, de kans op een middelgroot lek 0.04 en de kans op een groot lek 0.01. Omdat het hier conditionele kansen betreft (gegeven een lekkage) is de optelling van de kansen in de drie rechterkolommen altijd gelijk aan 1. Naast de verdeling van kansen voor de omvang van de kansen voor bundelingstype Bo zijn deze ook beschikbaar voor de andere bundelingstypen (B1, B2 en B3). Naast een dergelijke tabel voor lekkage van afvalleidingen zijn deze tabellen ook beschikbaar voor alle andere leidingen (zie bijlage G).

Tabel 7: Voorbeeld van kanstabel voor “lekkage” van een afvalleiding

Oorzaak	Kans Bo /km/jaar	Kans B1 /km/jaar	Kans B2 /km/jaar	Kans B3 /km/jaar	lekkage	Bo Klein	Bo Middel	Bo Groot
Externe corrosie	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	afval	0.95	0.04	0.01
Interne corrosie	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	afval	0.87	0.08	0.05
Fabricagefouten	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	afval	0.87	0.08	0.05
Graafschade	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	afval	0.94	0.04	0.02
Werk aan installaties	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	afval	0.90	0.05	0.05
Werk aan installatie derden	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	afval	0.95	0.04	0.01
Mechanische belastingen	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	afval	0.25	0.25	0.5
Zettingen midden	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	afval	0.25	0.25	0.5
Zettingen eind			10 ⁻³	10 ⁻³	afval	0.25	0.25	0.5

Tabel 8: Voorbeeld kanstabel voor de mate van gevolg van ‘lekkage’

Gevolgen		Bo Klein lek	Middel lek	Groot lek
Rendement_lager	geen	1.00	0.00	0.00
	weinig	0.00	0.95	0.05
	veel	0.00	0.05	0.95
Productkwaliteit_lager	geen	nvt	nvt	nvt
	weinig	nvt	nvt	nvt
	veel	nvt	nvt	nvt
Beschadiging_andere_leidingen	geen	1.00	1.00	1.00
	weinig	0.00	0.00	0.00
	veel	0.00	0.00	0.00
Degradatie_andere_leidingen	geen	1.00	1.00	1.00
	weinig	0.00	0.00	0.00
	veel	0.00	0.00	0.00
Onveiligheid_medewerkers	geen	1.00	0.99	0.97
	weinig	0.00	0.01	0.02
	veel	0.00	0.00	0.01
Onveiligheid_omgeving	geen	1.00	0.99	0.97
	weinig	0.00	0.01	0.02
	veel	0.00	0.00	0.01

Voor elk van de bundelingstypen en voor elk van de leidingen is geschat wat de kans op een bepaalde omvang van het gevolg (geen, weinig, veel) is, gegeven dat er een lek (klein, middel, groot) is opgetreden. Er zijn dus (4 bundelingstypen maal 3 lekgroottes maal 3 groottes van de gevolgen maal 14 leidingen) 504 kansen op de omvang van de diverse gevolgen geschat. Daarnaast is voor de speciale situaties brand en explosie hetzelfde gedaan voor de betreffende kabels en leidingen. In tabel 8 wordt een voorbeeld van een kanstabel weergegeven, waarin de kansen op de mate van gevolgen zijn gegeven bij “lekkage” van een afvalleiding. In bijlage G worden de volledige kanstabellen weergegeven. Op de onderste regel in tabel 8 is bijvoorbeeld te zien dat in de Bo situatie, gegeven een klein lek in de afvalleiding, de kans op “veel” onveiligheid voor de omgeving nihil is. Bij een middelgroot lek is deze kans nog steeds nihil, bij een groot lek wordt de kans op “veel” onveiligheid geschat op 0.01. In bijlage G worden dergelijke kansgetallen zijn ook gegeven voor de B1, B2 en B3 situatie en voor alle andere leidingen.

De tabellen in het Bayesiaanse netwerk bestaan niet alleen uit de kans dat één bepaalde oorzaak optreedt, maar ook uit de kans dat die oorzaak niet optreedt of de kans dat meerdere oorzaken optreden. Deze kansen, die niet door de experts zijn ingeschat, zijn afgeleid uit de geschatte kansen. De kans dat een oorzaak niet optreedt is dan eenvoudigweg 1 minus de kans dat de oorzaak wel optreedt.

Aangezien uitsluitend de kansen dat een bepaalde situatie solitair optreedt zijn geïnterpreteerd, is een aanname gedaan voor de kans op een lek wanneer twee oorzaken optreden. Hierbij is ervoor gekozen om de grootste kans van de twee oorzaken als de kans op lek te beschouwen.

AANNAMES

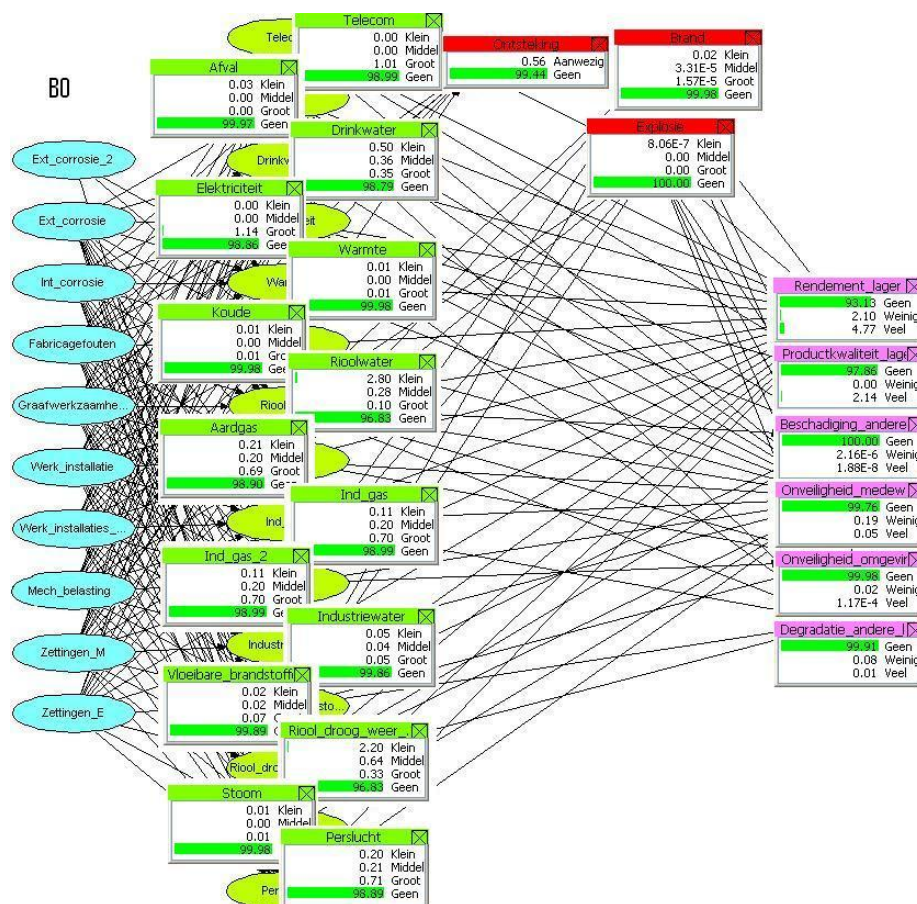
Bij het schatten van de kansen is uitgegaan van de volgende uitgangssituatie voor wat betreft de kabel en leidingen bundeling in de volle grond:

- > Bij het schatten van kansen is uitgegaan van een systeem (Bo, B1, B2 of B3) van 1 km lengte en zijn de kansen ingeschat per kilometer en per jaar;
- > er wordt uitgegaan van het huidige materiaalgebruik en daarom niet van historische cijfers gebaseerd op materialen uit het verleden;
- > de kans op een brand c.q. explosie is de kans op een ontstekingsbron vermenigvuldigd met de kans op een lek van een brandbare of explosieve stof in combinatie met een ontbrand-/ontplofbare concentratie.

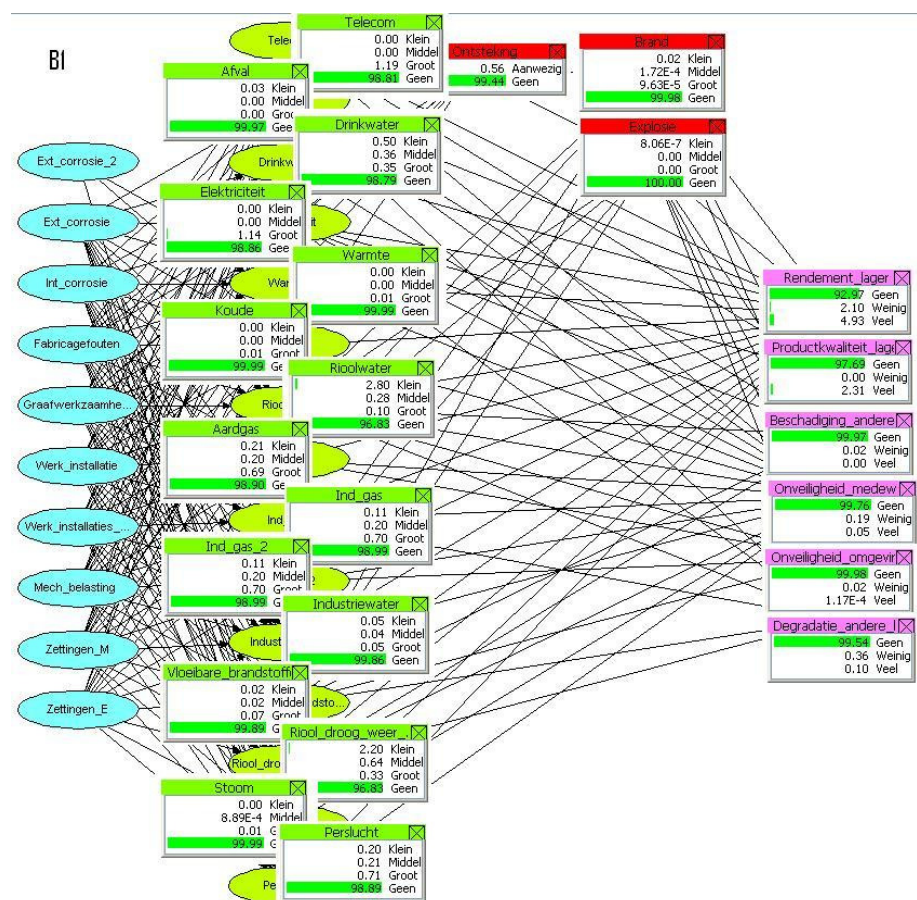
4.4. RESULTATEN

4.4.1. KANSEN VOOR DE VIER BUNDELINGSTYPEN

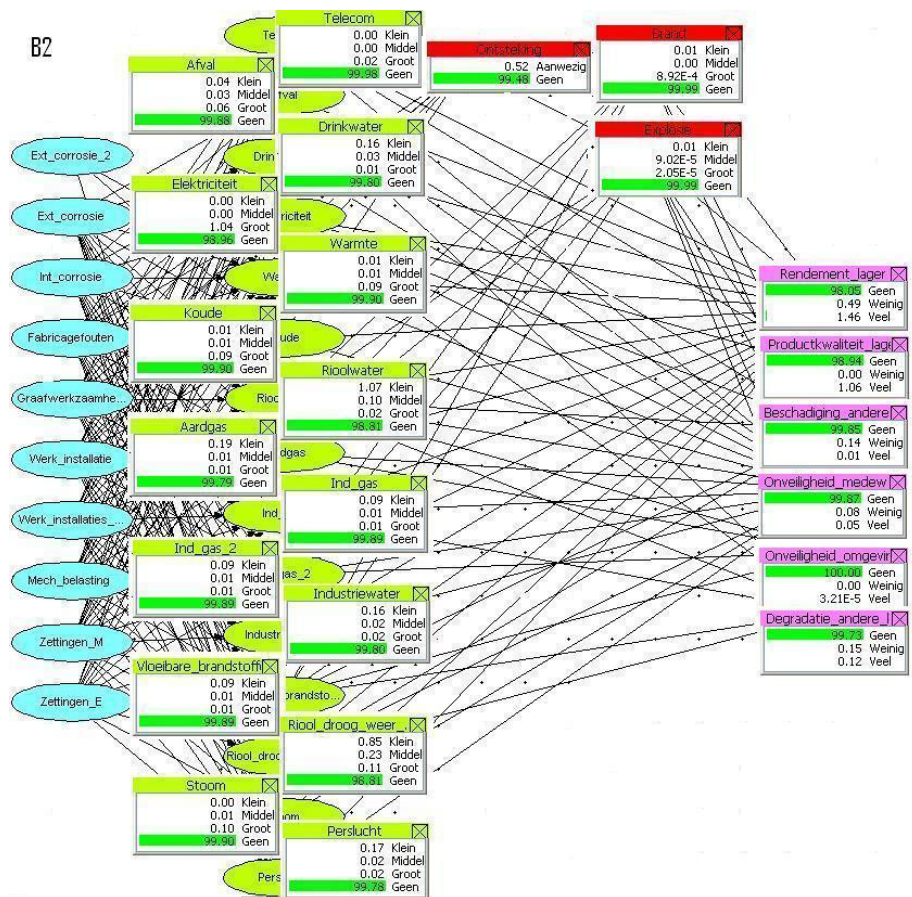
De resultaten van de risicoanalyse voor de 4 bundelingstypen zijn weergegeven in de figuren 4 t/m 7.



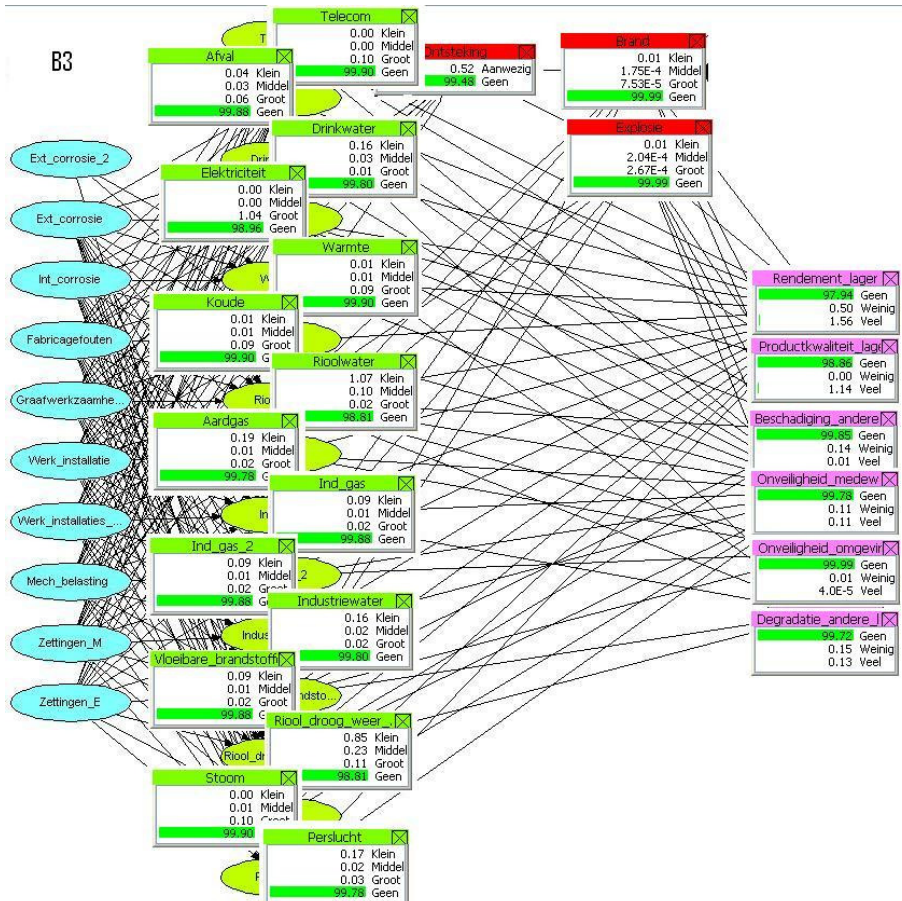
Figuur 4: Resultaten bundelingstype Bo



Figuur 5: Resultaten bundelingstype B1



Figuur 6: Resultaten bundelingstype B2



Figuur7: Resultaten bundelingstype B3

Tabel 9: Samenvatting resultaten Bo t/m B3

Aspect	mate	Bo	B1	B2	B3
Lager Rendement	Weinig	2.1	2.1	4.9E ⁻¹	5.0E ⁻¹
	Veel	4.8	4.9	1.5	1.6
Lagere Product-kwaliteit	Weinig	0.0	0.0	0.0	0.0
	Veel	2.1	2.3	1.1	1.1
Beschadiging andere leidingen	Weinig	2.2E ⁻⁶	2.0E ⁻²	1.4E ⁻¹	1.4E ⁻¹
	Veel	1.9E ⁻⁸	0.0	1.0E ⁻²	1.0E ⁻²
Onveiligheid medewerkers	Weinig	1.9E ⁻¹	1.9E ⁻¹	8.0E ⁻²	1.1E ⁻¹
	Veel	5.0E ⁻²	5.0E ⁻²	5.0E ⁻²	1.1E ⁻¹
Onveiligheid omgeving	Weinig	2.0E ⁻²	2.0E ⁻²	0.0	1.0E ⁻²
	Veel	1.2E ⁻²	1.2E ⁻²	3.2E ⁻³	4.0E ⁻³
Degradatie andere leidingen	Weinig	8.0E ⁻²	3.6E ⁻¹	1.5E ⁻¹	1.5E ⁻¹
	Veel	1.0E ⁻²	1.0E ⁻¹	1.2E ⁻¹	1.3E ⁻¹

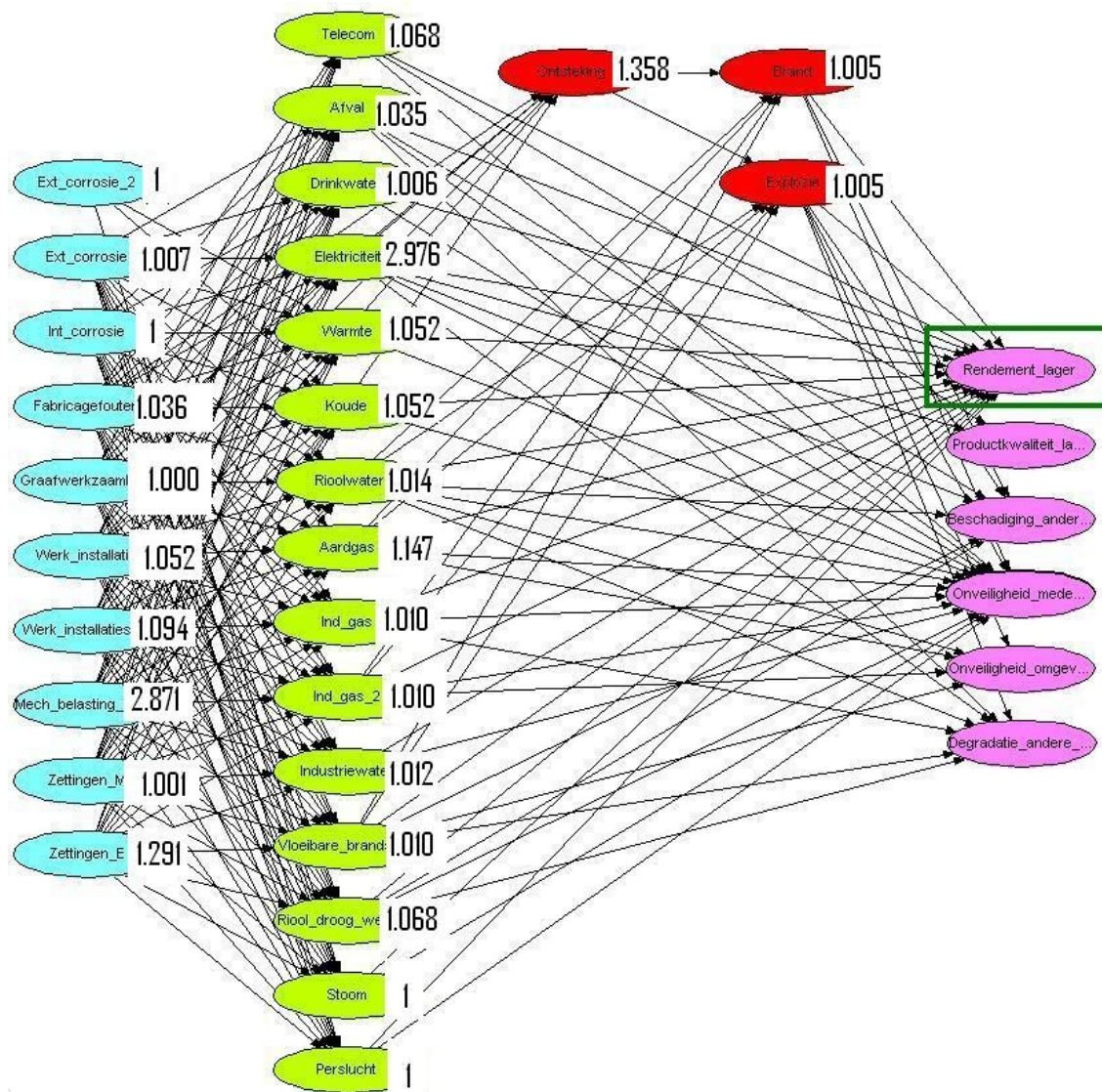
De eenheid van de kans is %/km leiding/jaar.

4.4.2. GEVOELIGHEDEN

De gevoeligheid van een knoop in het netwerk (A) op een bepaalde eindknoop (E, bijvoorbeeld 'rendement lager') wordt uitgedrukt in een getal dat als volgt wordt berekend:

$$PE / P(E \mid \text{niet } A).$$

Hoe hoger dit getal, hoe hoger de gevoeligheid van die knoop. Deze gevoeligheden kunnen helpen bij de prioritering van maatregelen. De gevoeligheden van het netwerk staan weergegeven in figuur 10.



Figuur 10: Gevoeligheden netwerk

4.5. MAATREGELEN

Zoals gesteld in hoofdstuk 3 kunnen maatregelen de kans van optreden of de effecten van een gebeurtenis beïnvloeden en hebben daarom een kansreductie of een effectreductie tot gevolg. Beiden leiden per saldo tot een risicoreductie. Tevens zijn in hoofdstuk 3 de zogenaamde 'blauwe maatregelen' vastgesteld. Hieronder zijn de blauwe maatregelen nogmaals weergegeven. Deze blauwe maatregelen zijn in het relationele netwerk opgenomen.

Tabel 6: Blauwe maatregelen met score (gelijk aan tabel 3).

score	Maatregel
24	Plaats en afstand van de leidingen en kabels ordenen
23	Materiaal van de leiding (kunststof i.p.v. staal of staal i.p.v. kunststof)
20	Trace's niet zonder meer beschikbaar stellen (incl proefsleuven) Gecontroleerde graafwerkzaamheden middels controles en procedures.
18	Inspecties
17	Toezicht
16	Lekdetectie
15	Grondroerdersregeling
13	Ventileren
11	Preventief vervangen
10	Effecten bodem reduceren
7	Rook- en branddetectie

5. CONCLUSIES

Uit onderzoek naar vigerende regelgeving is gebleken dat er geen regelgeving bestaat die bundeling van kabels en leidingen verbiedt. Ook kan worden geconcludeerd dat regelgeving ontbreekt. Ontwerpers van bundelingsvarianten moeten daarom zelf er voor zorg dragen dat de bundelingsvarianten voldoen aan de eisen en wensen die de maatschappij verwacht. Een van de gereedschappen om te zorgen of dit inderdaad het geval is, is het risicomanagement. Onderdeel daarvan is de risicoanalyse, waarin faalmechanismen, faalkansen en gevolgen van falen worden geklassificeerd.

