

Het RWSQRA-model voor wegtunnels

Versie 1.1, Definitief
28 april 2006

Rijkswaterstaat Bouwdienst
Steunpunt Tunnelveiligheid

Colofon

Het RWSQRA-model voor wegtunnels
Versie 1.1

Projectteam RWSQRA

ir. B.A. van den Horn
ing. J. Hoeksma
ir. N.M. Naaktgeboren
ir. E.J.M. Schoenmakers

Rijkswaterstaat Bouwdienst
Rijkswaterstaat Bouwdienst
Rijkswaterstaat Bouwdienst
Rijkswaterstaat Bouwdienst

Datum publicatie

28 april 2006

RWSQRA is onderdeel Deel B1 van de integrale veiligheidsfilosofie van het Steunpunt Tunnelveiligheid. Dit document vormt samen met Deel B2 (De Leidraad Scenarioanalyse voor Tunnels) het onderdeel veiligheidsbeschouwingen (deel B).

Registrationsnummer:

RWS 4818 - 2006 - 0091

Voorwoord

De verplichting tot het opstellen van risicoanalyses voor wegtunnels ligt onder meer verankerd in de Richtlijn 2004/54/EG van het Europees Parlement en de Raad van 29 april 2004 inzake minimumveiligheidseisen voor tunnels in het Trans-Europese wegennet.

Het begrip risicoanalyse is in artikel 13 van die richtlijn als volgt gedefinieerd: "Een risicoanalyse is een analyse van de risico's van een gegeven tunnel, waarbij rekening wordt gehouden met alle ontwerpaspecten en verkeersomstandigheden die van invloed zijn op de veiligheid." De lidstaten worden verplicht voor de analyse een gedetailleerde en duidelijk omschreven methodologie te gebruiken, die beantwoordt aan de best beschikbare praktijken. De Europese Commissie moet worden geïnformeerd over de toegepaste methodologie. Indien nodig zal de Europese Commissie uiterlijk op 30 april 2009 voorstellen doen voor de invoering van een algemene geharmoniseerde methodologie voor risicoanalyse.

In Nederland is besloten om zowel de kwantitatieve risicoanalyse als de scenarioanalyse als gelijkwaardige en elkaar aanvullende methodieken te hanteren om aan te tonen dat aan alle tunnelveiligheidseisen is voldaan en het gewenste veiligheidsniveau wordt bereikt.

Dit rapport, getiteld 'Het RWSQRA-model voor wegtunnels, versie 1.1' vormt de eerste stap op weg naar een gestandaardiseerde methodiek voor kwantitatieve risicoanalyse. Dit QRA-model is ontwikkeld door het Steunpunt Tunnelveiligheid van Rijkswaterstaat Bouwdienst. Daarnaast bestaat de 'Leidraad Scenarioanalyse voor Ongevallen in Tunnels, Deel 1: Wegtunnels' als de eerste stap op weg naar een gestandaardiseerde methodiek voor scenarioanalyse. Deze beide rapporten geven dus inhoud aan het wettelijke instrument risicoanalyse.

Voor het uitvoeren van kwantitatieve risicoanalyses op het gebied van de externe veiligheid zijn in de afgelopen jaren goed onderbouwde handleidingen ontwikkeld. Het standaardwerk voor de kwantitatieve risicoanalyse (externe veiligheid) in Nederland is het Paarse Boek. Veel kennis uit dit boekwerk op het gebied van effectmodellering is benut bij de totstandkoming van dit RWSQRA-model voor de interne veiligheid.

Het RWSQRA-model voor wegtunnels zal regelmatig worden geëvalueerd en indien nodig bijgesteld aan de hand van de praktijkervaringen, nieuwe inhoudelijke inzichten en eventuele ontwikkelingen op het gebied van wet- en regelgeving. Eind 2006 zal een nieuwe versie van de RWSQRA (versie 2.0) verschijnen.

ir. Evert Worm
Hoofd Steunpunt Tunnelveiligheid

Inhoud

1	Inleiding.....	8
1.1	ALGEMEEN.....	8
1.2	RISICBEREKENINGEN	8
1.3	REFERENTIEDOCUMENTEN.....	9
1.4	PLAATS VAN RWSQRA IN DE INTEGRALE VEILIGHEIDSFILOSOFIE.....	9
1.5	LEESWIJZER	10
2	Opzet model	11
2.1	ALGEMEEN.....	11
2.2	KANSENMODEL.....	11
2.3	GEVOLGENMODEL	14
2.4	RISICO	14
2.5	VERANTWOORDING	15
3	Invoer en berekeningen	16
3.1	INLEIDING	16
3.2	START EN INVOER RWSQRA	19
4	Uitvoer.....	20
5	Aannamen.....	21
5.1	AANNAMEN GEBEURTENISSENBOOM	21
5.2	AANNAMEN GEVOLGENMODEL	22
	Bijlage 1: Gebeurtenissenboom.....	29
	Bijlage 2: Gevolgenmodel	39
	Referenties	52

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Voor de berekening van de risico's in tunnels voor wegverkeer heeft het Steunpunt Tunnelveiligheid van de Rijkswaterstaat een model voor kwantitatieve risicoanalyse ontwikkeld: het RWSQRA-model voor wegtunnels. QRA staat voor Quantitative Risk Analysis en is de veel gebruikte afkorting voor een kwantitatieve risicoanalyse. In dit document wordt het model beschreven.