In het onderhavige rapport zijn de faalmechanismen en kansen gebaseerd op (internationale) literatuur en expert judgement.

Het in dit rapport gepresenteerde risicoanalysemodel geeft de mogelijkheid om de risico's te beoordelen voor de bundelingen van een selectie van kabels en leidingen. Daarnaast is het mogelijk de risicoreductie ten gevolge van diverse maatregelen of maatregelencombinaties te berekenen. Het risicoanalyse model is vooralsnog alleen als computermodel bruikbaar.

Omdat de risico's afhankelijk zijn van de specifieke combinatie van kabels en leidingen en de lokale randvoorwaarden, zijn uit de resultaten van het onderzoek geen algemene conclusies te trekken over de risico's. Het risicoanalyse model is ook geen ontwerpgereedschap maar bedoeld als ondersteuning bij de beslissing over de keuze voor een bepaalde bundelingsvariant.

De risico's voor bundeling van kabels en leidingen zijn geclassificeerd op basis van expert judgement. De experts baseren hun schattingen op data uit literatuur en op hun eigen waarnemingen. Daarom kunnen de geschatte kansen afwijken van de werkelijke faalkansen. Falen van een leiding veroorzaakt door vandalisme c.q. terrorisme is buiten beschouwing gelaten vanwege de onvoorspelbaarheid van het fenomeen.

Gezien de complexiteit van het systeem is er voor gekozen om de risicoanalyse onder te brengen in een zogenaamd "Bayesiaans netwerk". Hierin kan een veelheid aan complexe relaties toch overzichtelijk weergegeven en verwerkt worden. Opgemerkt moet worden dat door de grootte van het netwerk dit model nog maar net in de geheugencapaciteit van een moderne PC past (jaar 2006).

In het rapport zijn de uitkomsten van de risicoanalyse weergegeven voor het geval dat alle in het rapport beschouwde kabels en leidingen in de bundeling aanwezig zijn. Hiermee zijn de risico's van de vier bundelingsvarianten (Bo-B3) (Bo-ongeoordend, B1-geordend in de grond, B2-ontoegankelijke tunnel, B3-menstoegankelijke tunnel.) direct te vergelijken.

Uit de risicoanalyse met alle mogelijke kabels en leidingen blijkt dat de risico's in bundeling in de B1-B3 variant slechts in geringe mate

verschilt van de Bo variant (afhankelijk van het soort gevolg iets beter of minder). Alleen het risico van het beschadigen van andere leidingen neemt in de B1-B3 variant flink toe. De absolute waarde van het risico op onveilige situaties voor medewerkers en omgeving lijkt aan de hoge kant, ongeacht of het de ongeordende ligging of een bundelingsvariant betreft. Deze conclusie geldt alleen voor de situatie van bundeling van alle kabels en leidingen, zonder extra maatregelen. Bij andere combinaties kunnen andere conclusies gelden.

In het risicoanalyse model zijn tevens de kansreducties van maatregelen opgenomen die door de experts als meest effectief werden gedacht. Hiermee is snel inzicht te krijgen in het risicoreducerende effect van deze maatregelen. Voor de bundelingsvarianten is dat met menstoegankelijke tunnels kunnen de risico's op onveilige situaties voor medewerkers door beheermaatregelen relatief eenvoudig worden beperkt.

Om de robuustheid van het model nu en in de toekomst te waarborgen wordt aanbevolen:

- > Het model toe te passen op vele praktijksituaties en te onderzoeken of de uitkomsten plausibel zijn;
- > regelmatig te onderzoeken of de geschatte kansen door middel van data kunnen worden geactualiseerd en of maatregelen kunnen worden toegevoegd.

Het risicoanalyse model is nu alleen als computermodel bruikbaar. Hoewel het model door een ieder gebruikt kan worden zal het door de complexiteit van het model in de praktijk waarschijnlijk toch een drempel zijn om het model te gebruiken. Op basis van gevoeligheidsanalyses kan het aantal relevante relaties wellicht gereduceerd worden, waardoor de risicoanalyse in een eenvoudiger tabelvorm of tot een internetapplicatie kan worden uitgewerkt.

Geconcludeerd kan worden dat het project O13 er toe heeft geleid dat voor het eerst in de geschiedenis de kennis op het gebied van risico's voor bundeling van kabels en leidingen nu is samengebracht in één model.

Samen met de andere projecten bij COB en een vereenvoudiging van de toegankelijkheid van het risicoanalysemodel, kan dit op termijn leiden tot het krijgen van een breed gedragen risicoanalyse-methodiek voor de bundeling van kabels en leidingen.

6. LITERATUURLIJST

Nr.

- [1] Tunnels voor kabels en leidingen, KIVI, 1980.
- [2] Promoting the urban utilities tunnel technique using a decision-making approach, Legrand Ludovic; Blanpain Olivier; Buyle-Bodin Francois, University of Lille-LML, Cite Scientifique, Tunnelling and underground space technology, (2004), 19(1), 79-83, 8 refs.
- [3] Risques et réseaux techniques urbains, Philippe Blancher, Économie et humanisme, Institut national du génie urbain, Lyon, 1998.
- [4] Methods for determining and processing probabilities (CPR 12E), Schüller, J.C.H., e.a. Committee for the Prevention of Disasters, 1997.
- [5] Methods for the calculation of physical effects, (CPR 14E (part 1)), van den Bosch, C.J.H., e.a. Committee for the Prevention of Disasters, 1997.
- [6] Methods for the calculation of physical effects, (CPR 14E (part 2)), van den Bosch, C.J.H., e.a. Committee for the Prevention of Disasters, 1997.
- [7] Methods for the determination of possible damage (CPR 16E), van den Bosch, C.J.H., e.a. Committee for the Prevention of Disasters, 1989.
- [8] Guidelines for Quantitative Risk Assessment (CPR 18E), Uijt de Haag, P.A.M., e.a. Committee for the Prevention of Disasters, 1999.
- [9] Der begehbare Leitungsgang, Stein, D., Ernst & Sohn, Berlijn, 2002.
- [10] Safety Analysis of Transport Corridors, Nils Rosmuller, TRAIL research School, Delft, 2001.
- [11] Risicoanalyse Integrale Leidingen Tunnel Mahlerlaan, Amsterdam-Zuid, Huijzer, E.L., 2003.
- [12] Risks and potential hazards in utility tunnels for urban areas, Canto-Perello, J. e.a. , Proceedings of the Institution of Municipal Engineer 156, Maart 2003.
- [13] Indoor atmosphere hazard identification in person entry urban utility tunnels, Curiel-Esparza J; Canto-Perello J (Reprint) , Univ Politecn Valencia, Dept Ingn Construcc & Proyectos Ingn Civil, Camino Vera S-N, E-46071 Valencia, Spain (Reprint), TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY, (SEP 2005) Vol. 20, No. 5, pp. 426-434.
- [14] Human factors engineering in utility design, CANTO-PERELLO J.; CURIEL-ESPARZA J. , Universidad Politecnica de Valencia Camino de Vera, Valencia, Spain, Tunnelling and underground space technology, (2001), 16(3), 211-215.
- [15] Geïntegreerde infrastructuur. (Haalbaarheidsstudie), Wichers-Scheur, P.W.M., e.a. Gastec, 1998.
- [16] Evaluatie gecombineerde Infrastructuur in Tunnels (GliT), van Dijk, R.A., e.a. KEMA, 2003.

- [17] Storingsregistratie cijfers gasdistributienetten 2004., C. Lock, J. Stappenbelt, EnergieNed, KIWA-Gastec Rapportnummer : GT-050581/St.
- [18] Betrouwbaarheid van elektriciteitsnetten in Nederland in 2004, EnergieNed 315126 /KEMA 4051022-TDC 05-50342A.
- [19] Safety performance and Integrity of the Natural Gas Distribution Infrastructure, American Gas Foundation, 2005.
- [20] Integrale leidingentunnels, deel 1 en 2. NSTT, KIVI, 1997.
- [21] Fire wall in cable tunnel, MIWA M.; FUKUSHIKA M.; SAWADA J, Jpn. Telecommun. Rev., (1982), 24(1), 60-64.
- [22] Cable tunnel monitoring system , SHIMIZU F., Japan Telecommunications Review, (1987), 29(2), 30-35.
- [23] Helsinki multi-purpose utility tunnels, Euroheat & power, (1999), 28(12), 12-14.
- [24] Cable tunnel beneath Berlin , Tunnel, (2000)(8), 64, 66.
- [25] Glatt utility tunnel in Zuerich , GAUTSCHI H., Arbeitsgemeinschaft Anschluss stollen Glatt, Zurich, Switzerland, Tunnel, (1998)(4), 47-56.
- [26] Utility tunnel systems in the United Kingdom., Rata, S. (Telecommunications Headquarters, London, UK), 1976 International Conference on Communications. II, New York, NY, USA: IEEE, 1976. p.23/10-15 of xxiii+404 pp.
- [27] Cable tunnel. No-dig alternative for busy London streets, WALLIS S. , Tunnels and tunnelling, (1992), 24(4), 31-35.
- [28] The importance of urban underground land value in project evaluation: a case study of Barcelona's utility tunnel, RIERA P.; PASQUAL J. , Autonomous Univ. Barcelona, Dep. applied economies, 08193 Ballaterne, Spain, Tunnelling and underground space technology, (1992), 7(3), 243-250.
- [29] De wederzijdse beïnvloeding van pijpleidingen en hoogspanningsverbindingen, NPR 2760 november 1991.
- [30] NEN 7244-1, Gasvoorzieningsystemen – Leidingen voor een maximale bedrijfsdruk tot en met 16 bar – deel 1. Algemene functionele eisen. 2002.
- [31] NEN 1078. Voorschriften voor Aardgasinstallaties. GAVO 3.
- [32] NEN 2078. Eisen voor industriële gasinstallaties. 2001.
- [33] Service tunnels in newly built residential areas, Madryas C., Tunnelling and underground space technology, (1990), 5(4), 363-366.
- [34] La conception et l'utilisation des galleries techniques, Casteleyn, L., Tunnels et Ouvrages Souterrains, no 152, blz 131-134, 1999.
- [35] Couts et Bénéfices des Travaux Souterrains Urbains, Brackenier, P., Tunnels et Ouvrages Souterrains, no 104, blz 67-68 1991.
- [36] Services Public Urbains, Huart, C., Tunnels et Ouvrages Souterrains, no 133, blz 23-33. 1996.
- [37] Galeries Industrielles et Contournements Routiers a Lugano et Locarno, Lombardi, J., Tunnels et Ouvrages Souterrains, no 144, blz 353-360, 1997.
- [38] Amsterdam: handbook voor ondergrondse infrastructuur <http://www.noordzuidlijn.amsterdam.nl/live/main/asp?name=pagina&literatuur>.
- [39] Handboek leidingen (leidingverordening) vanaf 'morgen' alleen voor Rotterdam.
www.bds.rotterdam.nl

- [40] NEN 1738:1964 nl, publicatiedatum 01-05-1964 , Plaats van leidingen en kabels in wegen buiten de bebouwde kom.
- [41] NEN 1739:1964 nl ,Publicatiedatum 01-05-1964, Plaats van leidingen en kabels in wegen binnen de bebouwde kom.
- [42] RICHTLIJN 1999/92/EG VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD
van 16 december 1999 betreffende minimumvoorschriften voor de verbetering van de gezondheidsbescherming en van de veiligheid van werknemers die door explosieve atmosferen gevaar kunnen lopen, 28-1-2000.
- [43] Waterleidingwet, Wet van 6 april 1957, houdende regelen met betrekking tot het toezicht op waterleidingbedrijven en tot de organisatie van de openbare drinkwatervoorziening.
- [44] VEWIN-Richtlijn Drinkwaterleidingen buiten gebouwen (VEWIN 2003/25/5218).
- [45] NEN-EN 805:2000 en, Watervoorziening - Eisen aan distributiesystemen buitenshuis.

BIJLAGE A

LITERATUUR ONDERZOEK NAAR RISICO'S EN CASUÏSTIEK

In het literatuur onderzoek is gebruik gemaakt van een digitale informatiedienst, directe zoekopdrachten op Internet, beschikbare literatuur in bedrijfsbibliotheken en informatie verkregen uit persoonlijke contacten.

De op deze wijze verkregen informatie is in zes categorieën te verdelen:

- > Algemene literatuur over risicoanalyses;
- > informatie over risicoanalyses voor ILT's;
- > literatuur met specifieke informatie over faalkansen;
- > beschrijvingen van maatregelen om falen of gevolgen te beperken;
- > voorbeelden van ervaringen met ILT's;
- > andere publicaties.

In de hierna volgende paragrafen worden deze categorieën besproken.

De volledigheid van de aangevraagde literatuur liet te wensen over omdat lang niet alles (en met name de Franstalige literatuur) in Nederland beschikbaar is.

A.1. INLEIDING

Er wordt al lange tijd gepubliceerd over leidingentunnels. De eerste publicaties verschenen in de jaren zestig. Met het groeien van de intensiteit van steden en de benodigde infrastructuur, zowel in capaciteit als in diversiteit, is het aantal kabel- en leidingentunnels flink toegenomen. In "Tunnels voor kabels en leidingen" [1] uit 1980 wordt al een opsomming gemaakt van bestaande tunnels. Daarna worden veel ILT's gerapporteerd waarbij vooral Japan en Frankrijk opvallen. Helaas is de Japanse literatuur niet toegankelijk door het gebruik van de Japanse taal.

In Frankrijk is een nationaal onderzoeksproject opgezet om het gebruik van ILT's te promoten [2]. Daarnaast zijn de risico's van stedelijke netwerken in kaart gebracht in een onderzoek geïnitieerd door het Institut national de génie urbain (te Lyon). (Ingul) [3].

Risico's met betrekking tot ILT's worden in de literatuur beperkt beschreven. Vaak worden mogelijke risico's genoemd maar een kwantificering van de risico's is niet gevonden. In [3] wordt wel een indeling in risicocategorieën genoemd en is een lijst van ongevallen vermeld.

A.2. ALGEMENE LITERATUUR OVER RISICOANALYSES

Deze categorie is uitgebreid en kan in dit kader zeker niet volledig worden besproken. Het algemene werk over bundelingen van kabels en leidingen, “Der begehbare Leitungsgang” [9] geeft een grote hoeveelheid informatie over ILT's. Na een beschrijving van conventionele technieken van leiding- en kabelaanleg waarbij vooral wordt ingegaan op de problemen bij de constructie en bedrijfsvoering wordt uitgebreid stilgestaan bij de leiding tunnel. De volgende aspecten komen aan bod:

- > Geschiedenis van de leidingentunnel;
- > uitvoeringsvormen van leidingentunnels;
- > speciale bouwwerken voor tunnels (in- en uitgangen, kruispunten);
- > van alle media: de toe te passen materialen, diameters, plaats in de tunnel, verbindingen, onderhoud en veiligheidsaspecten;
- > aansluitingen;
- > bedrijfsvoering specifiek voor tunnels (zoals veiligheid, ventilatie, voorzieningen).

In drie volgende hoofdstukken worden het milieu en ecologie, de economie en de juridische aspecten (in Duitsland) van leidingentunnels besproken.

Tenslotte worden praktische voorbeelden gegeven van een bedrijfsvoeringsregeling, een huurcontract en een richtlijn voor de bedrijfsvoering en het onderhoud van leidingentunnels.

Het boek is echter vooral op het Duitse taalgebied gericht (het overgrote deel van de literatuurverwijzingen is naar Duitse publicaties) en een risicoanalyse en faalgegevens zijn niet opgenomen in dit boek.

Naast algemene literatuur [4 t/m 8] voor het berekenen van risico's die in Nederland gebruikt worden, zijn de volgende twee publicaties nader bekeken:

Safety Analysis of Transport Corridors [10]. Dit is een uitvoerige studie waarin het aantal (mogelijke) slachtoffers als criterium is gekozen maar die zich vooral richt op voertuigtransport. Er wordt een algemene risicoanalyse methode voor de onderlinge beïnvloeding gepresenteerd.

Bundeling van transportsegmenten (gelet op interferentie, domino-effect en synergie) leidt op basis van historisch empirische gegevens niet tot een significant hogere ongevalfrequentie, maar voor de gevolgen, op basis van een scenarioanalyse, wel.

De referentie bevat ook een lijst van ongevallen waarin wederzijdse beïnvloeding van wegen en leidingen heeft plaats gevonden maar er zijn te weinig gegevens beschikbaar (lengte van bundeling bijv.) om een kwantitatieve analyse te doen. De belangrijkste conclusies van de studie is dat er maar een beperkt aantal methodieken beschikbaar

voor risicoanalyse.

In het rapport “Sleufloze technieken voor de leidingen-infrastructuur, GWW Techniek, 2003” wordt een hoofdstuk besteed aan risicobeheersing maar deze richt zich met name op risico’s tijdens constructies en dan met name boringen. Er wordt geen kwantitatieve analyse gemaakt.

A.3. INFORMATIE OVER RISICOANALYSES VOOR ILT’S

In het onderzoek is een aantal publicaties gevonden die specifiek ingaan op de risico’s die samenhangen met bundelingen van kabels en leidingen. Het gaat daarbij om de volgende referenties: [3], [11], [12, 13], [14], [15] en [16]. In het navolgende wordt een korte samenvatting van de inhoud en belangrijkste conclusies gegeven.

Risques et réseaux techniques urbains, Philippe Blancher uit 1998 [3]. Dit boek bespreekt een breed spectrum van aspecten met betrekking tot risico’s. De hoofdstukken 1 t/m 3 geven een algemeen overzicht en behandelen de specifieke betrouwbaarheid van waterleidingen en riolen (droogweer- en hemelwaterafvoer).

In hoofdstuk 4 wordt de interactie tussen de verschillende netwerken besproken met een kwantitatieve analyse van risico’s in een tunnel met auto-, spoor en ander verkeer, waterleidingen, riool, elektriciteit, aardgas, LPG, telecom en ethyleen:

Een overzicht van de onderlinge beïnvloedingen wordt gepresenteerd in de volgende tabel; een A betekent Agressief naar de ander netwerken en een V (vulnerable) betekent kwetsbaar voor andere netwerken, zo is het spoor agressief voor het overige verkeer maar kwetsbaar voor elektriciteit).

Tabel 2: onderlinge beïnvloeding volgens [3]

/→	Autoweg	Overig verkeer	Water	Riool	Elektriciteit	Aardgas	Spoor	Telecom	LPG	Ethyleen
Autoweg		A								
Overig verkeer	A				V					
Water				A	V			V		
Riool										
Elektriciteit		A	A	A	V	A		A	A	A
Aardgas	A	A			V	V		V		
Spoor	A	A			V			V		
Telecom			A	A	V		A	V	A	A
LPG	A	A			V			V		
Ethyleen					V					

Voor ieder netwerk is de waarschijnlijkheid, de hevigheid en de hoogte van de kosten bepaald op een schaal oplopend van 1 naar 4

met betrekking tot schade, slachtoffers, milieuschade en imagoverlies voor de stad door uitval van het betreffende netwerk, omgevingsinvloeden, uitval van een ander netwerk of een ongeval bij een ander netwerk. In tabelvorm voor een autoweg wordt dit:

Tabel 3: Klasse indeling voor risico's van een autoweg. Bijvoorbeeld worden voor uitval van de weg (2^e rij) en met betrekking tot slachtoffers (3^e kolom) de kans op 3 (bovengemiddeld), de ernst op 3 (bovengemiddeld) en de kosten op 4 (hoog) ingeschat.

Autoweg	Schade	Slachtoffers	Milieu-schade	Imagoverlies
Uitval van de weg	2 3 2	3 3 4	2 2 4	3 2 2
Invloed door omgeving	3 2	1 3 4	2 4	1 2 2
Uitval van een ander netwerk	3 3 2	2 3 4	1 2 4	2 2 2
Ongeval in een ander netwerk	2 3 2	3 3 4	3 2 4	2 2 2

Dit wordt voor een specifieke situatie per netwerk samengevat in een algemene synthese tabel.

Verder wordt er in dit boek aandacht besteed aan de invloed door en op een elektriciteitsnetwerk, het risico van overstromingen en risicobeheersingmaatregelen. Tenslotte volgt een lijst van ongevallen. Opvallend is dat in de literatuurverwijzingen vrijwel alleen Franse literatuur wordt aangehaald.

Risicoanalyse Integrale Leidingen Tunnel Mahlerlaan, Amsterdam-Zuid [11]

In dit rapport zijn 24 mogelijke risico's voor veiligheid en/of leveringszekerheid geïdentificeerd en met een intuïtieve methode gerangschikt. Voor de 4 grootste risico's is daarna een nadere schatting gemaakt van de waarschijnlijkheid en de gevolgen voor veiligheid en leveringszekerheid (kosten zijn niet meegenomen in de analyse) door een indeling in 4 categorieën. De 4 belangrijkste geïdentificeerde risico's zijn:

- > ontoegankelijkheid van de tunnel;
- > miscommunicatie bij beheer of calamiteuze situaties;
- > letsel bij werkzaamheden in de tunnel;
- > kabelbreuk ≥ 10 kV door werkzaamheden in de leidingen-tunnel.

Risks and potential hazards in utility tunnels for urban areas [12] en Indoor atmosphere hazard identification in person entry urban utility tunnels [13]. Het betreft hier een inventarisatie van risico's per utiliteit. De volgende conclusies en aanbevelingen worden gedaan:

- > Elektriciteit. Aanbrengen van isolatie systemen en spanningsloos werken, veilig en explosievrij gereedschap gebruiken, Kabels vormen de belangrijkste brandstof bij tunnelbranden en de brandweer zal niet graag blussen in een met zwarte rook gevulde tunnel in de aanwezigheid van kabels op hoge spanning;
- > Water. In 1989 verdronken twee onderhoudsmensen toen een explosie van een ketel de waterleiding in de tunnel deed scheuren. Een systeem (afvoerpompen) om overstroming te voorkomen moet worden overwogen;
- > Rioolsystemen kunnen door lekkage leiden tot giftige, brandbare of explosieve dampen en overstromingen. Indien dat nodig is moet de luchtkwaliteit worden bewaakt en/of ademapparatuur beschikbaar zijn. Aangeraden wordt rioolsystemen niet in tunnels op te nemen. Als dat niet mogelijk is moet het rioolsysteem worden geïsoleerd en het regenwater apart af te voeren;
- > Koelwaterleidingen. Risico's zijn de lucht bij ontluichten van leidingen (CO, H₂S, Koolwaterstoffen en zuurstofgebrek) en legionella. Veiligheidsmiddelen (bril, gaskwaliteitsmeter, adembeveiliging) moeten gebruikt worden;
- > Stoom. Stoomlekken en eventueel asbest (in oudere tunnels) kunnen risico's zijn;
- > Gas. Hierbij worden de risico's van brand en explosie genoemd.

Van dezelfde auteurs is ook een publicatie over ergonomische aspecten voor werken in tunnels[14].

Geïntegreerde infrastructuur [15] Hierin is de haalbaarheid bestudeerd van een bundeling van aardgas, elektriciteit, warmte/koude, telecommunicatie, CAI, drink- en afvalwater in verschillende systemen en plaatsen (in de straat, vlak bij de gevel, in de kruipruimten). De veiligheid wordt slechts globaal beschouwd. De aspecten van een kleinere kans van graafschade en de noodzaak van gasdetectie in kokers worden genoemd.

Evaluatie gecombineerde Infrastructuur in Tunnels (GIiT) [16]. Deze studie is ook verricht voor de Mahlerlaan. In een brainstormsessie (Continuon, Nuon, Kema, TNO, Gastec) zijn van 15 systemen de onderlinge beïnvloedingen tijdens normale en abnormale omstandigheden in kaart gebracht en een intuïtieve inschatting gemaakt van de waarschijnlijkheid. De risico's zijn in 3 tabellen gepresenteerd en een lijst van maatregelen is voorgesteld. Van ongewenste gebeurtenissen wordt alleen financiële schade meegewogen. De volgende aspecten worden besproken:

- > Grondwerk en tunnel;
- > Mechanische installaties in de tunnel;
- > Beheersorganisatie en aansprakelijkheid;
- > Ventilatie en luchtbehandeling;
- > Waterhuishouding in de tunnel;
- > Corrosievorming in de tunnel;
- > Veiligheid en gezondheid;
- > Elektromagnetische compatibiliteit;
- > Afscherming en aarding;

- > Brandblusinstallatie;
- > Ventilatie;
- > Tunnel overdrukbeveiliging;
- > Verwarming;
- > Aansprakelijkheid;
- > Koeling;
- > Drainage;
- > Technische installaties;
- > Afschakelmogelijkheden;
- > Procedures en training;
- > Redundante infrastructuur;
- > Compartimentering.

Conclusies: In de literatuur zijn enkele, bruikbare intuïtieve risico-inventarisatie methoden beschikbaar.

A.4. VOORBEELDEN VAN ERVARINGEN MET BUNDELINGEN VAN KABELS EN LEIDINGEN

Er zijn veel publicaties verschenen die een specifieke tunnel beschrijven:

- > Helsinki [23]. Hierin wordt een globale beschrijving gegeven van de meer dan 200 km lange tunnel in Helsinki. Er wordt vermeld dat een risicoanalyse is uitgevoerd maar deze is (nog) niet beschikbaar;
- > Berlijn [24]. De beschreven tunnel van 11,5 km bevat een aantal 380 kV kabels. Ventilatie is nodig om de temperatuur laag genoeg te houden;
- > Zürich [25]. Deze 5,3 km lange tunnel is gebouwd voor de afvoer van afvalwater. Er is geen informatie over risico's;
- > Engeland [26]. Dit is een wat oudere publicatie waarin slechts wordt vermeld dat er geen problemen zouden moeten zijn indien de veiligheidsregels goed worden nageleefd en de constructie goed uitgevoerd;
- > Londen [27]. Hierin wordt de aanleg van een tunnel van 2 km beschreven voor een 132kV kabel in Londen. Constructie risico's worden slecht kort aangehaald;
- > Barcelona [28]. Dit artikel bespreekt met name de kosteneffectiviteit van de tunnel. Er wordt geen melding gemaakt van risico's;
- > Parijs [36]. Hierin worden een aantal tunnels in Parijs en de kosten ervan omschreven;
- > Lugano en Locarno [37]. De tunnels voor afvalwater, water, elektriciteit en telecom voor de industrie rond deze twee plaatsen worden als voorbeeld genoemd voor andere Europese steden. Om veiligheidsredenen is gas niet in deze utiliteitstunnels gelegd.

CONCLUSIE:

Er kunnen geen bruikbare gegevens voor een risicoanalyse worden verkregen uit deze publicaties.

A.5. ANDERE PUBLICATIES

In [33] wordt de mogelijkheid van een bundeling van kabels en leidingen in een nieuwbouwwijk besproken. De conclusies zijn:

Er ontstaan complexe problemen om tunnels af te stemmen op de technische infrastructuur en de bouwactiviteiten. Er wordt een intensieve samenwerking tussen ondergrondse netwerkontwerpers, stadsplanning en architecten aanbevolen zodat de vereisten van de ondergrondse infrastructuur helder worden, de bouw glad verloopt en de lengte van de tunnel wordt geminimaliseerd.

In [2] wordt beschreven hoe een beslissingsmethodiek wordt toegepast op het stimuleren van bundelingen van kabels en leidingen. Er wordt daarin gebruik gemaakt van de multicriteria methode ELECTRE. Dit is een softwaretool.

In [34] wordt een beeld geschetst van de ontwikkelingen in België en worden een aantal kosten vergelijkingen gemaakt. Alleen het aspect van waterinstroming wordt besproken. In [35] worden een aantal aspecten van een beslismodel genoemd (maatschappelijke kosten, verkeer, overlast voor bedrijven en milieu). Risico's worden niet genoemd.

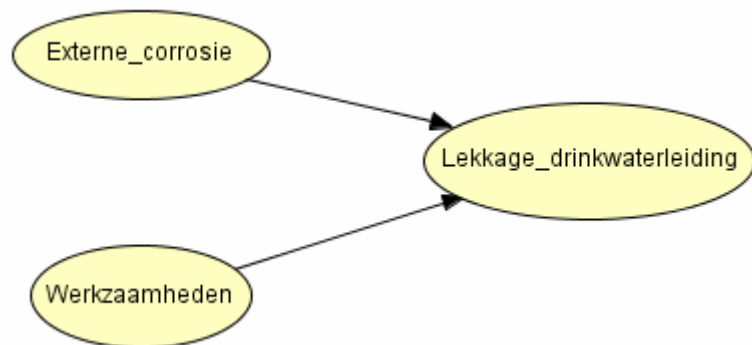
BIJLAGE B

TOELICHTING OP BAYESIAANSE NETWERKEN – VOORBEELD

Er zijn verschillende commerciële pakketten beschikbaar om Bayesiaanse netwerken in te modelleren. Bij TNO is Hugin Researcher beschikbaar (www.hugin.com).

Om de kansen van optreden van een ongewenste gebeurtenis (falen van een leiding) te modelleren zijn alle mogelijke oorzaken van die ongewenste gebeurtenis geïnventariseerd.

Een (vereenvoudigd) voorbeeld; lekkage van een waterleiding kan externe corrosie en werkzaamheden als oorzaak hebben. De relaties tussen de oorzaken en de ongewenste gebeurtenis zijn logisch en het Bayesiaanse netwerk er dan als volgt uit (figuur A1).



Figuur A1: Bayesiaans netwerk van een lekkage van de drinkwaterleiding

De knopen in het netwerk representeren de gebeurtenissen, de pijlen representeren de relaties tussen de gebeurtenissen: de knoop aan het begin van de pijl is een mogelijke oorzaak van de knoop aan het uiteinde van de pijl.

De knoop “Lekkage drinkwaterleiding” wordt de ‘child node’ genoemd, met de knopen “Externe corrosie” en “Werkzaamheden” als ‘parent nodes’. Uiteraard kan dit netwerk op verschillende manieren worden uitgebreid: het optreden van een lekkage van de drinkwaterleiding kan veroorzaakt worden door andere oorzaken die nog niet in het netwerk zijn opgenomen. Ook kan een lekkage van de drinkwaterleiding leiden tot bepaalde gevolgen die nog niet in het voorbeeldnetwerk zijn opgenomen. De knoop “Lekkage drinkwaterleiding” wordt dan zelf een parent node, met het gevolg als child node. Ook is het mogelijk om meerdere leidingen toe te voegen.

KANSEN VAN GEBEURTENISSEN

De volgende stap is om in het network de kansen van de gebeurtenissen aan te geven. Deze kansen zijn in dit onderzoek bepaald door middel van inschattingen van experts.

Aangenomen dat de kans van optreden van externe corrosie wordt gesteld op 10%. Daaruit volgt dat de kans dat externe corrosie niet optreedt gelijk is aan 90%. Dit wordt als volgt genoteerd:

$$P(\text{Externe corrosie}) = 0.1;$$

$$P(\text{Geen externe corrosie}) = 0.9.$$

Op dezelfde manier nemen we aan dat:

$$P(\text{Werkzaamheden}) = 0.2;$$

$$P(\text{Geen werkzaamheden}) = 0.8.$$

CONDITIONELE KANSEN

Net als het optreden van de gebeurtenissen zijn ook de relaties tussen de gebeurtenissen onzeker: het optreden van externe corrosie leidt niet in alle gevallen tot een lekkage in de drinkwaterleiding. Met andere woorden: er is een kans op lekkage van de drinkwaterleiding, gegeven het optreden van externe corrosie. Dit wordt een causale kans genoemd en wordt als volgt genoteerd:

$$P(\text{Lekkage drinkwaterleiding} \mid \text{externe corrosie}).^5$$

Echter, in dit voorbeeld is externe corrosie niet de enige oorzaak van een lekkage in de waterleiding: ook werkzaamheden kunnen tot een lekkage leiden. Dat betekent dat de kans op een lekkage, gegeven zowel externe corrosie als werkzaamheden ook bestaat:

$$P(\text{Lekkage drinkwaterleiding} \mid \text{externe corrosie} \cap \text{werkzaamheden}).^6$$

Om redenen van leesbaarheid, wordt nu geschreven:

Externe corrosie = A;

Werkzaamheden = B;

Lekkage drinkwaterleiding = C;

Volgens de “Law of Total Probability”: is de kans op lekkage van de drinkwaterleiding dan als volgt te schrijven:

$$\begin{aligned} P(C) &= P(C \mid A \cap B) * P(A \cap B) + \\ &P(C \mid A \cap \underline{B}) * P(A \cap \underline{B}) + \\ &P(C \mid \underline{A} \cap B) * P(\underline{A} \cap B) + \\ &P(C \mid \underline{A} \cap \underline{B}) * P(\underline{A} \cap \underline{B}) \end{aligned} \quad (\text{vergelijking 1})$$

N.B.: $P(\underline{A})$ = de kans dat A niet optreedt.

⁵ ‘|’ moet worden gelezen als ‘gegeven’.

⁶ ‘ $\cap$ ’ must be read as ‘and’.

Aangenomen dat de volgende conditionele kansen zijn gevonden:

$$P(C | A \cap B) = 0.8;$$

$$P(C | A \cap \underline{B}) = 0.6;$$

$$P(C | \underline{A} \cap B) = 0.4;$$

$$P(C | \underline{A} \cap \underline{B}) = 0.$$

Vanwege de onafhankelijkheid tussen de twee parent nodes, kan $P(A \cap B)$ worden berekend als $P(A) * P(B)$. Hiermee kan vergelijking 1 als volgt worden geschreven:

$$\begin{aligned} P(C) = & P(C | A \cap B) * P(A) P(B) + \\ & P(C | A \cap \underline{B}) * P(A) P(\underline{B}) + \\ & P(C | \underline{A} \cap B) * P(\underline{A}) P(B) + \\ & P(C | \underline{A} \cap \underline{B}) * P(\underline{A}) P(\underline{B}) \end{aligned} \quad (\text{vergelijking 2})$$

Substitutie van de (causale kansen) in vergelijking 2 geeft hiermee:

$$\begin{aligned} P(C) = & 0.8 * 0.1 * 0.2 + \\ & 0.6 * 0.1 * 0.8 + \\ & 0.4 * 0.9 * 0.2 + \\ & 0 * 0.9 * 0.8 = 0.136 \end{aligned} \quad (\text{vergelijking 3})$$

Een Bayesiaans Netwerk software pakket zoals Hugin Researcher is niet alleen in staat om de gebeurtenissen en de relaties ertussen te visualiseren, maar ook om de kansen van de child nodes te berekenen. De noodzakelijke input bestaat uit:

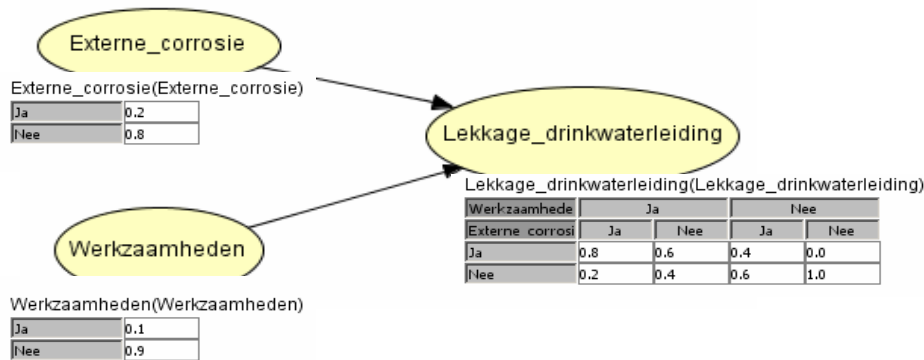
- > De kansen van de parent nodes;
- > de conditionele kansen van de child nodes.

In een Bayesiaans Netwerk worden deze causale kansen gecompileerd in zogenaamde 'causal probability tables' (causale kansentabellen). Elke child node in een Bayesiaans Netwerk heeft een dergelijk causale kansentabel. Tabel A1 laat de causale kansentabel zien van Leckage drinkwaterleiding.

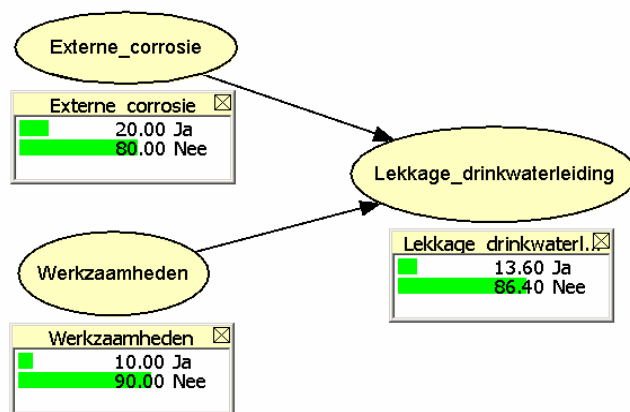
Tabel A1

Externe corrosie (A)		Ja		Nee	
Werkzaamheden (B)		Ja	Nee	Ja	Nee
Leckage drinkwaterleiding (C)	Ja	$P(C A \cap B)$	$P(C A \cap \underline{B})$	$P(C \underline{A} \cap B)$	$P(C \underline{A} \cap \underline{B})$
	Nee				

Figuur B2 laat de input in Hugin Researcher zien die noodzakelijk is voor de berekening van het netwerk in figuur B1. Figuur B3 laat de resultaten na berekening zien. Uit de berekening blijkt dat de uitkomst $P(\text{Leckage drinkwaterleiding})$ overeenkomt met de handmatig uitgevoerde berekening (vergelijking 3): Hugin geeft de uitkomst in procenten: een kans van 13.6 % (figuur B3) = 0.136 (vergelijking 3).

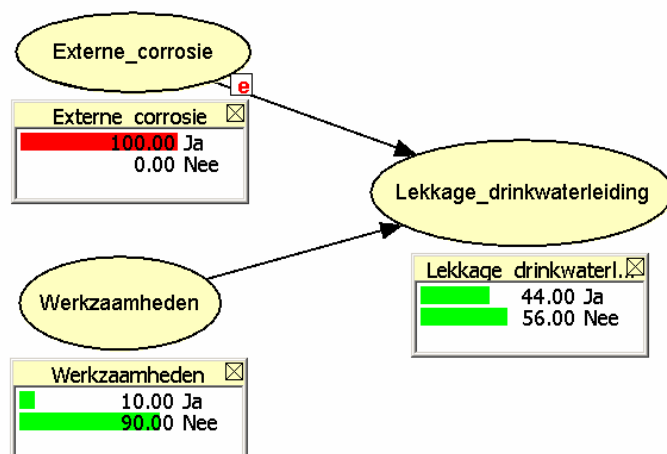


Figuur B2: Berekening van het Bayesiaans Network: Input



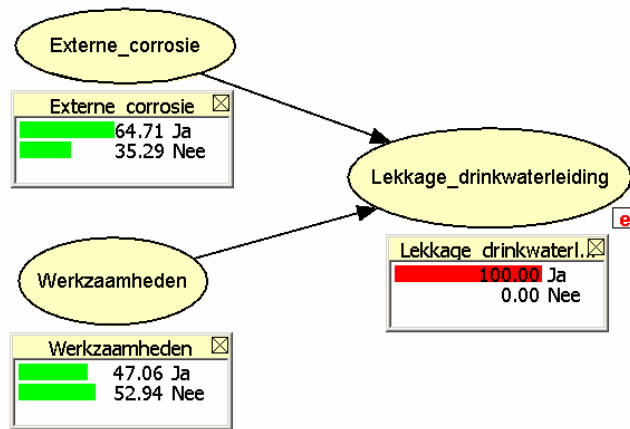
Figuur B3: Berekening van het Bayesiaanse Network: Output

Eén van de voordelen van een Bayesiaans network is dat het effect van nieuwe waarnemingen gemakkelijk kan worden geïmplementeerd en berekend in het network. Wanneer aangenomen wordt dat externe corrosie is geobserveerd en men wil weten wat de kans op lekkage van de drinkwaterleiding is gegeven die externe corrosie, dan kan dit eenvoudig worden berekend door de kans van optreden van externe corrosie naar 100% aan te passen. Figuur B4 laat de kans op lekkage van de drinkwaterleiding zien, die is gestegen van 13.6% (FiguurB3) tot 44%.



Figuur B4: Externe corrosie is waargenomen.

Wanneer aangenomen wordt dat in plaats van externe corrosie nu daadwerkelijk een lekkage van de drinkwaterleiding wordt waargenomen. Figuur B5 laat zien dat er een kans is van bijna 65% dat de lekkage een gevolg is van externe corrosie en dat er een kans van ongeveer 47% is dat werkzaamheden de lekkage veroorzaken. Deze omgekeerde (inverse) berekeningen kunnen helpen om beslissingen te nemen over mogelijke maatregelen.



Figuur B5: Waargenomen lekkage van de drinkwaterleiding.

BIJLAGE C

TOELICHTING OP BAYESIAANSE NETWERKEN – AANNAMEN

Er is een tweetal belangrijke aannamen gedaan om het netwerk compleet te maken. Deze kunnen als volgt uitgelegd worden. De experts is gevraagd de kans te geven op een lek van een leiding door één oorzaak (enkelvoudige oorzaak). Echter, om het netwerk compleet te maken moet ook de kans op een lek gegeven een combinatie van oorzaken bekend zijn. Omdat het gezien de veelheid van de combinaties welhaast onmogelijk is om voor al deze combinaties een kans in te schatten is er gezocht om met de al gevraagde (enkelvoudige) kansen een uitspraak te doen over deze ontbrekende gecombineerde kansen.

De kans op een lek gegeven meerdere oorzaken wordt benaderd door de kansen voor ieder van deze oorzaken afzonderlijk te sommeren, met een maximum van 1. Deze benadering is een duidelijke bovengrens voor deze kans en daarmee een conservatieve aanname. Wanneer men deze aanname rücksichtslos toepast dan kan het voorkomen dat de som van de kansen in de kolommen groter dan 1 wordt. In dat geval wordt, na het toepassen van deze bovengrens, normalisatie van de kansen toegepast, zodanig dat de som van de kansen gelijk is aan 1. Hieronder wordt met een voorbeeld aangegeven hoe dat in de praktijk is gedaan.

Tabel B1: De conditionele kanstabel voor een aardgas lek gegeven graafschade en zettingen.

Graafschade	Wel		Geen	
Zettingen	Wel	Geen	Wel	Geen
Groot	A	0.3	0.2	0
Middel	B	0.3	0.1	0
Klein	C	0.1	0.4	0
Geen	D	0.3	0.3	1
	Kolom 1	Kolom 2	Kolom 3	Kolom 4

In Tabel B1 is te zien dat alleen kolom 1 nog geen elementen bevat, doordat deze niet door de experts zijn geschat. Kolom 1 wordt volgens de bovengrens benadering de som van kolom 2 en kolom 3, dus: $A=0.5$ ($0.3 + 0.2$), $B=0.4$ ($0.3 + 0.1$), $C=0.5$ ($0.1 + 0.4$) $D=0.6$ ($0.3 + 0.3$). De som van de kansen in deze kolom is nu 2 ($0.5+0.4+0.5+0.6$). Dit is niet juist, want de som van een kolom moet altijd 1 zijn. Een gewone normalisatie zou opleveren: $A = 0.25$ ($0.5/2$), $B = 0.2$ ($0.4/2$), $C = 0.25$ ($0.5/2$), $D = 0.3$ ($0.6/2$). Nu is de som van deze kolom weer netjes 1 ($0.25 + 0.2 + 0.25 + 0.3$). Echter, de kans op een groot lek gegeven graafschade EN zettingen (in dit geval A), is nu kleiner dan de kans op een lek gegeven (alleen) graafschade (dus geen zettingen). Dit is niet logisch. De kans op een groot lek wordt nu onderschat. Daarom wordt een conservatieve oplossing gekozen zodat de kans

op grote lekken in elk geval niet onderschat worden: de kans op een groot lek gegeven graafschade en zettingen wordt de som van de kans op een groot lek graafschade en de kans op een groot lek gegeven zettingen. Dit betekent dat A wordt $0.3 + 0.2 = 0.5$. B wordt $0.3 + 0.1 = 0.4$. Voor C en D blijft nu in totaal nog 0.1 over. Volgende de toegepaste regel wordt C: $0.1 + 0.4 = 0.5$. Echter de som van A, B en C is nu 1.4 . Omdat de som maximaal 1 mag zijn, wordt C nu 0.1 . De kans op geen lek (D) zou moeten zijn 0.6 ($0.3 + 0.3$). Echter de som van A, B, C en D is nu $0.5 + 0.4 + 0.1 + 0.6 = 1.6$. D wordt dus nu 0 . Het verschil tussen beide methoden staat weergegeven in onderstaande tabel.

	Normalisatie	Conservatieve methode
A	0.25	0.5
B	0.2	0.4
C	0.25	0.1
D	0.3	0
Som	1	1

De gewone normalisatie kan leiden tot een onderschatting van de kans op een groot lek en een overschatting van de kans op een klein lek. De conservatieve methode kan juist leiden tot een onderschatting van de kans op klein lek en een overschatting van de kans op een groot lek. Risico's zullen met de conservatieve methode niet onderschat worden, wat met de gewone normalisatiemethode wel het geval kan zijn.

Op de hierboven beschreven manier wordt ook een kanstabel voor brand en explosie aangevuld. De kanstabel voor gevolgen gebeurt anders. Dit komt omdat dan niet alleen een lek kan optreden maar ook een brand en/of explosie. De gevolgen zijn door de experts geschat gegeven één (enkelvoudige) gebeurtenis.

Geheel analoog aan het hierboven beschrevene wordt een tabel aangevuld met dat verschil dat bij een lek in combinatie met een explosie en/of brand niet de som van de kansen wordt genomen maar het maximum van beide kansen. Dit omdat een lek de oorzaak is van een explosie en brand en dat de effecten op deze manier niet dubbel worden meegeteld.

Men dient zich ervan bewust te zijn hoe vaak deze regel dient te worden toegepast en om daarmee ook een gevoel te krijgen voor het formaat van deze kanstabellen. Het formaat van deze tabellen verandert namelijk exponentieel met het aantal parent nodes. Bijvoorbeeld; stel dat een lek 5 oorzaken heeft, dan is het formaat van de tabel 2^5 bij 4. Dit omdat een lek 4 toestanden kent; groot, middel, klein en geen lek. Van alle 2^5 combinaties zijn er slechts 5 kansen geschat door de experts en dus $2^5 - 5 - 1 = 26$ kansen worden bepaald volgens bovengenoemde manier.