Het RWSQRA-model bestaat uit een QRA-programma met een beschrijving. Het RWSQRA-model is ontwikkeld voor de berekening van de risico's voor de weggebruikers in de tunnel. Versie 1.1 maakt nog gebruik van een 2000 ontwikkeld Excel programma waar een gebruikersvriendelijke schil omheen geprogrammeerd is. Momenteel wordt nog gewerkt aan een verbeterd model (geprogrammeerd in Delphi). Naar verwachting zal versie 2.0 eind 2006 beschikbaar komen.

Deze beschrijving behelst onder meer:

- de door de gebruiker te verzamelen invoervariabelen;
- de uitvoer van het programma;
- de modelaannamen en de werking van het model.

In de risicoanalyse wordt waar mogelijk gebruik gemaakt van gevalideerde gegevensbronnen (bijvoorbeeld erkende databases) voor kansen en effecten. Daar waar geen literatuurgegevens voorhanden zijn, worden de waarden voor kansen en effecten onderbouwd met de inschattingen door experts.

1.2 Risicoberekeningen

De in het model berekende risico's hebben alleen betrekking op de risico's ten gevolge van het gebruik van de tunnel. Risico's ten gevolge van externe invloeden, zoals vallende ankers, zinkende schepen, aardbevingen en dergelijke, zijn niet in het model opgenomen.

Bij de berekeningen wordt, zoals gebruikelijk is bij risicoanalyses, gebruik gemaakt van de volgende relatie:

$$\text{Risico} = \text{Kans} \cdot \text{Gevolg}$$

Bij de bepaling van het risico wordt gebruik gemaakt van een gebeurtenissenboom. Hierin worden alle bekende relevante (ongewenste) gebeurtenissen opgenomen die bepalend zijn voor het risico.

Het gevolg dat per incident wordt beschouwd, is het aantal weggebruikers dat overlijdt ten gevolge van het incident in de tunnel.

Bij tunnels is het kenmerkende de zijwaartse en verticale opsluiting die vooral bij een voertuigbrand en/of een uitstroming van gevaarlijke stoffen een negatieve rol kan spelen. Deze incidenten hebben kleine kansen maar potentieel grote gevolgen. Het model richt zich vooral op het berekenen van de risico's van deze incidenten. Inci-

denten zonder uitstroming van gevaarlijke stoffen en/of brand, de 'gewone' incidenten, zijn minder kenmerkend omdat de directe gevolgen niet veel zullen verschillen van de situatie op de open weg (hoewel de bereikbaarheid van de plaats van het incident en de beschikbare werkruimte wel verschillend zijn).

Het model is alleen geschikt voor het berekenen van risico's in tunnelbuizen met éénrichtingsverkeer met of zonder mechanische langsventilatie.

1.3 Referentiedocumenten

Specifieke informatie over incidenten met gevaarlijke stoffen in tunnels is slechts heel beperkt aanwezig. Daarom wordt voor het berekenen van de risico's ten gevolge van het vrijkomen van gevaarlijke stoffen in tunnels veel gebruik gemaakt van de onderzoeken op het gebied van (de kwantitatieve risicoanalyses voor) de externe veiligheid. Bij externe veiligheid wordt de veiligheid beschouwd van de aanwezigen in de omgeving van, maar niet deelnemend aan, de risicoveroorzakende activiteit. Hiervoor bestaan reeds rekenmethoden die beschreven zijn in de gekleurde boeken van de Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen:

- het Rode Boek [1] 'methoden voor het bepalen en verwerken van kansen';
- het Groene Boek [2] 'methoden voor het bepalen van mogelijke schade' waarmee schade aan personen en goederen door het vrijkomen van gevaarlijke stoffen berekend kan worden;
- het Gele Boek [3] 'methoden voor het berekenen van fysische effecten' waarmee de fysische effecten van vrijgekomen gevaarlijke stoffen berekend kunnen worden;
- het Paarse Boek [4] 'Richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyse'; hierin zijn onderdelen opgenomen die nog niet zijn opgenomen in de overige gekleurde boeken én onderdelen die wel eerder in één van de andere gekleurde boeken waren opgenomen maar sindsdien door nieuw onderzoek of gewijzigde inzichten veranderd zijn.