BIJLAGE D

MAATREGELEN – OVERZICHT

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van mogelijke maatregelen voor het verminderen van de risico's in de Bo-B3 bundelingstype. De maatregelen zijn opgesteld door de deelnemers van de workshops in het kader van het O13-project.

Tracés niet zonder meer beschikbaar stellen (incl. proefsleuven).
Gecontroleerde graafwerkzaamheden door middel van controles en procedures.
Hekwerken bij leidingstroken aanbrengen
Zettingverschillen in de bodem reduceren
Plaats en afstand van de leidingen en kabels ordenen
Lekopvang en afvoer aanbrengen
Bevriezen voorkomen
Wanddikte vergroten
Alleen gecertificeerde onderdelen gebruiken
Warmtebalans in de tunnel optimaliseren
Waterleidingen isoleren
De tunnel drukbestendig bouwen
Drukонтlastingsmogelijkheden aanbrengen
Materiaal van de leiding zorgvuldig kiezen (kunststof i.p.v. staal of staal i.p.v. kunststof)
Verbeteren materiaal specificatie
Verbindingen zorgvuldig kiezen
Beschermende bekleding aanbrengen
Afscherming van EMC straling
Waterafvoer (redundantie) t.b.v. lekkages
Kleurcodes aanbrengen op kabels en leidingen
Matten met betontegels op leidingen (Bo situatie)
Leidingen dieper leggen
Geen gasleidingen in de tunnel
Gasleidingen in mantelbuizen leggen
Redundantie van systemen
Automatische afsluiters monteren (doorstroming van leidingen of niveau (concentratie) in tunnel.
Compartimentering van de tunnel
Bodemverbetering op overgang van volle grond naar tunnel
Drukluiken aanbrengen in de tunnel
Stalen leidingen gebruiken in plaats van kunststof leidingen
Optimaliseren van de ligging kabels en leidingen
Geen verbindingen tussen kabels/leidingen toepassen maar gebruik maken van leidingen/kabels uit een stuk.
Zelfdichtende buis toepassen
Lassen i.p.v. knellen

Drogen van kabel of buis door beschermingsisolatie mogelijk maken (onderkant open)
Opstanden randen/drempels aanbrengen bij in- en uitgangen ivm overstroming
Brandremmende bekleding aanbrengen
Lichtboogbescherming aanbrengen
Lekstroombeveiliging aanbrengen
Afplakvrije in-en uitlaat ventilatie aanbrengen
Lekdetectie aanbrengen
CO ₂ -meting toepassen
Gasdetectie aanbrengen
Temperatuurdetectie aanbrengen
Rook- en branddetectie aanbrengen
(Brand)-alarm aanbrengen
Procesautomatisering toepassen, menselijk handelen beperken
Glasvezel signaalkabel gebruiken
Blussystemen installeren
Luchtdrukgereedschap gebruiken
Sensoren aanbrengen
Geen mantelbuis toepassen
Inbraakalarm installeren
Ventileren van de tunnel
Grondroerdersregeling strak handhaven
Verbeteren/certificeren opleiding van medewerkers
Kwaliteitsborging door de beheersorganisatie
Inspecties uitvoeren
Inspectie utiliteiten uitvoeren
Beheer van het onderhoud op orde hebben
Preventief vervangen van leidingen
Cameratoezicht instellen
Aparte (redundante) voeding (elektriciteit) aanbrengen
Instructie(film) laten zien voordat men toegang krijgt tot tunnel
Deursensoren gebruiken
Inert gas in tunnel
Onderzoek van bijna ongevallen
Doorgeven alarmsignalen aan beheersorganisatie.
Onderhouds/calamiteiten contract
Risico-inventarisatie uitvoeren
Sancties opleggen
Registreren ligging kabels en leidingen
Toezicht houden op werk in tunnel
Risico gestuurd, risico-inventarisatie uitvoeren
Tunnel regelmatig schoonmaken
Verboden vuur/roken borden ophangen
Noodverlichting installeren
Beschermende kleding eisen bij werken in de tunnel
Beademingsapparatuur beschikbaar hebben
Instructie (herhaling) verplicht stellen
Vluchtlong ter beschikking hebben

Draagbare detectie verplicht stellen
Aanwezigheid zaklantaarn verplicht stellen
2 mensen tegelijk aan het werk als eis hanteren
Optimaliseren ontwerp t.a.v. reparatievriendelijkheid
Directe communicatie tussen werkers en buitenwereld organiseren
Draaiboek voor storingen en calamiteiten beschikbaar hebben en actualiseren
belonen (incentives) van goed gedrag
.....s en safe havens inbouwen

BIJLAGE E

OVERWEGING ACHTER DE INSCHATTING VAN RISICO'S VAN BUNDELING

E.1. EXTERNE CORROSIE

Aangezien de omhullende leiding van telecom van een materiaal is gemaakt dat niet corrodeert en derhalve geen lekkage door corrosie kan optreden, is deze relatie tussen enerzijds externe corrosie en anderzijds telecom niet mogelijk en dus in het risicoanalysemodel niet opgenomen. Onder corrosie valt ook erosie en aantasting door schimmels etc. De volgende relatie is dus komen te vervallen:

> Telecom.

E.2. INTERNE CORROSIE

Voor lekkage door interne corrosie is een behoorlijke aantasting benodigd. Met name in leidingen waarin vloeistoffen en bijvoorbeeld vochtige vaste stoffen zoals afval worden getransporteerd. Derhalve zijn de relaties naar leidingen waarvan de omhullende niet kan corroderen en de leidingen waardoor niet-corrosieve stoffen worden getransporteerd niet in het risicoanalysemodel opgenomen. De volgende relaties zijn dus komen te vervallen:

> Telecom;

> Aardgas.

E.3. FABRICAGEFOUTEN

Fabricagefouten kunnen in alle leidingen optreden en daarom zijn alle relaties in het risicoanalysemodel opgenomen.

E.4. GRAAFSCHADE

Graafschade is in de volle grond bij alle leidingen mogelijk en daarom zijn alle relaties in het risicoanalysemodel opgenomen.

E.5. WERKZAAMHEDEN AAN DE LEIDING EN DOOR DERDEN

Aan alle leidingen kunnen werkzaamheden worden verricht die lekkage tot gevolg zouden kunnen hebben en derhalve zijn alle relaties in het risicoanalysemodel opgenomen. Dit geldt zowel voor werkzaamheden aan de eigen leiding als aan de leidingen van derden.

E.6. MECHANISCHE BELASTINGEN VAN DE KOPPELINGEN EN ZETTINGEN

Alle leidingen hebben koppelingen die aan mechanische belastingen kunnen worden blootgesteld en derhalve zijn alle relaties in het risicoanalysemodel opgenomen. Dit geldt eveneens voor zettingen.

E.7. OORZAKEN VAN EEN ONTSTEKINGSBRON

Aangezien een combinatie van een brandbare of explosieve stof met een ontstekingsbron leidt tot narigheid, is ook gekeken naar de oorzaken van een ontstekingsbron. Hierbij kan geconcludeerd worden dat interne en externe corrosie en mechanische belastingen en zettingen niet tot een ontstekingsbron kunnen leiden. Fabricagefouten, graafschade, werk aan installaties (ook door derden) en overige oorzaken kunnen dat wel. Voor graafschade geldt dat die uiteraard niet in de B2 en B3 bundeling kan optreden. Voor zettingen geldt juist dat deze wel als oorzaak in de B2 en B3 bundeling dient te worden aangemerkt, met name ter plaatse van de overgang tussen de bundeling en de volle grond situatie. Onder overige oorzaken vallen bijvoorbeeld blikseminslag.

De kans op een lek vermenigvuldigt met de kans op een ontstekingsbron levert de kans op een explosie of brand.

E.8. GEVOLGEN

Aangegeven wordt hoe groot de kans is op een lek van kleine, gemiddelde of grote omvang. Onder “de omvang van een lek” wordt verstaan het debiet waarmee een stof vrijkomt en niet de grootte van het gat in de leiding. Op basis van een gegeven omvang is vervolgens de verdeling voor de omvang van het effect (klein, middel, groot) geschat. Dit is voor ieder type bundeling gedaan.

Een voorbeeld. Gegeven een lekkage van drinkwater in de Bo situatie. Een van de effecten is een lager rendement. Gegeven een kleine lekkage dan treedt een klein verlies op met een kans 1. Een gemiddeld en groot verlies kan dus niet optreden. Gegeven een middelgroot lek, is de kans op een klein verlies 0,01, op een gemiddeld verlies 0,99 en op een groot verlies 0. Gegeven een groot lek, is de kans op een klein verlies 0, op een gemiddeld verlies 0,1 en op een groot verlies 0,9.

E.9. AARDGAS

Bij een lekkage van aardgas wordt het rendement van het product lager, maar de productkwaliteit niet. Een lekkage kan in combinatie met een ontsteking leiden tot een brand of een explosie. Het is uitgesloten dat degradatie van andere leidingen door een lekkage optreedt. Onveiligheid van medewerkers en omgeving kan direct optreden door het ontstaan van een toxische (hier: verstikkende) atmosfeer. De volgende relaties zijn niet mogelijk en dus niet in het

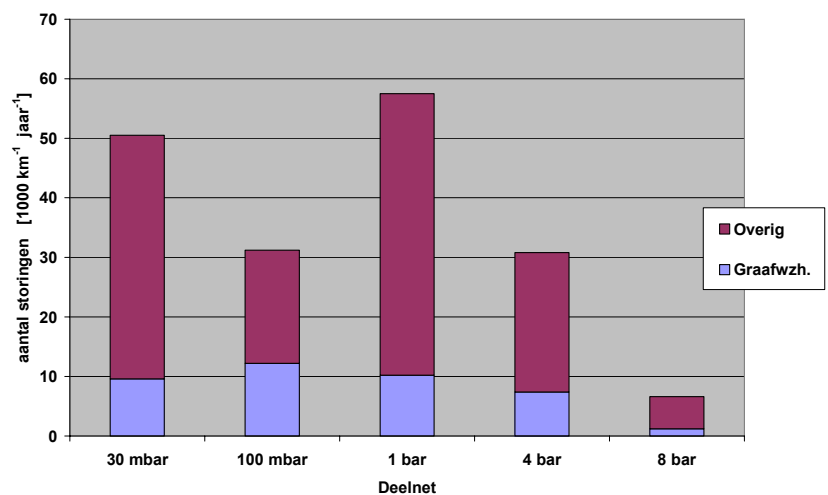
risicoanalyse model opgenomen:

- > Lagere productkwaliteit;
- > degradatie van andere leidingen (door corrosie, schimmels, etc.).

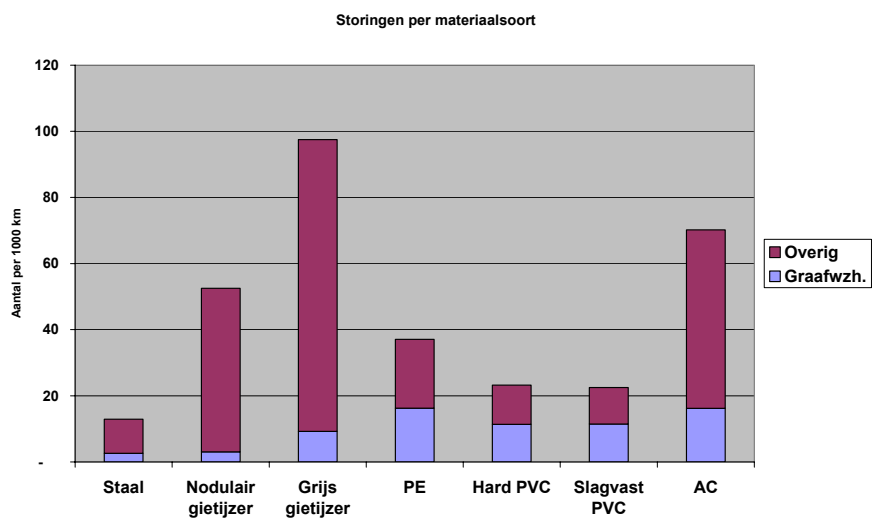
Als gevolg van een brand of explosie kan beschadiging van andere leidingen optreden, schade aan de omgeving, onveiligheid van werknemers en van de omgeving.

Voor aardgas geldt dat een klein lek overeenkomt met maximaal 100 liter per uur (0,1 m³/h respectievelijk 1 gram/s).. Een middelgroot lek betreft 0.1 tot 1m³/h lekgas. Een groot lek komt overeen met 1 tot 70 m³/h lekgas (700 gram/sec).

Op basis van registratie (Nestor 2004) zijn gegevens bekend zoals weergegeven in figuur D1 en D2. Voor nieuw aan te leggen tunnels is in de studie aangenomen dat alleen 100 mbar en 8 bar in PE, svPVC of staal relevant zijn.



Figuur D1



Figuur D2

Getallen van die oorzaken:

Hoofdleiding: Storingsoorzaak	Aantal per 1000 km
Aanleg/montagefout	1,6
Corrosie	3,6
Graafwerkzaamheden	10,4
Molest	0,1
Produktfout	0,2
Slijtage	1,4
Vervuiling	0,2
Werking van de bodem	4,4

E.10. WATER

- > De drinkwaterleiding staat onder een druk van 0,2 tot 0,5 Mpa;
- > de functie van waterleidingen is de levering van drinkwater en de levering van bluswater (geen wettelijke verplichting dat dit door het waterleidingnet moet geschieden maar is wel de praktijk). De vraag is of bluswatervoorziening wordt geleverd vanuit een bundeling. In dat geval zal er een bediening van buiten af mogelijk moeten zijn door de brandweer;
- > in het waterdistributienet zijn een groot aantal afsluiters opgenomen, die in geval van storing of onderhoud bediend moeten kunnen worden. Liefst dat dit kan gebeuren zonder eerst in de tunnel te moeten. Vuistregel: In het reguliere net is ca per 100m leiding een afsluiter;
- > het bedienen van een afsluiter in een ILT door een spindel lijkt niet logisch. Dus of afsluiters buiten ILT of elektrische bediening;
- > voor de beoordeling moet onderscheid gemaakt worden tussen:
 - Distributie (functie lokale levering), aard: kleine diameter met aansluitingen;
 - Transport (functie levering naar achtergelegen gebied), aard: grote diameter zonder aansluitingen.
- > de opzet van een leidingnet (mn distributie) is van oudsher vermaasd. Dit heeft tot gevolg dat er vrijwel altijd voldoende redundantie is in het net om de levering in het gebied te garanderen bij uitgebruikname. Er bestaat een tendens om kleinere leidingen vertakt uit te voeren (betere waterkwaliteit). Dit heeft gevolgen voor levering bij uitgebruikname;
- > typische breukfrequentie is 0,08 breuken/km/jaar. Hiervan wordt circa 20-30% veroorzaakt door derden. Stel een leiding van 100 m dan stoort die gemiddeld eens per 125 jaar. Indien nieuwe leidingen worden toegepast van hoogwaardig materiaal is een frequentie van 0,02 breuken/km/jaar mogelijk. Dan zou dezelfde leiding gem. eens per 500 jaar storen. Het is moeilijk deze cijfers te vertalen naar een ILT, aangezien daar niet dezelfde omstandigheden heersen. Voordelen betere bescherming tegen graafschade en ongelijkmatige zettingen. Nadelen zijn de betreding in een ILT, het ophangen van leidingen ipv het gelijkmatig liggen in

- > de grond en spanningen tpv overgang tunnel – ondergrond;
- > in ILT zullen de leidingen waarschijnlijk opgehangen worden aan beugels. Dit is een andere situatie dan men gewend is. Ophanging leidt tot andere spanningssituaties. PE lijkt minder vanzelfsprekend vanwege het doorhangen. Ook PVC zal minder gauw worden gekozen, aangezien dit minder bestand is tegen stootbelasting mn bij lage temperaturen. Dus lijkt een keuze voor metalen leidingen logisch. Dit heeft consequenties voor kosten. Een alternatief voor ophangen kan het leggen in een goot zijn. De verankering van waterleidingen moet voldoende zijn om krachten op te kunnen vangen bij bochten en om trillingen op te kunnen vangen bij drukwisselingen;
- > een ILT zal altijd een voorziening moeten hebben om lekkend water af te kunnen voeren. Wateroverlast kan door lekkage van leidingen of door binnentredend grondwater of regenwater. Daarnaast zal condensvorming op koude waterleidingen permanent optreden (mn in de zomer). Er zal dus een afvoersysteem moeten zijn (geul?) en een pompsysteem;
- > voor de waterleiding zal de interactie met het rioleringsysteem goed bekeken moeten worden. Geen riolering boven een waterleiding en liefst geen drukriolering die kan spuiten op een waterleiding. Het zal onacceptabel zijn als een breuk van een riolering leidt tot een opeenhoping van afvalwater in ILT, bijvoorbeeld door uitval lekwaterpomp.

E.11. ELEKTRICITEIT

Bij een “lekkage” van elektriciteit treedt alleen bij een groot lek (dit is uitval van de spanning) kwaliteitsverlies en rendementsverlies op. De lekkage heeft zowel beschadiging van andere leidingen als degradatie op langere termijn tot gevolg. Een onveilige situatie voor de omgeving wordt niet uitgesloten geacht en zeker medewerkers zouden mogelijk een schok kunnen krijgen of geëlectrocuteerd kunnen worden. Daarom is onveiligheid voor de werknemers zeker een mogelijkheid. Er zijn geen relaties die onmogelijk zijn.

Als gevolg van een brand of explosie kan bij brand wel en bij explosie geen beschadiging van andere leidingen optreden. Schade aan de omgeving, onveiligheid van werknemers en van de omgeving kunnen zowel bij brand als bij explosie optreden.

States kunnen zijn:

- > normaal (gewoon in bedrijf, met 100% capaciteit);
 - > defect (reparatie of vervanging is noodzakelijk);
 - > stand-by (of “uit bedrijf”, maar wel beschikbaar om te gebruiken, onderhoud of inspectie waarbij uitbedrijfname noodzakelijk is, kan ook betrekking hebben op voor- of naliggende componenten);
 - > beperkt (bv. 80%, vooralsnog lijkt één beperkte toestand mooi genoeg, uitbreiden kan later nog als daarvoor een reden is);
 - > andere toestanden maken het vooralsnog onnodig complex (een toestand “verhoogde capaciteit” kan worden
-

ondervangen door de 100% anders te definiëren; een toestand “overbelast” is eigenlijk in bedrijf maar met een hogere kans op defect raken).

Mogelijke toestandsovergangen zijn:

- > Van normaal naar defect:
 - storing (fout) door interne of externe oorzaken, dit betreft in het algemeen onafhankelijke oorzaken (negatief exponentieel verdeelde tijden tussenstoringen) de Nestor-statistiek geeft wel kengetallen, in tunnels kun je de oorzaak graafwerkzaamheid weglaten;
 - fouten door invloeden van (handelen bij) andere infra's kunnen in theorie ook optreden.
- > Van defect naar normaal:
 - reparatie, ook hiervoor geeft Nestor informatie over reparatieduren, in tunnels kan de zoektijd wellicht korter zijn, maar is misschien de behandeltijd wel langer, mogelijk zijn er restricties voor of vanwege andere infra's.
- > Van normaal naar beperkt:
 - door invloed van andere infra's, bijvoorbeeld opwarming door warmte-systeem;
 - door invloed van soortgelijke infra, voor capaciteiten van bundels kabels in grond, ducts of open systemen (grote tunnels) zijn normen beschikbaar naast de “standaard” regels in de NPR-serie (3107, 3626): IEC 60287 (Calculating of the current rating) of IEC 60853 (Calculation of the cyclic and emergency rating of cables).
- > Van beperkt naar normaal:
 - door opheffing (al of niet tijdelijk) van hierboven genoemde oorzaken.
- > Van normaal naar stand-by:
 - als gevolg van het voor inspectie uit bedrijf nemen;
 - als gevolg van het uit bedrijf nemen voor het plegen van inspectie of onderhoud aan andere infra's.
- > Van beperkt naar standby:
 - hiervoor geldt hetzelfde als van bedrijf naar stand-by, wellicht zijn er andere getallen wenselijk.
- > Van beperkt naar defect:
 - hiervoor geldt hetzelfde als van bedrijf naar defect, wellicht zijn er andere getallen wenselijk.
- > Van stand-by naar defect:
 - door (menselijk?) falen bij onderhoud, deze kan m.i. vooralsnog worden verwaarloosd.

Optioneel kun je een overgang van defect naar stand-by bedenken, als na een reparatie een kabel niet direct weer in bedrijf wordt genomen, echter er geldt dan een andere “verblijftijd” dan na een inspectie of onderhoud. Laten we vooralsnog er vanuit gaan dat datgene wat in bedrijf kan, ook in bedrijf is (het is er tenslotte niet voor niets).

Voor het effect op de leveringszekerheid, een van de business values in ons toekomstig model, is bij het combineren van kabels van belang hoe het systeem als geheel is ontworpen. Met name de relatie

actuele belasting en belastbaarheid is relevant, en ook de schakeling er voor en erna. Kunnen kabels als elkaars reserve worden gezien?

Als er 1 van 2 uitvalt, is er dan geen uitval, 50% of 100%? Dat hangt af van de functie van het systeem als geheel. In de drie uit te werken cases pakt dit verschillend uit.

Het effect op veiligheid is gering. Een defecte kabel is normaliter afgeschakeld (voert geen spanning meer) en is op zich geen veiligheidsgevaar. Monteurs (voor E) zijn geïnstrueerd hoe veilig om te gaan met spanningsvoerende componenten. Blijft over: spontane fouten tijdens het betreden van de tunnel (duct) voor elke willekeurige infra, of fouten bij her-inschakeling bij aanwezigheid van personeel (dat is met controles weer te ondervangen).

INTERACTIES EN BEÏNVLOEDING

Vanuit kabels zijn er mogelijk interacties op alle metalen infra's via EM-beïnvloeding. Aarding en afscherming kunnen hierbij helpen. Tevens kan er sprake zijn van warmte ontwikkeling.

E.12. WARMTE

Aangenomen is dat de warmteleiding een gelaste leiding is. In de volle grond vindt er warmtelek detectie van het warmtenet plaats. Dat betekent dat ook in de andere bundelingstypen warmtelek detectie van het warmtenet plaatsvindt.

Bij een lekkage van een warmteleiding komt warm tot heet water vrij. Hierdoor wordt de kwaliteit niet lager omdat de leiding onder druk staat, maar het rendement wel. Beschadiging door de warmte en degradatie door vocht kunnen beiden niet optreden. De situatie die ontstaat, is zowel voor medewerkers als voor de omgeving mogelijk onveilig. De volgende relaties zijn niet mogelijk en dus niet in het risicoanalysemodel opgenomen:

- > Lagere productkwaliteit;
- > brand en explosie kunnen niet optreden.

E.13. KOUDE

Bij lekkage van koude leidingen wordt het rendement lager door een verlies aan product. De kwaliteit zal vanwege de druk van de leidingen niet afnemen. Het lekkende koude water leidt niet tot degradatie of beschadiging van andere leidingen. Onveiligheid voor de omgeving is in de volle grond mogelijk wanneer grote hoeveelheden water vrijkomen. Ook voor medewerkers kunnen gevaarlijke situaties optreden bij grote hoeveelheden water. De volgende relaties zijn niet mogelijk en dus niet in het risicoanalysemodel opgenomen:

- > Lagere productkwaliteit;
- > brand en explosie kunnen niet optreden.

E.14. RWA

Bij een lekkage van rioolwater is er een verlies aan product, waardoor een 'lager rendement' optreedt. De kwaliteit van het product wordt niet minder als gevolg van een lekkage. De lekkage van rioolwater

kan mogelijk leiden tot beschadiging en degradatie van andere leidingen, hoewel niet in alle bundelingsvormen. Onveiligheid voor de omgeving door een toxische omgeving wordt uitgesloten. De volgende relaties zijn niet mogelijk en dus niet in het risicoanalysemodel opgenomen:

- > Lagere productkwaliteit;
- > onveiligheid omgeving door toxische atmosfeer

Als gevolg van een brand of een explosie kan beschadiging van andere leidingen en onveiligheid voor de werknemers optreden. Schade aan en onveiligheid van de omgeving worden uitgesloten. Degradatie van andere leidingen is niet aangegeven.

E.15. TELECOM

Bij een 'lekkage' van telecom kunnen storingen optreden aan installaties in de buurt. Deze 'lekkage' leidt in geval van een groot lek tot groot rendementsverlies en verlies van productkwaliteit. Degradatie of beschadiging van andere leidingen treedt niet op. Onveilige situaties voor medewerkers is niet waarschijnlijk, maar onveiligheid van de omgeving wordt wel uitgesloten. De volgende relaties zijn niet mogelijk en dus niet in het risicoanalysemodel opgenomen:

- > Beschadiging van andere leidingen;
- > degradatie van andere leidingen (door corrosie, schimmels, etc.);
- > onveiligheid voor omgeving;
- > brand en explosie kunnen niet optreden.

E.16. INDUSTRIËLE GASSEN (CHLOOR)

Bij een lekkage van een industrieel gas wordt het rendement van het product lager. Een lagere productkwaliteit als gevolg van een lekkage treedt niet op, doordat de leiding onder druk staat. Beschadiging als gevolg van het vrijkomen van industriële gassen treedt meestal niet op. Degradatie van diverse leidingen treedt wel op. Onveiligheid van medewerkers en omgeving door toxische atmosfeer treedt wel op. De volgende relaties zijn niet mogelijk en dus niet in het risicoanalysemodel opgenomen:

- > Lagere productkwaliteit;
- > degradatie van andere leidingen (door corrosie, schimmels, etc.)

Voorbeelden voor industriële gassen zijn:

- > Ethyleenoxide (explosief);
- > zuurstof (brandbevorderend en vloeibaar explosief);
- > chloor (ook explosief).

Als gevolg van het vrijkomen van gas in combinatie met een ontsteking kan wel een brand maar geen explosie optreden. Bij een brand treden alle genoemde effecten (beschadigen andere leidingen, schade omgeving, onveiligheid werknemers en omgeving) op.

E.17. INDUSTRIËLE GASSEN (WATERSTOF)

Bij een lekkage van een industrieel gas wordt het rendement van het product lager, maar de productkwaliteit niet. Beschadigingen of degradatie van andere leidingen treden niet op. Onveiligheid voor de medewerkers en omgeving is mogelijk. De volgende relaties zijn niet mogelijk:

- > Lagere productkwaliteit;
- > beschadiging van andere leidingen;
- > degradatie van andere leidingen (door corrosie, schimmels, etc.).

Als gevolg van een brand of explosie treden alle genoemde effecten (beschadigingen andere leidingen, schade omgeving, onveiligheid werknemers en omgeving) op.

E.18. INDUSTRIEWATER

Aangezien de samenstelling van industriewater onbekend is, wordt verondersteld dat het rendement kan afnemen, maar de kwaliteit niet omdat de leiding onder druk staat. Voorts wordt aangenomen dat degradatie en directe beschadiging niet tot de mogelijke gevolgen behoort. Onveilige situaties voor medewerker en omgeving zijn wel mogelijk. De volgende relaties zijn niet mogelijk en dus niet in het risicoanalysemodel opgenomen:

- > Lagere productkwaliteit;
- > beschadiging van andere leidingen;
- > degradatie van andere leidingen (door corrosie, schimmels, etc.).

Er wordt vanuit gegaan dat brand en explosie niet kunnen voorkomen als gevolg van een lekkage van industriewater.

E.19. VLOEIBARE BRANDSTOFFEN (HEPTAAN)

Als brandbare vloeistof wordt heptaan verondersteld. Lekkage van heptaan leidt tot een lager rendement. Door de druk van de leiding ontstaat er bij een lek geen lagere productkwaliteit. Heptaan kan tot beschadiging leiden. Degradatie op termijn is niet mogelijk. . De volgende relaties zijn niet mogelijk:

- > Lagere productkwaliteit;
- > degradatie van andere leidingen (door corrosie, schimmels, etc.);
- > onveiligheid omgeving.

Als gevolg van brand of explosie kunnen alle genoemde effecten (beschadigingen andere leidingen, schade omgeving, onveiligheid werknemers en omgeving) optreden.

E.20. STOOM

Bij een lekkage van stoom neemt het rendement van het product af. Naar verwachting neemt de kwaliteit niet af, omdat de stoom onder druk door de leiding wordt geperst en er dus moeilijk vocht of vuil in de leiding komt. De stoom leidt niet tot degradatie en beschadiging van andere leidingen. Gevaarlijke situaties voor medewerker en omgeving kunnen niet uitgesloten worden. De volgende relaties zijn niet mogelijk en dus niet in het risicoanalysemodel opgenomen:

- > Lagere productkwaliteit;
- > beschadiging van andere leidingen;
- > degradatie van andere leidingen (door corrosie, schimmels, etc.).

Brand of explosies kunnen niet optreden.

E.21. PERSLUCHT

Bij een lekkage van perslucht komt onzuivere lucht vrij. Hierbij neemt het rendement af. De kwaliteit neemt naar verwachting niet af, omdat de lucht onder druk wordt getransporteerd. Bovendien is deze lucht reeds gekwalificeerd als onzuiver en zullen verontreinigingen door vocht of vuil als deze al zouden optreden geen kwaliteitsverlies tot gevolg hebben.

De vrijgekomen lucht levert geen degradatie of beschadiging aan andere leidingen op. Met een kleine kans van optreden zullen onveiligheid voor medewerkers en omgeving optreden. De volgende relaties zijn niet mogelijk en dus niet in het risicoanalysemodel opgenomen:

- > Lagere productkwaliteit;
- > beschadiging van andere leidingen;
- > degradatie van andere leidingen (door corrosie, schimmels, etc.).

Brand of explosies kunnen niet optreden.

E.22. AFVAL

Een lekkage van een afvalleiding levert een kleinere hoeveelheid ontvangen afval op, waardoor het rendement lager wordt. De productkwaliteit wordt niet van toepassing geacht en deze relatie wordt derhalve buiten beschouwing gelaten. Een lekkage kan tot beschadiging of degradatie van andere leidingen leiden doordat agressieve stoffen uit het afval in contact komen met andere leidingen. Onveiligheid voor de omgeving en voor de medewerkers kan optreden door het lekken van gevaarlijke stoffen. De volgende relaties zijn niet mogelijk en dus niet in het risicoanalysemodel opgenomen:

- > Lagere productkwaliteit;
- > brand en explosie worden niet mogelijk geacht.

E.23. DE SECUNDAIRE GEVOLGEN

De directe gevolgen kunnen op hun beurt leiden tot de zogenaamde secundaire gevolgen. Hieronder wordt beschreven welke gevolgen tot secundaire gevolgen kunnen leiden.

LAGER RENDEMENT VAN HET PRODUCT

Een lager rendement kan, naast de directe derving van inkomsten van de producent of leverancier van het product, leiden tot schade bij of door de klant. Hieronder vallen schadeclaims van klanten, klanten die hun contract opzeggen, imagoschade en mogelijk daardoor minder nieuwe klanten, etc.

LAGERE PRODUCTKWALITEIT

Een lagere productkwaliteit leidt eveneens tot schade bij of door de klant.

BESCHADIGING VAN ANDERE LEIDINGEN

De beschadiging van andere leidingen kan leiden tot lekkage van andere leidingen. Beschadiging van andere leidingen is sterk afhankelijk van de configuratie van de leidingen in de bundeling en van het tussenliggende medium. Bij lekkage van vloeistoffen zijn met name de leidingen die direct onder de lekkende leiding liggen in gevaar. Bij gassen of warme vloeistoffen kan condensvorming optreden aan naastgelegen leidingen en zijn deze ook in gevaar.

DEGRADATIE VAN ANDERE LEIDINGEN (DOOR CORROSIE, SCHIMMELS, ETC.)

Degradatie van andere leidingen kan in principe voor alle leidingen plaatsvinden, evenals beschadigingen. Een en ander hangt ook weer af van het materiaal waarvan de leidingen zijn gemaakt.

ONVEILIGHEID VOOR MEDEWERKERS

Onveiligheid voor medewerkers kan leiden tot doden en/of gewonden onder de medewerkers. Dit kunnen inspecteurs, onderhoudsmensen of aannemers van nieuw te leggen leidingen zijn.

ONVEILIGHEID VOOR OMGEVING

Onveiligheid voor de omgeving kan leiden tot doden en/of gewonden of tot schade aan de omgeving. Hierbij kan de omgeving bestaan uit gebouwen en bouwwerken, maar ook milieuschade wordt onder 'omgeving' gerekend.

In de analyse behoort opeenhoping van gas in kruipruimten van gebouwen niet tot de risico's. Het valt buiten de scope van dit rapport en is onafhankelijk van het type bundeling en zal dus in een vergelijking van bundelingstypen niet relevant zijn.

BIJLAGE F

VOORBEELD WERKING MODEL

Om de mogelijke toepassingen van het netwerk toe te lichten, wordt in deze bijlage een fictieve case uitgewerkt.

OMSCHRIJVING CASE

‘Rijnstad’ heeft een ambitieus Masterplan ontwikkeld dat de kaders schept om niet alleen de stad maar de hele regio een belangrijke kwaliteitsimpuls te geven. Dit Masterplan laat zien aan welke voorwaarden moet worden voldaan om een verantwoorde en duurzame ontwikkeling tot stand te brengen. Rijnstad ligt op de overgang van het Veluwemassief naar de Gelderse Vallei. Ontstaan als een dorp op de Veluwe, heeft Rijnstad zich in de afgelopen 100 jaar ontwikkeld tot de huidige 100.000 plus gemeente. De binnenstad van Rijnstad heeft een multifunctionele samenstelling van winkels en andere publieksgerichte voorzieningen. De binnenstad heeft een belangrijke functie voor het doen van boodschappen, maar ook voor onder andere winkelen, doelgericht kopen en uitgaan is de binnenstad een belangrijke locatie.

Het is van groot belang het centrum (figuur 11) aantrekkelijk te houden voor consumenten én ondernemers. Zo is de gemeente nu bezig mogelijkheden voor meer evenementen te creëren en een liberaler terrassenbeleid moet horecaondernemers meer flexibiliteit bieden. De binnenstadsmanager stimuleert initiatieven om de binnenstad aantrekkelijker te maken (nieuwe feestverlichting, koopjesdag, aanpak leegstand). Bereikbaarheid is daarom van het grootste belang. De winkelpromenade zal worden verfraaid met een mozaïek in Portugese stijl. De lengte van het aan te passen deel bedraagt circa 600 meter.



Figuur 11: impressie centrum ‘Rijnstad’.

Informatie t.b.v aanleg kabels en leidingen:

- > Lengte tracé: circa 600 meter;
- > in verband met sierbestrating is verstoring bovengrond na aanleg ongewenst;
- > in verband met commerciële activiteiten is verstoring bovengrond ongewenst;
- > op diverse plekken in ondergrond mogelijk archeologisch waardevolle artefacten aanwezig;
- > Te combineren leidingen:
 - o Elektra;
 - o Warmte;
 - o Drinkwater;
 - o Aardgas.

In verband met het recent vernieuwen van het rioolstelsel zal deze niet worden betrokken bij de huidige vernieuwing. Op basis van deze informatie wordt besloten voor de aanleg van een leidingenduct, de zogenaamde B2 situatie (zie figuur 1).

BESCHRIJVING VOORBEELDNETWERK

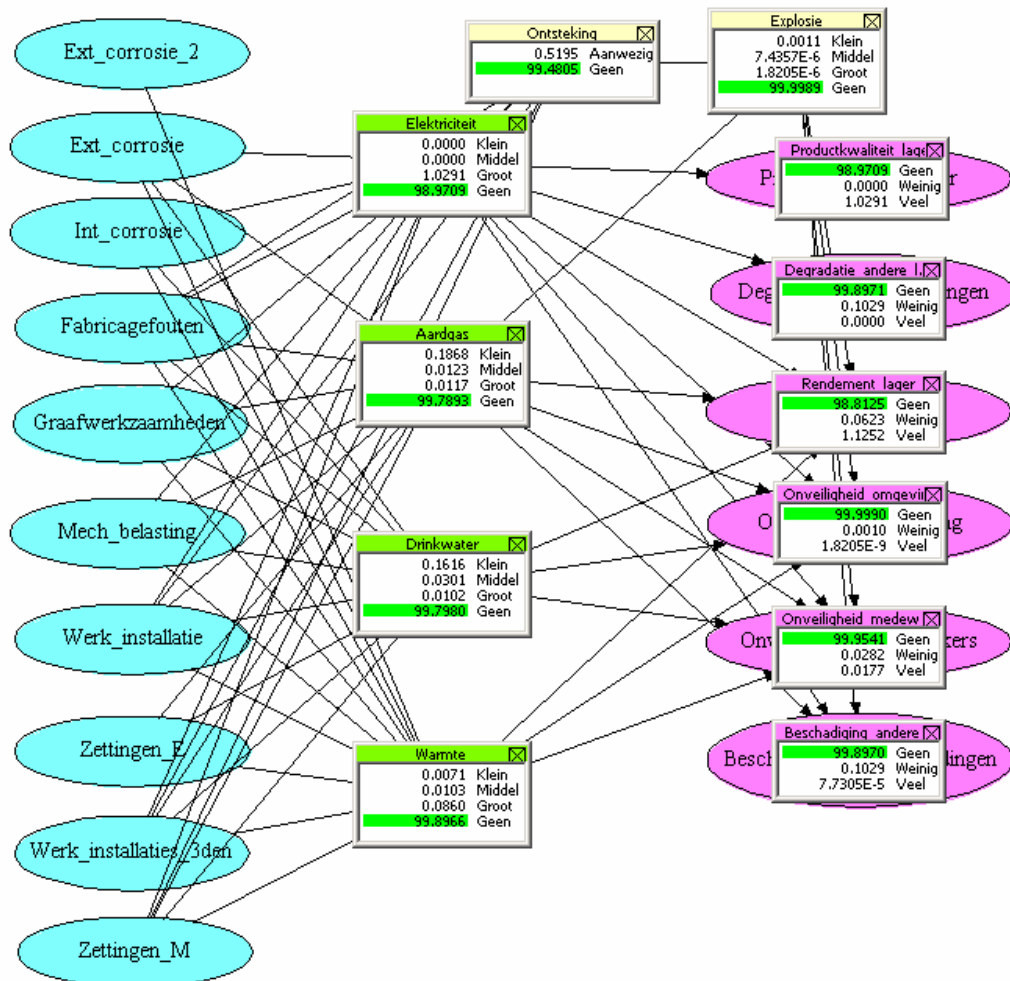
Het netwerk dat bij deze case hoort, staat weergegeven in figuur F1. Het verschil met het grote, overkoepelende netwerk van figuur 3 is, dat het aantal dragers is gereduceerd: in dit netwerk zijn (op basis van bovenstaande omschrijving van de situatie) alleen elektriciteit, aardgas, drinkwater en warmte opgenomen (groene knopen). Tevens is ter vereenvoudiging het optreden van een brand in de leiding buiten beschouwing gelaten in dit netwerk.



Figuur F1: Netwerk aan te leggen kabels- en leidingenduct

BEREKENINGEN NETWORK

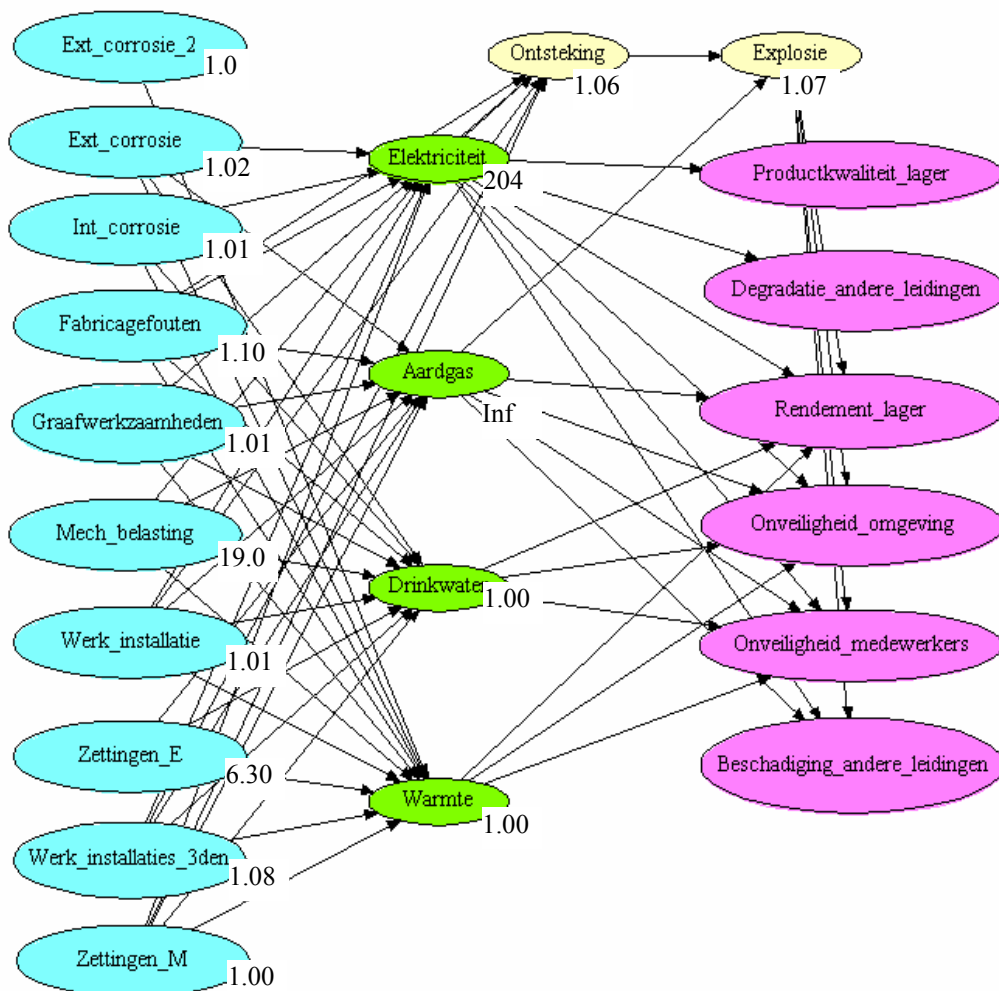
Vanzelfsprekend kan bij de berekening van de risico's van deze specifieke case gebruik worden gemaakt van de geïnventariseerde kansen uit appendix G op basis waarvan tevens het grote netwerk is berekend (figuur 3). Figuur F2 toont de resultaten van deze specifieke case: per knoop (gebeurtenis) is nu aangegeven wat de kans is op die gebeurtenis. De eenheid van de kans is %/km leiding/jaar.



Figuur F2: Uitkomsten netwerk kabels- en leidingenduct

GEVOELIGHEDEN NETWORK

Figuur F3 toont de gevoeligheden van het voorbeeldnetwerk zoals besproken in paragraaf 4.4.2. De gevoeligheden zijn bepaald voor de gevolg-knoop: 'onveiligheid omgeving'. Van de oorzaken is de mechanische belasting van de koppelingen de knoop met de meeste invloed op 'onveiligheid omgeving', evenals de zettingen aan het einde van de tunnel. De aardgasleiding is van de dragers degene met de meeste invloed op 'onveiligheid omgeving'. Daarnaast heeft ook de elektriciteitsleiding een belangrijke invloed op deze knoop. Deze twee knopen bepalen tevens in grote mate de kans op een explosie. Deze gevoeligheden zouden kunnen helpen bij het prioriteren van maatregelen. Maatregelen die de kansen op gebeurtenissen met een hoge gevoeligheid verminderen, hebben een relatief groot effect. Dit wordt toegelicht in de volgende paragraaf: 'implementatie maatregelen'.



Figuur F3: Netwerk met gevoeligheden

IMPLEMENTATIE MAATREGELEN

Een aantal maatregelen die genomen zouden kunnen worden om de kans op de gevolgen te beperken zijn:

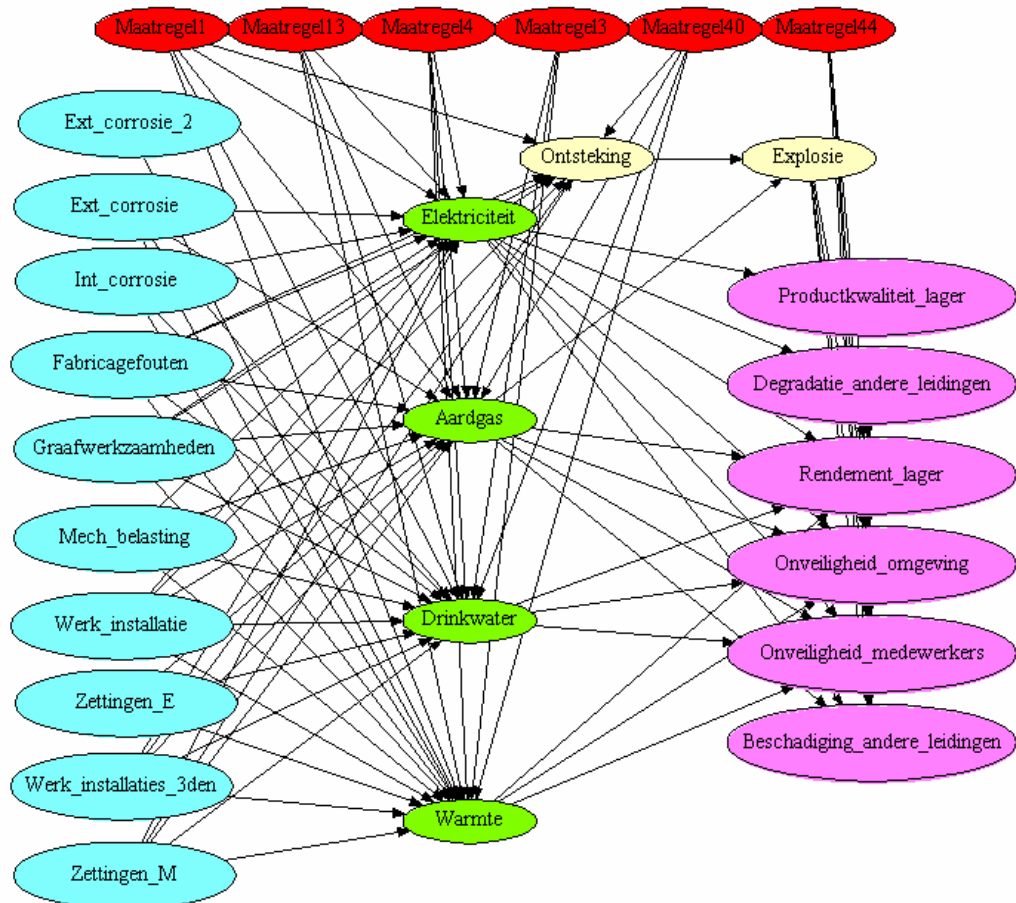
- > Grondroedersregeling: tracés en proefsleuven gecontroleerd middels controles en procedures beschikbaar stellen voor graafwerkzaamheden;
- > effecten van bodemzakkingen reduceren, bodemverbeteringen op overgang tunnel;
- > plaats en afstand van de leidingen en kabels ordenen, optimaliseren inrichting ligging kabels en leidingen, leidingen dieper leggen;
- > materiaal van de leiding (kunststof i.p.v. staal of andersom) verbeteren materiaal specificatie;
- > lekdetectie Co₂-meting, gasdetectie, sensoren;
- > rook- en branddetectie, temperatuurdetectie, brandalarm.