Deze publicaties hebben betrekking op het vrijkomen van gevaarlijke stoffen in de atmosfeer uit zowel industriële installaties en opslagfaciliteiten als transportmiddelen.

Daarnaast zijn voor de externe veiligheid van het transport van gevaarlijke stoffen over de weg ook nog aanvullende onderdelen van de rekenmethodiek beschreven in andere documenten, onder andere:

- 'Systematiek voor indeling van stoffen ten behoeve van risicoberekeningen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen' [5] waarin de indeling van gevaarlijke stoffen in, bij de risicoberekeningen gehanteerde, stofcategorieën wordt beschreven en per categorie een voorbeeldstof wordt gegeven.
- 'Fundamenteel onderzoek naar kanscijfers voor risicoberekeningen bij wegtransport gevaarlijke stoffen' [6] waarin de afleiding van de vervolgekans op "uitstroming gegeven een letselongeval" wordt beschreven.
- 'Handleiding risicoberekening wegtransport gevaarlijke stoffen: bepaling faalkansen' [7].

1.4 Plaats van RWSQRA in de integrale veiligheidsfilosofie

Het Steunpunt Tunnelveiligheid van de Rijkswaterstaat Bouwdienst heeft een integrale benaderingswijze voor de veiligheidsproblematiek van ondergrondse verkeersinfrastructuur geformuleerd. Samengevat omvat deze filosofie 5 hoofdonderdelen:

- A. Normen, richtlijnen en uitgangspunten.
- B. Veiligheidsbeschouwingen, onderverdeeld in:
 - B1: de kwantitatieve (probabilistische) risicoanalyse;
 - B2: de scenarioanalyse (deterministische risicoanalyse).
- C. Basismaatregelen.
- D. Aanvullende maatregelen en hun effectiviteit.
- E. De veiligheidsorganisatie.

Het RWSQRA-model is bedoeld voor veiligheidsbeschouwing B1.

Op het gebied van veiligheid in tunnels zijn er op moment van schrijven allerlei ontwikkelingen gaande; het betreft zowel de regelgeving (nationaal en internationaal) als het ontwikkelen van nieuwe technieken en maatregelen. Deze kwantitatieve risicoanalyse zal daarom al in de loop van 2006 worden aangepast aan deze ontwikkelingen en worden vervangen door geprogrammeerde software waarin de laatste inzichten zijn verwerkt. Deze aangepaste versie van het RWSQRA-model zal op de website van het Steunpunt Tunnelveiligheid: www.tunnelsafety.nl worden geplaatst.

Om de kwaliteit van het RWSQRA-model verder te verbeteren vragen wij de gebruiker om onduidelijkheden en overig commentaar door te geven aan het Steunpunt Tunnelveiligheid (www.tunnelsafety.nl).

1.5 Leeswijzer

Dit achtergronddocument is als volgt opgebouwd:

- In hoofdstuk 2 wordt de opzet van het model beschreven.
- In hoofdstuk 3 worden de (door de gebruiker te verzamelen) invoervariabelen, de daaruit berekende variabelen en de aangehouden default of vaste waarden beschreven.
- In hoofdstuk 4 wordt de uitvoer beschreven.
- In hoofdstuk 5 worden de aannamen van de gebeurtenissenboom en het effecten model belicht.
- Bijlage 1 beschrijft de gebeurtenissenboom.
- Bijlage 2 beschrijft het gevolgenmodel.

Bij behoefte aan toelichting over de in het rapport beschreven veiligheidsvoorzieningen en veiligheidsonderwerpen, zoals langsventilatie, detectievoorzieningen, communicatiemiddelen, brandbescherming en vluchtvoorzieningen wordt verwezen naar de VRC-Richtlijnen [8].