Elk van de maatregelen is door middel van een knop in het netwerk opgenomen (figuur F4). Figuur F5 toont de resultaten van het netwerk waarin geen enkele maatregel wordt genomen (de state van de maatregelknoppen is 100% 'Nee'). De uitkomsten zijn dan ook gelijk aan die van figuur F2 (het netwerk zonder maatregelen).

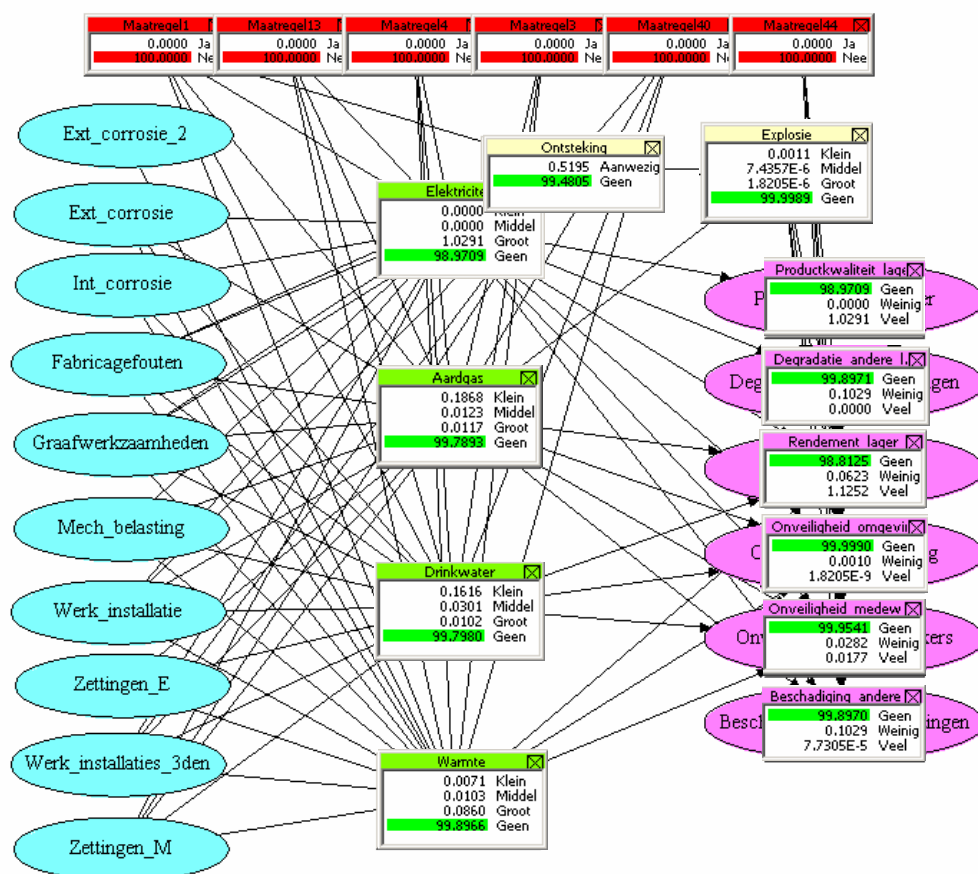
De maatregelknoppen in het netwerk werken als een 'switch' waarmee de maatregelen in het netwerk eenvoudig 'uit' (100% 'Nee')

en 'aan' (100% 'Ja') te zetten zijn.

Het effect van maatregelen op de berekende gevolgen kan dus met één druk op de knop zichtbaar gemaakt worden. Met de switch kies je dus voor een bepaalde conditionele kanstabel (voor voorbeeld van een dergelijke tabel: zie tabel 7) voor de knoop waar de maatregel op aangrijpt: als de maatregel niet genomen wordt, rekt het programma met de oorspronkelijke conditionele kanstabel. Als de maatregel wel wordt genomen, geldt een nieuwe conditionele kanstabel, die hoort bij de maatregel.



Figuur F4: Voorbeeldnetwerk inclusief geïmplementeerde maatregelen

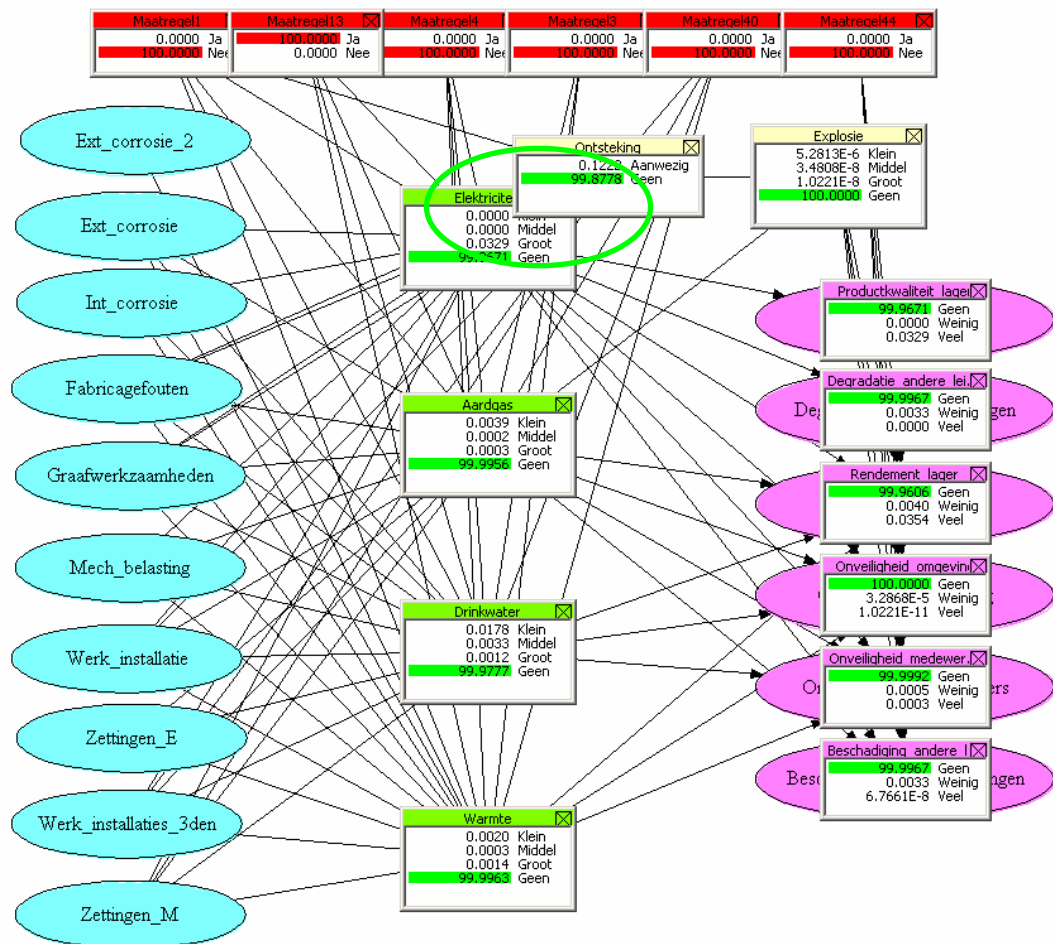


Figuur F5 Resultaten netwerk: geen enkele maatregel wordt genomen(gelijk aan figuur F2)

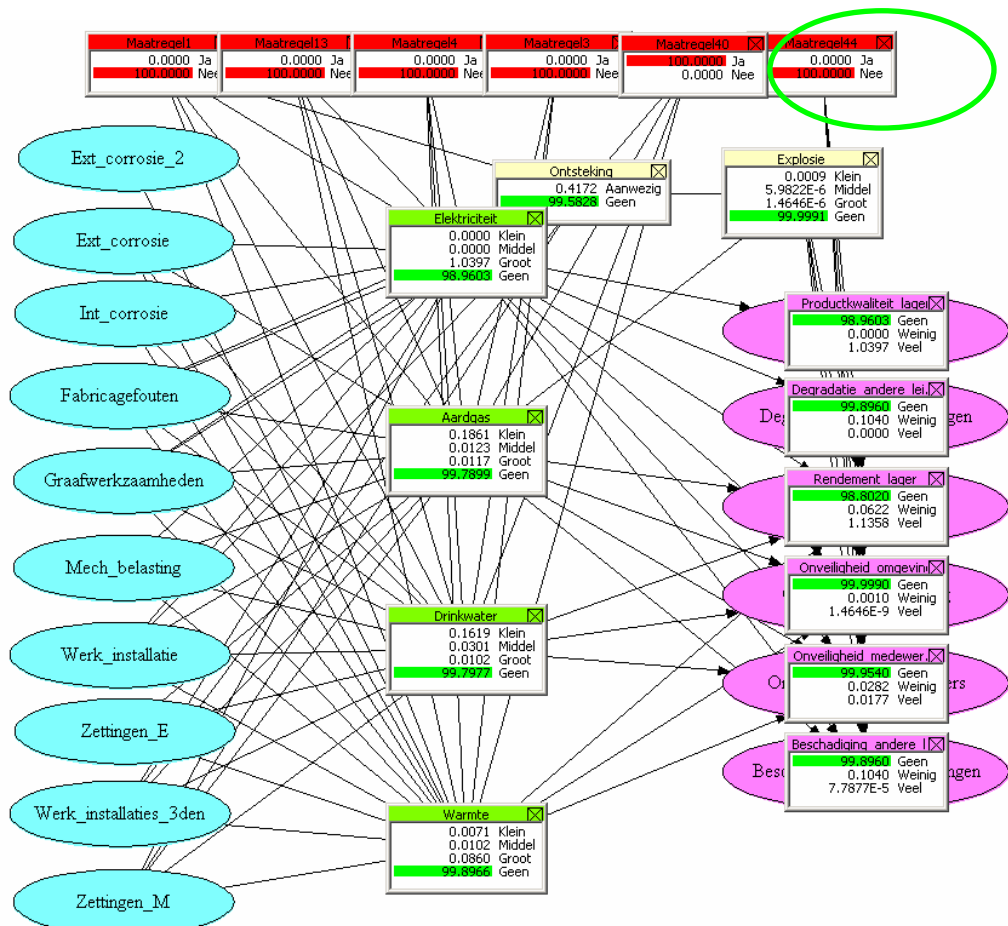
Het doel van het nemen van een maatregel is, om de kansen op de verschillende gevolgen te verkleinen.

Figuur F6 toont de kansen op de gevolgen wanneer 'maatregel 13' wordt genomen. Deze maatregel zorgt ervoor dat er minder gauw lekken zullen. In het programma Hugin kan in dit netwerk maatregel 13 geactiveerd worden door op de 'state' 'ja' van maatregel 13 te klikken (groene cirkel in Figuur F6). De rode balk bij de knoop in het netwerk wijzigt dan van 'nee' naar 'ja'. De meeste kansen blijken ten gevolge van de maatregel een orde 10 tot 100 naar kleiner te worden. Ook kunnen op deze manier effecten van meerdere maatregelen tegelijk direct door het netwerk berekend worden.

Figuur F7 toont de kansen op de gevolgen wanneer 'maatregel 40' wordt opgenomen. In tegenstelling tot maatregel 13 (die vooral de kans op lek verkleinde), worden in maatregel 40 getracht de kans op gevolgen gegeven een lek te verkleinen. Vergelijking van figuur F7 met figuur F6 toont, dat maatregel 13 in dit geval de kansen op de gevolgen meer verlaagd dan maatregel 40.



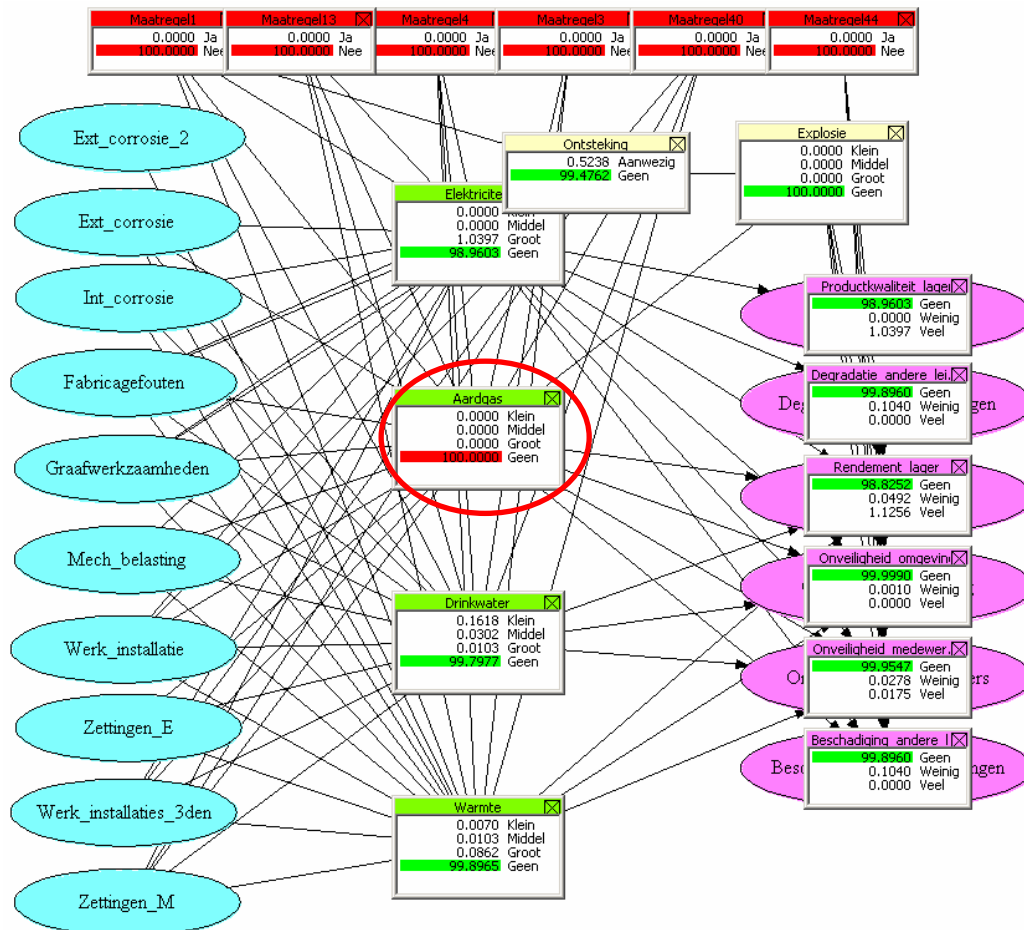
Figuur F6: Resultaten voorbeeldnetwerk bij nemen van maatregel 13



Figuur F7: Resultaten voorbeeldnetwerk bij nemen van maatregel 40

ONTWERPBESLISSINGEN

Ook bij ontwerpbeslissingen kan het model ondersteuning bieden. Het model kan bijvoorbeeld laten zien hoe de risico's veranderen wanneer één of meerdere dragers niet in de tunnel opgenomen worden. Figuur F8 toont de risico's wanneer de gasleiding niet in de tunnel opgenomen wordt. Dit wordt in het programma simpelweg bereikt door de kans dat er geen aardgaslek optreedt op 100% te zetten.



Figuur F8 Resultaten voorbeeldnetwerk zonder gasleiding

G. KANSTABELLEN

(Een toelichting bij deze tabel wordt gegeven in paragraaf 4.3.8)

8 oorzaken [per km per jaar]	Kans Bo (/km/jaar)	Kans B1(/km/jaar)	Kans B2(/km/jaar)	Kans B3(/km/jaar)		Lekkage	klein	middel	groot
Fabricagefouten	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Telecom	o	o	1
Graafwerkzaamheden	1E-2	1E-2	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Telecom	o	o	1
Werk_installatie	1E-4	1E-3	1E-4	1E-5	oorzaak van:	Telecom	o	o	1
Werk_installaties_3den	1E-4	1E-3	1E-4	1E-3	oorzaak van:	Telecom	o	o	1
Mech_belasting_koppelingen	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Telecom	o	o	1
Zettingen_M	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Telecom	o	o	1
Ext_corrosie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Afval	0,95	0,04	0,01
Int_corrosie	1E-4	1E-4	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Afval	0,87	0,08	0,05
Fabricagefouten	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Afval	0,87	0,08	0,05
Graafwerkzaamheden	1E-4	1E-4	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Afval	0,94	0,04	0,02
Werk_installatie	1E-4	1E-4	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Afval	0,9	0,05	0,05
Werk_installaties_3den	1E-6	1E-6	1E-6	1E-5	oorzaak van:	Afval	0,95	0,04	0,01
Mech_belasting_koppelingen	1E-5	1E-5	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Afval	0,25	0,25	0,5
Zettingen_M	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Afval	0,25	0,25	0,5
Zettingen_E	1E-5	1E-5	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Afval	0,25	0,25	0,5
Ext_corrosie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Drinkwater	0,95	0,04	0,01
Int_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Drinkwater	0,95	0,04	0,01
Fabricagefouten	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Drinkwater	0,87	0,08	0,05
Graafwerkzaamheden	1E-2	1E-2	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Drinkwater	0,33	0,33	0,34
Werk_installatie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Drinkwater	0,6	0,2	0,2
Werk_installaties_3den	1E-4	1E-4	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Drinkwater	0,6	0,2	0,2
Mech_belasting_koppelingen	1E-4	1E-4	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Drinkwater	0,8	0,15	0,05
Zettingen_M	1E-3	1E-3	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Drinkwater	0,8	0,15	0,05
Zettingen_E	1E-3	1E-3	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Drinkwater	0,8	0,15	0,05
Ext_corrosie	1E-4	1E-4	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1
Int_corrosie	1E-4	1E-4	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1
Fabricagefouten	1E-4	1E-4	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1
Graafwerkzaamheden	1E-2	1E-2	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1
Werk_installatie	1E-4	1E-4	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1
Werk_installaties_3den	1E-4	1E-4	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1
Mech_belasting_koppelingen	1E-3	1E-3	1E-2	1E-2	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1
Zettingen_M	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1
Ext_corrosie_2	1E-4	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Warmte	0,8	0,1	0,1
Ext_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Warmte	0,8	0,1	0,1
Int_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Warmte	0,8	0,1	0,1
Fabricagefouten	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Warmte	0,9	0,05	0,05
Graafwerkzaamheden	1E-4	1E-4	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Warmte	0,05	0,1	0,85
Werk_installatie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Warmte	0,8	0,1	0,1
Werk_installaties_3den	1E-6	1E-6	1E-6	1E-5	oorzaak van:	Warmte	0,05	0,1	0,85
Mech_belasting_koppelingen	1E-6	1E-6	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Warmte	0,05	0,1	0,85
Zettingen_M	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Warmte	0,05	0,1	0,85
Zettingen_E	1E-5	1E-5	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Warmte	0,05	0,1	0,85
Ext_corrosie_2	1E-4	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Koude	0,8	0,1	0,1
Ext_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Koude	0,8	0,1	0,1
Int_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Koude	0,8	0,1	0,1
Fabricagefouten	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Koude	0,9	0,05	0,05
Graafwerkzaamheden	1E-4	1E-4	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Koude	0,05	0,1	0,85
Werk_installatie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Koude	0,8	0,1	0,1
Werk_installaties_3den	1E-6	1E-6	1E-6	1E-5	oorzaak van:	Koude	0,05	0,1	0,85
Mech_belasting_koppelingen	1E-6	1E-6	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Koude	0,05	0,1	0,85
Zettingen_M	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Koude	0,05	0,1	0,85
Zettingen_E	1E-6	1E-6	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Koude	0,05	0,1	0,85

8 oorzaken [per km per jaar]	Kans Bo (/km/jaar)	Kans B1(/km/jaar)	Kans B2(/km/jaar)	Kans B3(/km/jaar)		Lekkage	klein	middel	groot
Ext_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Rioolwater	0,95	0,04	0,01
Int_corrosie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Rioolwater	0,95	0,04	0,01
Fabricagefouten	1E-3	1E-3	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Rioolwater	0,9	0,08	0,02
Graafwerkzaamheden	1E-3	1E-3	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Rioolwater	0,33	0,33	0,34
Werk_installatie	1E-5	1E-5	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Rioolwater	0,8	0,1	0,1
Werk_installaties_3den	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Rioolwater	0,8	0,1	0,1
Mech_belasting_koppelingen	1E-2	1E-2	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Rioolwater	0,9	0,08	0,02
Zettingen_M	1E-2	1E-2	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Rioolwater	0,9	0,08	0,02
Zettingen_E	1E-2	1E-2	1E-2	1E-2	oorzaak van:	Rioolwater	0,9	0,08	0,02
Ext_corrosie	1E-4	1E-4	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Aardgas	0,98	0,01	0,01
Fabricagefouten	1E-3	1E-3	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Aardgas	0,98	0,01	0,01
Graafwerkzaamheden	1E-2	1E-2	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Aardgas	0,1	0,2	0,7
Werk_installatie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-6	oorzaak van:	Aardgas	0,98	0,01	0,01
Werk_installaties_3den	1E-5	1E-5	1E-5	1E-4	oorzaak van:	Aardgas	0,1	0,2	0,7
Mech_belasting_koppelingen	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Aardgas	0,98	0,01	0,01
Zettingen_M	1E-5	1E-5	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Aardgas	0,8	0,1	0,1
Zettingen_E	1E-5	1E-5	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Aardgas	0,8	0,1	0,1
Ext_corrosie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Ind_gas	0,8	0,1	0,1
Int_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Ind_gas	0,8	0,1	0,1
Fabricagefouten	1E-4	1E-4	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Ind_gas	0,8	0,1	0,1
Graafwerkzaamheden	1E-2	1E-2	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Ind_gas	0,1	0,2	0,7
Werk_installatie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-6	oorzaak van:	Ind_gas	0,8	0,1	0,1
Werk_installaties_3den	1E-5	1E-5	1E-5	1E-4	oorzaak van:	Ind_gas	0,1	0,2	0,7
Mech_belasting_koppelingen	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Ind_gas	0,8	0,1	0,1
Zettingen_M	1E-5	1E-5	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Ind_gas	0,8	0,1	0,1
Zettingen_E	1E-5	1E-5	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Ind_gas	0,8	0,1	0,1
Ext_corrosie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Ind_gas_2	0,8	0,1	0,1
Int_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Ind_gas_2	0,8	0,1	0,1
Fabricagefouten	1E-4	1E-4	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Ind_gas_2	0,8	0,1	0,1
Graafwerkzaamheden	1E-2	1E-2	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Ind_gas_2	0,1	0,2	0,7
Werk_installatie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-6	oorzaak van:	Ind_gas_2	0,8	0,1	0,1
Werk_installaties_3den	1E-5	1E-5	1E-5	1E-4	oorzaak van:	Ind_gas_2	0,1	0,2	0,7
Mech_belasting_koppelingen	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Ind_gas_2	0,8	0,1	0,1
Zettingen_M	1E-5	1E-5	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Ind_gas_2	0,8	0,1	0,1
Zettingen_E	1E-5	1E-5	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Ind_gas_2	0,8	0,1	0,1
Ext_corrosie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Industriewater	0,8	0,1	0,1
Int_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Industriewater	0,8	0,1	0,1
Fabricagefouten	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Industriewater	0,87	0,08	0,05
Graafwerkzaamheden	1E-3	1E-3	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Industriewater	0,2	0,3	0,5
Werk_installatie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Industriewater	0,6	0,2	0,2
Werk_installaties_3den	1E-4	1E-4	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Industriewater	0,5	0,3	0,2
Mech_belasting_koppelingen	1E-4	1E-4	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Industriewater	0,8	0,1	0,1
Zettingen_M	1E-4	1E-4	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Industriewater	0,8	0,1	0,1
Zettingen_E	1E-4	1E-4	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Industriewater	0,8	0,1	0,1

8 oorzaken [per km per jaar]	Kans Bo (/km/jaar)	Kans B1(/km/jaar)	Kans B2(/km/jaar)	Kans B3(/km/jaar)		Lekkage	klein	middel	groot
Ext_corrosie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Vloeibare_brandstoffen	0,8	0,1	0,1
Int_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Vloeibare_brandstoffen	0,8	0,1	0,1
Fabricagefouten	1E-4	1E-4	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Vloeibare_brandstoffen	0,8	0,1	0,1
Graafwerkzaamheden	1E-3	1E-3	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Vloeibare_brandstoffen	0,1	0,2	0,7
Werk_installatie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-6	oorzaak van:	Vloeibare_brandstoffen	0,8	0,1	0,1
Werk_installaties_3den	1E-5	1E-5	1E-5	1E-4	oorzaak van:	Vloeibare_brandstoffen	0,1	0,2	0,7
Mech_belasting_koppelingen	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Vloeibare_brandstoffen	0,8	0,1	0,1
Zettingen_M	1E-5	1E-5	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Vloeibare_brandstoffen	0,8	0,1	0,1
Zettingen_E	1E-5	1E-5	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Vloeibare_brandstoffen	0,8	0,1	0,1
Ext_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Riool_droog_weer_afvoer	0,6	0,3	0,1
Int_corrosie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Riool_droog_weer_afvoer	0,6	0,3	0,1
Fabricagefouten	1E-3	1E-3	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Riool_droog_weer_afvoer	0,9	0,08	0,02
Graafwerkzaamheden	1E-3	1E-3	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Riool_droog_weer_afvoer	0,33	0,33	0,34
Werk_installatie	1E-5	1E-5	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Riool_droog_weer_afvoer	0,8	0,1	0,1
Werk_installaties_3den	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Riool_droog_weer_afvoer	0,8	0,1	0,1
Mech_belasting_koppelingen	1E-2	1E-2	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Riool_droog_weer_afvoer	0,7	0,2	0,1
Zettingen_M	1E-2	1E-2	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Riool_droog_weer_afvoer	0,7	0,2	0,1
Zettingen_E	1E-2	1E-2	1E-2	1E-2	oorzaak van:	Riool_droog_weer_afvoer	0,7	0,2	0,1
Ext_corrosie_2	1E-4	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Stoom	0,7	0,2	0,1
Ext_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Stoom	0,7	0,2	0,1
Int_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Stoom	0,7	0,2	0,1
Fabricagefouten	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Stoom	0,85	0,1	0,05
Graafwerkzaamheden	1E-4	1E-4	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Stoom	0,01	0,05	0,94
Werk_installatie	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Stoom	0,85	0,1	0,05
Werk_installaties_3den	1E-6	1E-6	1E-6	1E-5	oorzaak van:	Stoom	0,33	0,33	0,34
Mech_belasting_koppelingen	1E-6	1E-6	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Stoom	0,01	0,05	0,94
Zettingen_M	1E-5	1E-5	1E-5	1E-5	oorzaak van:	Stoom	0,01	0,05	0,94
Zettingen_E	1E-5	1E-5	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Stoom	0,01	0,05	0,94
Ext_corrosie	1E-4	1E-4	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1
Int_corrosie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1
Fabricagefouten	1E-3	1E-3	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1
Graafwerkzaamheden	1E-2	1E-2	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Perslucht	0,1	0,2	0,7
Werk_installatie	1E-4	1E-4	1E-4	1E-5	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1
Werk_installaties_3den	1E-5	1E-5	1E-5	1E-4	oorzaak van:	Perslucht	0,1	0,2	0,7
Mech_belasting_koppelingen	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1
Zettingen_M	1E-5	1E-5	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1
Zettingen_E	1E-5	1E-5	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1
Fabricagefouten	1E-5	1E-5	1E-4	1E-4	oorzaak van:	Ontstekingsbron			
Graafwerkzaamheden	1E-5	1E-5	0	0	oorzaak van:	Ontstekingsbron			
Werk_installatie	1E-6	1E-6	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Ontstekingsbron			
Werk_installaties_3den	1E-3	1E-3	1E-3	1E-3	oorzaak van:	Ontstekingsbron			
Zettingen_M	0	0	1E-6	1E-6	oorzaak van:	Ontstekingsbron			
Klein Electra	0,397940009	0,397940009	0,397940009	0,397940009	oorzaak van:	Ontstekingsbron			
Middel Electra	0,096910013	0,096910013	0,096910013	0,096910013	oorzaak van:	Ontstekingsbron			
Groot Electra	0	0	0	0	oorzaak van:	Ontstekingsbron			

Gegeven lekkage van:		6 gevolgen		Bo	Bo	Bo	B1	B1	B1	B2	B2	B2	B3	B3	B3
				klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot
Telecom	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
			weinig	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Telecom		Productkwaliteit_lager	geen	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
			weinig	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Telecom		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	0,99
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Afval	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
			weinig	0	0,95	0,05	0	0,95	0,05	0	0,95	0,05	0	0,95	0,05
			veel	0	0,05	0,95	0	0,05	0,95	0	0,05	0,95	0	0,05	0,95
Afval		Beschadiging_andere_leidingen	geen	1	1	1	1	0,99	0,97	0,99	0,97	0,94	0,99	0,97	0,94
			weinig	0	0	0	0	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,04
			veel	0	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0,02	0	0,01	0,02
Afval		Degradatie_andere_leidingen	geen	1	1	1	1	1	1	0,99	0,97	0,94	0,99	0,97	0,94
			weinig	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,04
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0	0,01	0,02
Afval		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	0,99	0,97	1	0,99	0,97	0,99	0,97	0,94	0,99	0,97	0,94
			weinig	0	0,01	0,02	0	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,04
			veel	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0,02	0	0,01	0,02
Afval		Onveiligheid_omgeving	geen	1	0,99	0,97	1	0,99	0,97	1	1	0,99	1	1	0,99
			weinig	0	0,01	0,02	0	0,01	0,02	0	0	0,01	0	0	0,01
			veel	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0
Aardgas	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0
			weinig	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1
			veel	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9
Aardgas	gegeven onsteking	Explosie	klein	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	1	0,95	0,9	1	0,7	0,1
			middel	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,07	0	0,15	0,2
			groot	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0,15	0,7
Aardgas	gegeven onsteking	Brand	klein	0,00001	0	0	1	0,99	0,95	1	0,95	0,9	1	0,9	0,8
			middel	0	0,00001	0	0	0,01	0,03	0	0,05	0,07	0	0,08	0,15
			groot	0	0	0,00001	0	0	0,02	0	0	0,03	0	0,02	0,05
Aardgas		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	0,99	0,95	1	0,99	0,95	1	0,99	0,95	1	0,97	0,85
			weinig	0	0,01	0,03	0	0,01	0,03	0	0,01	0,03	0	0,02	0,1
			veel	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0,01	0,05
Drinkwater	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0
			weinig	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1
			veel	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9
Drinkwater		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	0,95
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,04
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
Drinkwater		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	1	1	1	1
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektriciteit	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
			weinig	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Elektriciteit		Productkwaliteit_lager	geen	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0
			weinig	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Elektriciteit		Beschadiging_andere_leidingen	geen	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9	1	1	0,9
			weinig	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0,1
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektriciteit		Degradatie_andere_leidingen	geen	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9	1	1	0,9
			weinig	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0,1
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektriciteit		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	0,999	1	1	0,99
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,001	0	0	0,01
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektriciteit		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	0,999	1	1	0,99
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,001	0	0	0,01
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gegeven lekkage van:		6 gevolgen		Bo	Bo	Bo	B1	B1	B1	B2	B2	B2	B3	B3	B3
				klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot
Warmte	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0
			weinig	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1
			veel	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9
Warmte		Onveiligheid_medewerkers	geen	0,99	0,9	0,5	0,99	0,9	0,5	0,99	0,9	0,5	0,95	0,7	0,2
			weinig	0,01	0,07	0,3	0,01	0,07	0,3	0,01	0,07	0,3	0,04	0,2	0,3
			veel	0	0,03	0,2	0	0,03	0,2	0	0,03	0,2	0,01	0,1	0,5
Warmte		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	1	1	1	1
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Koude	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0
			weinig	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1
			veel	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9
Koude		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	0,95
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,04
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
Koude		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	1	1	1	1
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rioolwater	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0
			weinig	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1
			veel	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9
Rioolwater		Beschadiging_andere_leidingen	geen	1	1	1	1	0,99	0,97	0,99	0,97	0,94	0,99	0,97	0,94
			weinig	0	0	0	0	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,04
			veel	0	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0,02	0	0,01	0,02
Rioolwater		Degradatie_andere_leidingen	geen	1	1	1	1	1	1	0,99	0,97	0,94	0,99	0,97	0,94
			weinig	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,04
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0	0,01	0,02
Rioolwater		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	0,99	0,95	1	0,99	0,95	1	0,99	0,95	1	0,97	0,85
			weinig	0	0,01	0,03	0	0,01	0,03	0	0,01	0,03	0	0,02	0,1
			veel	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0,01	0,05
Rioolwater	gegeven onsteking	Explosie	klein	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	1	0,95	0,9	1	0,7	0,1
			middel	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,07	0	0,15	0,2
			groot	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0,15	0,7
Rioolwater	gegeven onsteking	Brand	klein	1	0,99	0,95	1	0,99	0,95	0,6	0,2	0,2	1	0,93	0,7
			middel	0	0,01	0,03	0	0,01	0,03	0,3	0,3	0,3	0	0,05	0,2
			groot	0	0	0,02	0	0	0,02	0,1	0,5	0,5	0	0,02	0,1
Ind_gas	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0
			weinig	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1
			veel	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9
Ind_gas		Degradatie_andere_leidingen	geen	0,989	0,945	0,89	0,7	0,7	0,5	0	0	0	0	0	0
			weinig	0,01	0,05	0,1	0,2	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0
			veel	0,001	0,005	0,01	0,1	0,1	0,1	1	1	1	1	1	1
Ind_gas		Onveiligheid_medewerkers	geen	0,989	0,89	0,89	0,989	0,89	0,89	0,89	0,8	0,8	0,89	0,8	0,8
			weinig	0,01	0,1	0,1	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
			veel	0,001	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01	0,01	0,1	0,1	0,01	0,1	0,1
Ind_gas		Onveiligheid_omgeving	geen	0,00989	0,0089	0,0089	0,00989	0,0089	0,0089	0,0089	0,008	0,008	0,0089	0,008	0,008
			weinig	0,0001	0,001	0,001	0,0001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
			veel	0,00001	0,0001	0,0001	0,00001	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,001	0,0001	0,001	0,001
Ind_gas_2	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0
			weinig	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1
			veel	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9
Ind_gas_2	gegeven onsteking	Explosie	klein	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,95	0,9	0,5	0,95	0,9	0,5
			middel	0	0	0	0	0	0	0,05	0,07	0,3	0,05	0,07	0,3
			groot	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,2	0	0,03	0,2
Ind_gas_2	gegeven onsteking	Brand	klein	0,001	0	0	0,0001	0,0001	0,0001	0,95	0,9	0,5	0,95	0,9	0,5
			middel	0,001	0,001	0	0	0	0	0,05	0,07	0,3	0,05	0,07	0,3
			groot	0	0,001	0,001	0	0	0	0	0,03	0,2	0	0,03	0,2
Ind_gas_2		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	0,99	0,95	1	0,99	0,95	1	0,99	0,95	1	0,97	0,85
			weinig	0	0,01	0,03	0	0,01	0,03	0	0,01	0,03	0	0,02	0,1
			veel	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0,01	0,05
Industriewater	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0
			weinig	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1
			veel	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9
Industriewater		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	0,95
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,04
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
Industriewater		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	1	1	1	1
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gegeven lekkage van:		6 gevolgen		Bo	Bo	Bo	B1	B1	B1	B2	B2	B2	B3	B3	B3
				klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot
Vloeibare_brandstoffen	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0
			weinig	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1
			veel	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9
Vloeibare_brandstoffen		Beschadiging_andere_leidingen	geen	1	1	1	1	1	0,95	1	1	0,95	1	1	0,95
			weinig	0	0	0	0	0	0,05	0	0	0,05	0	0	0,05
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vloeibare_brandstoffen		Degradatie_andere_leidingen	geen	1	1	1	0,95	0,8	0,8	0,95	0,8	0,8	0,95	0,8	0,8
			weinig	0	0	0	0,05	0,2	0,2	0,05	0,2	0,2	0,05	0,2	0,2
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vloeibare_brandstoffen	gegeven onsteking	Explosie	klein	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	1	0,99	0,95	1	0,9	0,8
			middel	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,04	0	0,07	0,15
			groot	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0,03	0,05
Vloeibare_brandstoffen	gegeven onsteking	Brand	klein	0,00001	0	0	1	0,99	0,95	1	0,95	0,9	1	0,7	0,5
			middel	0	0,00001	0	0	0,01	0,03	0	0,05	0,07	0	0,3	0,3
			groot	0	0	0,00001	0	0	0,02	0	0	0,03	0	0,1	0,2
Riool_droog_weer_afvoer	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0
			weinig	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1
			veel	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9
Riool_droog_weer_afvoer		Beschadiging_andere_leidingen	geen	1	1	1	1	0,99	0,97	0,99	0,97	0,94	0,99	0,97	0,94
			weinig	0	0	0	0	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,04
			veel	0	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0,02	0	0,01	0,02
Riool_droog_weer_afvoer		Degradatie_andere_leidingen	geen	1	1	1	1	1	1	0,99	0,97	0,94	0,99	0,97	0,94
			weinig	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0,04	0,01	0,02	0,04
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0	0,01	0,02
Riool_droog_weer_afvoer		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	0,99	0,95	1	0,99	0,95	1	0,99	0,95	1	0,97	0,85
			weinig	0	0,01	0,03	0	0,01	0,03	0	0,01	0,03	0	0,02	0,1
			veel	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0,01	0,05
Stoom	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0	1	0,01	0
			weinig	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1	0	0,99	0,1
			veel	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9
Stoom		Onveiligheid_medewerkers	geen	0,99	0,9	0,5	0,99	0,9	0,5	0,99	0,9	0,5	0,95	0,7	0,2
			weinig	0,01	0,07	0,3	0,01	0,07	0,3	0,01	0,07	0,3	0,04	0,2	0,3
			veel	0	0,03	0,2	0	0,03	0,2	0	0,03	0,2	0,01	0,1	0,5
Stoom		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	1	1	1	1
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perslucht	welk effect treedt op in welke mate:	Rendement_lager	geen	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
			weinig	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
			veel	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Perslucht		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	0,99
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perslucht		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,99	1	1	0,99	1	1	1	1	1	1
			weinig	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gegeven				Bo	Bo	Bo	B1	B1	B1	B2	B2	B2	B3	B3	B3
				klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot
Aardgas	leidt tot	Beschadiging_andere_leidingen	geen	1	1	0,799	1	1	0,49	1	1	0	1	1	0
			weing	0	0	0,2	0	0	0,5	0	0	0,1	0	0	0,01
			veel	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,9	0	0	0,99
Aardgas		schade_aan_omgeving	geen	1	1	0,099	1	1	0,099	1	1	0,1	1	1	0,1
			weing	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,8	0	0	0,8
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,1	0	0	0,1
Aardgas		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	1	0,989	1	1	0,989	1	1	0,89	1	1	0,15
			weing	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,1	0	0	0,4
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,45
Aardgas		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,9989	1	1	0,9989	1	1	0,989	1	1	0,989
			weing	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,01
			veel	0	0	0,0001	0	0	0,0001	0	0	0,001	0	0	0,001
Aardgas		Rendement_lager	geen	1	1	0,799	1	1	0,49	1	1	0	1	1	0
			weing	0	0	0,2	0	0	0,5	0	0	0,1	0	0	0,01
			veel	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,9	0	0	0,99
Ind_gas_2		Beschadiging_andere_leidingen	geen	1	1	0,8	1	1	0,5	1	1	0,001	1	1	0,001
			weing	0	0	0,2	0	0	0,5	0	0	0,1	0	0	0,01
			veel	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,9	0	0	0,99
Ind_gas_2		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	0,1
			weing	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,8	0	0	0,8
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,1	0	0	0,1
Ind_gas_2		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	1	0,989	1	1	0,989	1	1	0,89	1	1	0,15
			weing	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,1	0	0	0,4
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,45
Ind_gas_2		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,9989	1	1	0,9989	1	1	0,989	1	1	0,989
			weing	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,01
			veel	0	0	0,0001	0	0	0,0001	0	0	0,001	0	0	0,001
Vloeibare_brandstoffen		Beschadiging_andere_leidingen	geen	1	1	0,8	1	1	0,5	1	1	0,001	1	1	0,001
			weing	0	0	0,2	0	0	0,5	0	0	0,1	0	0	0,01
			veel	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,9	0	0	0,99
Vloeibare_brandstoffen		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	0,1
			weing	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,8	0	0	0,8
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,1	0	0	0,1
Vloeibare_brandstoffen		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	1	0,989	1	1	0,989	1	1	0,89	1	1	0,15
			weing	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,1	0	0	0,4
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,45
Vloeibare_brandstoffen		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,9989	1	1	0,9989	1	1	0,989	1	1	0,989
			weing	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,01
			veel	0	0	0,0001	0	0	0,0001	0	0	0,001	0	0	0,001
Rioolwater		Beschadiging_andere_leidingen	geen	1	1	0,989	1	1	0,978	1	1	0,978	1	1	0,989
			weing	0	0	0,01	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0	0,01
			veel	0	0	0,001	0	0	0,002	0	0	0,002	0	0	0,001
Rioolwater		schade_aan_omgeving	geen	1	1	1	1	1	1	1	1	0,99	1	1	1
			weing	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rioolwater		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	1	0,989	1	1	0,978	1	1	0,978	1	1	0,989
			weing	0	0	0,01	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0	0,01
			veel	0	0	0,001	0	0	0,002	0	0	0,002	0	0	0,001
Rioolwater		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			weing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gegeven	69			Bo	Bo	Bo	B1	B1	B1	B2	B2	B2	B3	B3	B3
				klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot
Rioolwater	leidt tot	Beschadiging_andere_leidingen	geen	1	1	0,99	1	1	0,98	1	1	0,98	1	1	0,99
			weing	0	0	0,01	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0	0,01
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rioolwater		Schade_aan_omgeving	geen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			weing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rioolwater		Onveiligheid_mede-werkers	geen	1	1	0,99	1	1	0,98	1	1	0,98	1	1	0,98
			weing	0	0	0,01	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0	0,02
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rioolwater		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			weing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aardgas	leidt tot	Beschadiging_andere_leidingen	geen	0,9	0,2	0	0,8	0,1	0	0	0	0	0	0	0
			weing	0,1	0,6	0,5	0,2	0,5	0,3	0,2	0	0	0,2	0	0
			veel	0	0,2	0,5	0	0,4	0,7	0,8	1	1	0,8	1	1
Aardgas		Schade_aan_omgeving	geen	0,9	0,2	0	0,8	0,1	0	0,9	0,2	0	0,9	0,2	0
			weing	0,1	0,6	0,5	0,2	0,5	0,3	0,1	0,6	0,5	0,1	0,6	0,5
			veel	0	0,2	0,5	0	0,4	0,7	0	0,2	0,5	0	0,2	0,5
Aardgas		Onveiligheid_mede-werkers	geen	0,9999	0,999	0,989	0,9999	0,999	0,989	0,999	0,99	0,985	0,989	0,8	0,15
			weing	0,0001	0,001	0,01	0,0001	0,001	0,01	0,001	0,01	0,01	0,01	0,1	0,4
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,005	0,001	0,1	0,45
Aardgas		Onveiligheid_omgeving	geen	0,99999	0,999	0,89	0,99999	0,999	0,89	0,99999	0,999	0,89	0,999999	0,9999	0,989
			weing	0,00001	0,001	0,1	0,00001	0,001	0,1	0,00001	0,001	0,1	0,000001	0,0001	0,01
			veel	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,001
Aardgas		Rendement_lager	geen	0,9	0,2	0	0,8	0,1	0	0	0	0	0	0	0
			weing	0,1	0,6	0,5	0,2	0,5	0,3	0,2	0	0	0,2	0	0
			veel	0	0,2	0,5	0	0,4	0,7	0,8	1	1	0,8	1	1
Ind_gas_2	leidt tot	Beschadiging_andere_leidingen	geen	0,9	0,2	0	0,8	0,1	0	0	0	0	0	0	0
			weing	0,1	0,6	0,5	0,2	0,5	0,3	0,2	0	0	0,2	0	0
			veel	0	0,2	0,5	0	0,4	0,7	0,8	1	1	0,8	1	1
Ind_gas_2		Schade_aan_omgeving	geen	0,9	0,2	0	0,8	0,1	0	0,9	0,2	0	0,9	0,2	0
			weing	0,1	0,6	0,5	0,2	0,5	0,3	0,1	0,6	0,5	0,1	0,6	0,5
			veel	0	0,2	0,5	0	0,4	0,7	0	0,2	0,5	0	0,2	0,5
Ind_gas_2		Onveiligheid_mede-werkers	geen	0,9999	0,999	0,989	0,9999	0,999	0,989	0,999	0,99	0,985	0,989	0,8	0,15
			weing	0,0001	0,001	0,01	0,0001	0,001	0,01	0,001	0,01	0,01	0,01	0,1	0,4
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,005	0,001	0,1	0,45
Ind_gas_2		Onveiligheid_omgeving	geen	0,99999	0,999	0,89	0,99999	0,999	0,89	0,99999	0,999	0,89	0,99999	0,9999	0,989
			weing	0,00001	0,001	0,1	0,00001	0,001	0,1	0,00001	0,001	0,1	0,000001	0,0001	0,01
			veel	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,001
Vloeibare_brandstoffen	leidt tot	Beschadiging_andere_leidingen	geen	0,9	0,2	0	0,8	0,1	0	0	0	0	0	0	0
			weing	0,1	0,6	0,5	0,2	0,5	0,3	0,2	0	0	0,2	0	0
			veel	0	0,2	0,5	0	0,4	0,7	0,8	1	1	0,8	1	1
Vloeibare_brandstoffen		Schade_aan_omgeving	geen	0,9	0,2	0	0,8	0,1	0	0,9	0,2	0	0,9	0,2	0
			weing	0,1	0,6	0,5	0,2	0,5	0,3	0,1	0,6	0,5	0,1	0,6	0,5
			veel	0	0,2	0,5	0	0,4	0,7	0	0,2	0,5	0	0,2	0,5
Vloeibare_brandstoffen		Onveiligheid_mede-werkers	geen	0,9999	0,999	0,989	0,9999	0,999	0,989	0,999	0,99	0,985	0,989	0,8	0,15
			weing	0,0001	0,001	0,01	0,0001	0,001	0,01	0,001	0,01	0,01	0,01	0,1	0,4
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,005	0,001	0,1	0,45
Vloeibare_brandstoffen		Onveiligheid_omgeving	geen	0,99999	0,999	0,89	0,99999	0,999	0,89	0,99999	0,999	0,89	0,99999	0,9999	0,989
			weing	0,00001	0,001	0,1	0,00001	0,001	0,1	0,00001	0,001	0,1	0,000001	0,0001	0,01
			veel	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,001

8 oorzaken	Kans Bo	Kans B1	Kans B2	Kans B3	Maatregel	Kans Bo	Kans B1	Kans B2	Kans B3		Lekkage	klein	middel	groot		Maatregel	klein	middel	groot
per km per jaar																			
graafschade	2	2	6	6	1	3	3	n.v.t.	n.v.t.	oorzaak van:	Telecom	o	o	1	1				
graafschade					4	n.v.t.	4	6	6	oorzaak van:	Telecom								
graafschade					13	4	4	6	6	oorzaak van:	Telecom								
werk aan installaties	4	3	4	5	4	n.v.t.	3	4	5	oorzaak van:	Telecom	o	o	1	1				
werk aan installaties derden	4	3	4	3	4	n.v.t.	4	5	4	oorzaak van:	Telecom	o	o	1	1				
werk aan installatie derden					13	5	4	5	4	oorzaak van:	Telecom								
															o				
externe corrosie	5	5	5	5	13	6	6	6	6	oorzaak van:	Afval	0,95	0,04	0,01	1				
interne corrosie	4	4	4	4	13	5	5	5	5	oorzaak van:	Afval	0,87	0,08	0,05	1				
graafschade	4	4	6	6	1	5	5	n.v.t.	n.v.t.	oorzaak van:	Afval	0,94	0,04	0,02	1	1	0,95	0,04	0,01
graafschade					4	n.v.t.	5	6	6	oorzaak van:	Afval								
graafschade					13	5	5	6	6	oorzaak van:	Afval								
werk aan installaties	4	4	5	5	4	n.v.t.	5	6	6	oorzaak van:	Afval	0,9	0,05	0,05	1				
werk aan installaties derden	6	6	6	5	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Afval	0,95	0,04	0,01	1				
werk aan installaties derden					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Afval								
mechanische belastingen	5	5	4	4	13	6	6	5	5	oorzaak van:	Afval	0,25	0,25	0,5	1				
zettingen_M	5	5	5	5	3	5	5	5	5	oorzaak van:	Afval	0,25	0,25	0,5	1				
zettingen_E	5	5	3	3	3	5	5	4	4	oorzaak van:	Afval								
zettingen_M					13	6	6	5	5	oorzaak van:	Afval								
zettingen_E					13	6	6	4	4	oorzaak van:	Afval								
															o				
externe corrosie	5	5	5	5	13	6	6	6	6	oorzaak van:	Drinkwater	0,95	0,04	0,01	1				
graafschade	2	2	6	6	1	3	3	6	6	oorzaak van:	Drinkwater	0,33	0,33	0,34	1	1	0,8	0,15	0,05
graafschade					4	n.v.t.	4	6	6	oorzaak van:	Drinkwater								
graafschade					13	4	4	6	6	oorzaak van:	Drinkwater								
werk aan installaties derden	4	4	5	5	4	n.v.t.	5	6	6	oorzaak van:	Drinkwater	0,6	0,2	0,2	1				
werk aan installaties derden					13	5	5	6	6	oorzaak van:	Drinkwater								
mechanische belastingen	4	4	3	3	13	5	5	4	4	oorzaak van:	Drinkwater	0,8	0,15	0,05	1				
zettingen_M	3	3	5	5	3	4	4	5	5	oorzaak van:	Drinkwater	0,8	0,15	0,05	1				
zettingen_E	3	3	5	3	3	4	4	4	4	oorzaak van:	Drinkwater								
zettingen_M					13	4	4	5	5	oorzaak van:	Drinkwater								
zettingen_E					13	4	4	4	4	oorzaak van:	Drinkwater								
															o				
externe corrosie	4	4	4	4	13	5	5	5	5	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1	1				
interne corrosie	4	4	4	4	13	5	5	5	5	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1	1				
graafschade	2	2	6	6	1	3	3	n.v.t.	n.v.t.	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1	1	1	gelijk	gelijk	gelijk
graafschade					4	n.v.t.	4	6	6	oorzaak van:	Elektriciteit								
graafschade					13	4	4	6	6	oorzaak van:	Elektriciteit								
werk aan installaties	4	4	4	4	4	n.v.t.	5	5	5	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1	1				
werk aan installaties derden	4	4	4	4	4	n.v.t.	5	5	5	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1	1				
werk aan installaties derden					13	5	5	5	5	oorzaak van:	Elektriciteit								
mechanische belastingen	3	3	2	2	13	4	4	4	4	oorzaak van:	Elektriciteit	o	o	1	1				
graafschade	4	4	6	6	1	5	5	n.v.t.	n.v.t.	oorzaak van:	Warmte	0,05	0,1	0,85	1	1	0,33	0,33	0,34
graafschade					4	n.v.t.	5	6	6	oorzaak van:	Warmte								
graafschade					13	5	5	6	6	oorzaak van:	Warmte								
werk aan installaties	5	5	5	5	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Warmte	0,8	0,1	0,1	1				
werk aan installaties derden	6	6	6	5	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Warmte	0,05	0,1	0,85	1				
werk aan installaties derden					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Warmte								
mechanische belastingen	6	6	5	5	13	6	6	6	6	oorzaak van:	Warmte	0,05	0,1	0,85	1				
zettingen_M	5	5	5	5	3	5	5	5	5	oorzaak van:	Warmte	0,05	0,1	0,85	1				
zettingen_E	5	5	3	3	3	5	5	4	4	oorzaak van:	Warmte								
zettingen_M					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Warmte								
zettingen_E					13	6	6	5	5	oorzaak van:	Warmte								
															o				

8 oorzaken	Kans Bo	Kans B1	Kans B2	Kans B3	Maatregel	Kans Bo	Kans B1	Kans B2	Kans B3		Lekkage	klein	middel	groot		Maatregel	klein	middel	groot
externe corrosie	5	5	5	5	13	6	6	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen	0,8	0,1	0,1	1				
fabricagefouten	4	4	4	4	13	5	5	5	5	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen	0,8	0,1	0,1	1				
graafschade	3	3	6	6	1	4	4	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen	0,1	0,2	0,7	1	1	0,33	0,33	0,34
graafschade					4	n.v.t.	4	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen								
graafschade					13	4	4	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen								
werk aan installaties	5	5	5	6	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen	0,8	0,1	0,1	1				
werk aan installaties derden	5	5	5	4	4	n.v.t.	6	6	5	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen	0,1	0,2	0,7	1				
werk aan installaties derden					13	6	6	6	5	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen								
zettingen_M	5	5	6	6	3	5	5	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen	0,8	0,1	0,1	1				
zettingen_E	5	5	3	3	3	5	5	4	4										
zettingen_M					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen				0				
zettingen_E					13	6	6	5	5	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen								
															0				
interne corrosie	5	5	5	5	13	6	6	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,6	0,3	0,1	1				
fabricagefouten	3	3	3	3	13	5	5	5	5	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,9	0,08	0,02	1				
graafschade	3	3	6	6	1	4	4	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,33	0,33	0,34	1	1	0,8	0,15	0,05
graafschade					4	n.v.t.	4	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer								
graafschade					13	4	4	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer								
werk aan installaties	5	5	6	6	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,8	0,1	0,1	1				
werk aan installaties derden	5	5	5	5	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,8	0,1	0,1	1				
werk aan installaties derden					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer								
mechanische belastingen	2	2	3	3	13	4	4	5	5	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,7	0,2	0,1	1				
zettingen_M										oorzaak van:	Riool droog weer afvoer								
zettingen_E										oorzaak van:	Riool droog weer afvoer								
zettingen_M	2	2	6	6	13	4	4	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer								
zettingen_E	2	2	2	2	3	4	4	4	4	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,7	0,2	0,1	1				
															0				
fabricagefouten	5	5	5	5	13	6	6	6	6	oorzaak van:	Stoom	0,85	0,1	0,05	1				
graafschade	4	4	6	6	1	5	5	6	6	oorzaak van:	Stoom	0,01	0,05	0,94	1	1	0,1	0,4	0,5
graafschade					4	n.v.t.	5	6	6	oorzaak van:	Stoom								
graafschade					13	5	5	6	6	oorzaak van:	Stoom								
werk aan installaties	5	5	5	5	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Stoom	0,85	0,1	0,05	1				
werk aan installaties derden	6	6	6	5	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Stoom	0,33	0,33	0,34	1				
werk aan installaties derden					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Stoom								
mechanische belastingen	6	6	5	5	13	6	6	6	6	oorzaak van:	Stoom	0,01	0,05	0,94	1				
zettingen_M	5	5	5	5	3	5	5	5	5	oorzaak van:	Stoom	0,01	0,05	0,94	1				
zettingen_E	5	5	3	3	3	5	5	4	4	oorzaak van:	Stoom	0,01	0,05	0,94	1				
zettingen_M					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Stoom								
zettingen_E					13	6	6	5	5	oorzaak van:	Stoom								
externe corrosie	4	4	4	4	13	5	5	5	5	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1	1				
fabricagefouten	3	3	3	3	13	5	5	5	5	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1	1				
graafschade	2	2	6	6	1	3	3	6	6	oorzaak van:	Perslucht	0,1	0,2	0,7	1	1	0,3	0,3	0,4
graafschade					4	n.v.t.	4	6	6	oorzaak van:	Perslucht								
					13	4	4	6	6	oorzaak van:	Perslucht								
werk aan installaties	4	4	4	5	4	n.v.t.	5	5	6	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1	1				
werk aan installaties derden	5	5	5	4	4	n.v.t.	6	6	5	oorzaak van:	Perslucht	0,1	0,2	0,7	1				
werk aan installaties derden					13	6	6	6	5	oorzaak van:	Perslucht								
zettingen_M	5	5	6	6	3	5	5	6	6	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1	1				
zettingen_E	5	5	3	3	3	5	5	4	4	oorzaak van:	Perslucht								
zettingen_M					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1	1				
zettingen_E					13	6	6	5	5	oorzaak van:	Perslucht								
															0				
graafschade	5	5	n.v.t.	n.v.t.	1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	oorzaak van:	Ontstekingsbron					1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

8 oorzaken	Kans Bo	Kans B1	Kans B2	Kans B3	Maatregel	Kans Bo	Kans B1	Kans B2	Kans B3		Lekkage	klein	middel	groot		Maatregel	klein	middel	groot
externe corrosie	5	5	5	5	13	6	6	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen	0,8	0,1	0,1	1				
fabricagefouten	4	4	4	4	13	5	5	5	5	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen	0,8	0,1	0,1	1				
graafschade	3	3	6	6	1	4	4	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen	0,1	0,2	0,7	1	1	0,33	0,33	0,34
graafschade					4	n.v.t.	4	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen								
graafschade					13	4	4	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen								
werk aan installaties	5	5	5	6	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen	0,8	0,1	0,1	1				
werk aan installaties derden	5	5	5	4	4	n.v.t.	6	6	5	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen	0,1	0,2	0,7	1				
werk aan installaties derden					13	6	6	6	5	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen								
zettingen_M	5	5	6	6	3	5	5	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen	0,8	0,1	0,1	1				
zettingen_E	5	5	3	3	3	5	5	4	4										
zettingen_M					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen				0				
zettingen_E					13	6	6	5	5	oorzaak van:	Vloeibare brandstoffen								
															0				
interne corrosie	5	5	5	5	13	6	6	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,6	0,3	0,1	1				
fabricagefouten	3	3	3	3	13	5	5	5	5	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,9	0,08	0,02	1				
graafschade	3	3	6	6	1	4	4	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,33	0,33	0,34	1	1	0,8	0,15	0,05
graafschade					4	n.v.t.	4	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer								
graafschade					13	4	4	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer								
werk aan installaties	5	5	6	6	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,8	0,1	0,1	1				
werk aan installaties derden	5	5	5	5	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,8	0,1	0,1	1				
werk aan installaties derden					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer								
mechanische belastingen	2	2	3	3	13	4	4	5	5	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,7	0,2	0,1	1				
zettingen_M										oorzaak van:	Riool droog weer afvoer								
zettingen_E										oorzaak van:	Riool droog weer afvoer								
zettingen_M	2	2	6	6	13	4	4	6	6	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer								
zettingen_E	2	2	2	2	3	4	4	4	4	oorzaak van:	Riool droog weer afvoer	0,7	0,2	0,1	1				
															0				
fabricagefouten	5	5	5	5	13	6	6	6	6	oorzaak van:	Stoom	0,85	0,1	0,05	1				
graafschade	4	4	6	6	1	5	5	6	6	oorzaak van:	Stoom	0,01	0,05	0,94	1	1	0,1	0,4	0,5
graafschade					4	n.v.t.	5	6	6	oorzaak van:	Stoom								
graafschade					13	5	5	6	6	oorzaak van:	Stoom								
werk aan installaties	5	5	5	5	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Stoom	0,85	0,1	0,05	1				
werk aan installaties derden	6	6	6	5	4	n.v.t.	6	6	6	oorzaak van:	Stoom	0,33	0,33	0,34	1				
werk aan installaties derden					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Stoom								
mechanische belastingen	6	6	5	5	13	6	6	6	6	oorzaak van:	Stoom	0,01	0,05	0,94	1				
zettingen_M	5	5	5	5	3	5	5	5	5	oorzaak van:	Stoom	0,01	0,05	0,94	1				
zettingen_E	5	5	3	3	3	5	5	4	4	oorzaak van:	Stoom	0,01	0,05	0,94	1				
zettingen_M					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Stoom								
zettingen_E					13	6	6	5	5	oorzaak van:	Stoom								
externe corrosie	4	4	4	4	13	5	5	5	5	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1	1				
fabricagefouten	3	3	3	3	13	5	5	5	5	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1	1				
graafschade	2	2	6	6	1	3	3	6	6	oorzaak van:	Perslucht	0,1	0,2	0,7	1	1	0,3	0,3	0,4
graafschade					4	n.v.t.	4	6	6	oorzaak van:	Perslucht								
					13	4	4	6	6	oorzaak van:	Perslucht								
werk aan installaties	4	4	4	5	4	n.v.t.	5	5	6	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1	1				
werk aan installaties derden	5	5	5	4	4	n.v.t.	6	6	5	oorzaak van:	Perslucht	0,1	0,2	0,7	1				
werk aan installaties derden					13	6	6	6	5	oorzaak van:	Perslucht								
zettingen_M	5	5	6	6	3	5	5	6	6	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1	1				
zettingen_E	5	5	3	3	3	5	5	4	4	oorzaak van:	Perslucht								
zettingen_M					13	6	6	6	6	oorzaak van:	Perslucht	0,8	0,1	0,1	1				
zettingen_E					13	6	6	5	5	oorzaak van:	Perslucht								
															0				
graafschade	5	5	n.v.t.	n.v.t.	1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	oorzaak van:	Ontstekingsbron					1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

Gegeven (voor Aardgas): Maatregel 44				Bo klein	Bo middel	Bo groot	B1 klein	B1 middel	B1 groot	B2 klein	B2 middel	B2 groot	B3 klein	B3 middel	B3 groot
Brand	leidt tot	Beschadiging_andere_leidingen	geen	0,9	0,2	0	0,8	0,1	0	0	0	0	0	0	0
			weing	0,1	0,6	0,5	0,2	0,5	0,3	0,2	0	0	0,2	0	0
			veel	0	0,2	0,5	0	0,4	0,7	0,8	1	1	0,8	1	1
Brand		Schade_aan_omgeving	geen	1	1	1	1	1	1	0,9	0,6	0,5	0,9	0,6	0,5
		44	weing	0	0	0	0	0	0	0,1	0,3	0,25	0,1	0,3	0,25
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,25	0	0,1	0,25
Brand		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	1	1	1	1	1	0,999	0,99	0,997	0,989	0,9	0,6
		44	weing	0	0	0	0	0	0	0,001	0,01	0,002	0,01	0,05	0,2
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,001	0,05	0,2
Brand		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	1	1	1	1	0,99999	0,999	0,989	0,99999	0,9999	0,9989
		44	weing	0	0	0	0	0	0	0,00001	0,001	0,01	1E-06	0,0001	0,001
			veel	0	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0,0001
Brand		Rendement_lager	geen	0,9	0,2	0	0,8	0,1	0	0	0	0	0	0	0
			weing	0,1	0,6	0,5	0,2	0,5	0,3	0,2	0	0	0,2	0	0
			veel	0	0,2	0,5	0	0,4	0,7	0,8	1	1	0,8	1	1
Explosie		Beschadiging_andere_leidingen	geen	1	1	0,8	1	1	0,5	1	1	0,001	1	1	0,001
			weing	0	0	0,2	0	0	0,5	0	0	0,1	0	0	0,01
			veel	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,9	0	0	0,99
Explosie		Schade_aan_omgeving	geen	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	0,1	1	1	0,1
			weing	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,8	0	0	0,8
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,1	0	0	0,1
Explosie		Onveiligheid_medewerkers	geen	1	1	0,989	1	1	0,989	1	1	0,89	1	1	0,15
			weing	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,1	0	0	0,4
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,45
Explosie		Onveiligheid_omgeving	geen	1	1	0,9989	1	1	0,9989	1	1	0,989	1	1	0,989
			weinig	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,01
			veel	0	0	0,0001	0	0	0,0001	0	0	0,001	0	0	0,001
Explosie		Rendement_lager	geen	1	1	0,799	1	1	0,49	1	1	0	1	1	0
			weinig	0	0	0,2	0	0	0,5	0	0	0,1	0	0	0,01
			veel	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,9	0	0	0,99

Gegeven (voor H2):				Bo	Bo	Bo	B1	B1	B1	B2	B2	B2	B3	B3	B3
Maatregel 44				klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot
brand	leidt tot	beschadigen andere leidingen	geen	0,9	0,2	0	0,8	0,1	0	0	0	0	0	0	0
			weing	0,1	0,6	0,5	0,2	0,5	0,3	0,2	0	0	0,2	0	0
			veel	0	0,2	0,5	0	0,4	0,7	0,8	1	1	0,8	1	1
brand		schade aan omgeving	geen	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0,9	0,6	0,5	0,9	0,6	0,5
		44	weing	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0,1	0,3	0,25	0,1	0,3	0,25
			veel	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0	0,1	0,25	0	0,1	0,25
brand		onveiligheid werknemers	geen	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0,999	0,99	0,997	0,989	0,9	0,6
		44	weing	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0,001	0,01	0,002	0,01	0,05	0,2
			veel	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0	0	0,001	0,001	0,05	0,2
brand		onveiligheid omgeving	geen	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0,99999	0,999	0,989	0,99999	0,9999	0,9989
		44	weing	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0,00001	0,001	0,01	1E-06	0,0001	0,001
			veel	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0	0	0,001	0	0	0,0001
brand		lager rendement levering derden	geen	0,9	0,2	0	0,8	0,1	0	0	0	0	0	0	0
			weing	0,1	0,6	0,5	0,2	0,5	0,3	0,2	0	0	0,2	0	0
			veel	0	0,2	0,5	0	0,4	0,7	0,8	1	1	0,8	1	1
explosie		beschadigen andere leidingen	geen	0	0	0,8	0	0	0,5	0	0	0,001	0	0	0,001
			weing	0	0	0,2	0	0	0,5	0	0	0,1	0	0	0,01
			veel	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,9	0	0	0,99
explosie		schade aan omgeving	geen	0	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0,1
			weing	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,8	0	0	0,8
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,1	0	0	0,1
explosie		onveiligheid werknemers	geen	0	0	0,989	0	0	0,989	0	0	0,89	0	0	0,15
			weing	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0,1	0	0	0,4
			veel	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,45
explosie		onveiligheid omgeving	geen	0	0	0,9989	0	0	0,9989	0	0	0,989	0	0	0,989
			weing	0	0	0,001	0	0	0,001	0	0	0,01	0	0	0,01
			veel	0	0	0,0001	0	0	0,0001	0	0	0,001	0	0	0,001
explosie		lager rendement levering derden	geen			0,8			0,5			0,001			0,001
			weing			0,2			0,5			0,1			0,01
			veel			0,001			0,01			0,9			0,99

Gegeven (voor Vl. Brandstoffen (heptaan)):				Bo	Bo	Bo	B1	B1	B1	B2	B2	B2	B3	B3	B3
				klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot	klein	middel	groot
Lager rendement van het product	leidt tot	Klantschade	geen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lagere productkwaliteit			weing	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
			veel	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
brand	leidt tot	beschadigen andere leidingen	geen	o,9	o,2	o	o,8	o,1	o	o	o	o	o	o	o
			weing	o,1	o,6	o,5	o,2	o,5	o,3	o,2	o	o	o,2	o	o
			veel	o	o,2	o,5	o	o,4	o,7	o,8	1	1	o,8	1	1
brand		schade aan omgeving	geen	o,9	o,2	o	o,8	o,1	o	o,9	o,2	o	o,9	o,2	o
			weing	o,1	o,6	o,5	o,2	o,5	o,3	o,1	o,6	o,5	o,1	o,6	o,5
			veel	o	o,2	o,5	o	o,4	o,7	o	o,2	o,5	o	o,2	o,5
brand		onveiligheid werknemers	geen	o,9999	o,999	o,989	o,9999	o,999	o,989	o,999	o,99	o,985	o,989	o,8	o,15
			weing	o,0001	o,001	o,01	o,0001	o,001	o,01	o,001	o,01	o,01	o,01	o,1	o,4
			veel	o	o	o,001	o	o	o,001	o	o	o,005	o,001	o,1	o,45
brand		onveiligheid omgeving	geen	o,99999	o,999	o,89	o,99999	o,999	o,89	o,99999	o,999	o,89	o,99999	o,9999	o,989
			weing	o,00001	o,001	o,1	o,00001	o,001	o,1	o,00001	o,001	o,1	o,000001	o,0001	o,01
			veel	o	o	o,01	o	o	o,01	o	o	o,01	o	o	o,001
explosie		beschadigen andere leidingen	geen	o	o	o,8	o	o	o,5	o	o	o,001	o	o	o,001
			weing	o	o	o,2	o	o	o,5	o	o	o,1	o	o	o,01
			veel	o	o	o,001	o	o	o,01	o	o	o,9	o	o	o,99
explosie		schade aan omgeving	geen	o	o	o,1	o	o	o,1	o	o	o,1	o	o	o,1
			weing	o	o	o,9	o	o	o,9	o	o	o,8	o	o	o,8
			veel	o	o	o,001	o	o	o,001	o	o	o,1	o	o	o,1
explosie		onveiligheid werknemers	geen	o	o	o,989	o	o	o,989	o	o	o,89	o	o	o,15
			weing	o	o	o,01	o	o	o,01	o	o	o,1	o	o	o,4
			veel	o	o	o,001	o	o	o,001	o	o	o,01	o	o	o,45
explosie		onveiligheid omgeving	geen	o	o	o,9989	o	o	o,9989	o	o	o,989	o	o	o,989
			weing	o	o	o,001	o	o	o,001	o	o	o,01	o	o	o,01
			veel	o	o	o,0001	o	o	o,0001	o	o	o,001	o	o	o,001