2 Opzet model

2.1 Algemeen

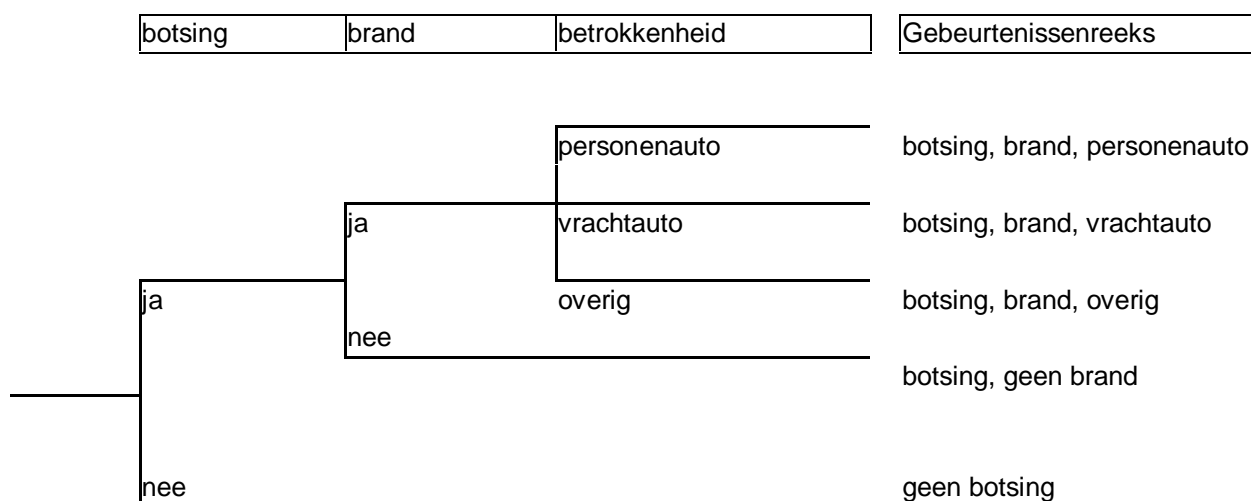
RWSQRA bestaat uit:

- een op gebeurtenissenboomanalyse gebaseerd model voor de berekening van een reeks kansen van optreden van ongevalsscenario's (het kansenmodel; zie paragraaf 2.2);
- een model waarbij per ongevalsscenario een effect wordt berekend (het gevolgenmodel; zie paragraaf 2.3);
- een model voor het berekenen van het risico (het risico; zie paragraaf 2.4);
- een beschrijving van de in- en uitvoer (zie hoofdstuk 3 en 4).

2.2 Kansenmodel

Het kansenmodel in RWSQRA bestaat uit één gebeurtenissenboom. Met de gebeurtenissenboom worden alle voor het risico relevante scenario's in beeld gebracht. Deze gebeurtenissenboom heeft de structuur van 16 opeenvolgende *vervolggebeurtenissen of condities*, in dit document kortweg *gebeurtenissen* genoemd.

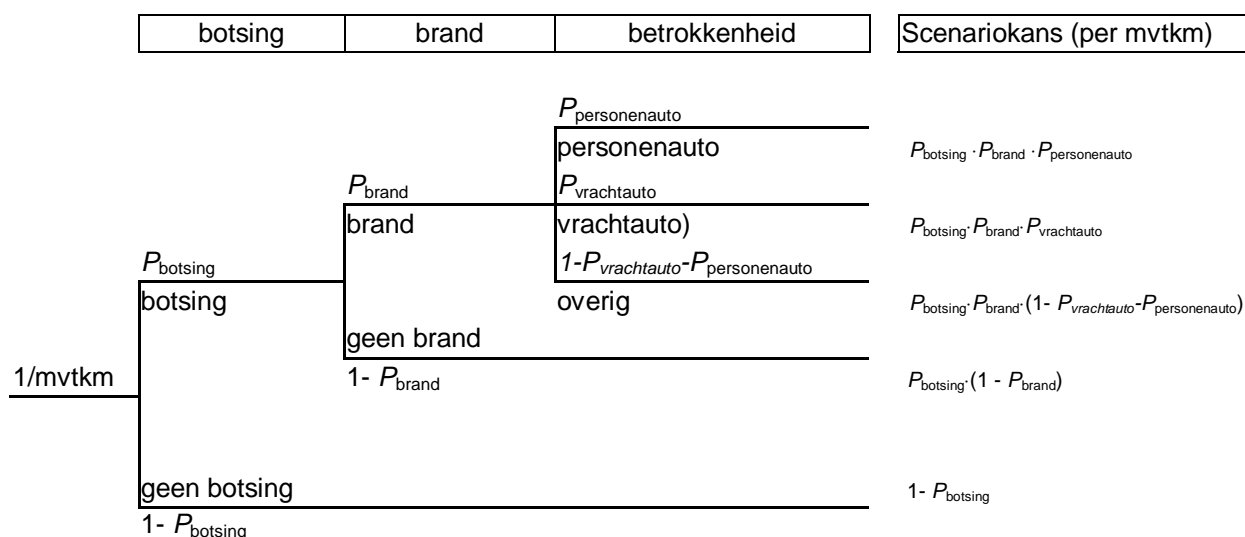
Voor de begripsvorming volgt nu een vereenvoudigde weergave van deze structuur. In Figuur 1 zijn als voorbeeld twee fictieve¹ gebeurtenissen weergegeven die elk wel of niet kunnen optreden. In dit geval betreft dit een botsing en een brand na een botsing. Voorts is een conditie weergegeven (hier het type voertuig betrokken bij de door brand gevolgde botsing). In dit voorbeeld zijn er dus vijf mogelijke verlopen van de gebeurtenissenreeks.



Figuur 1: Voorbeeld vereenvoudigde gebeurtenissenboomstructuur

¹ Met fictief wordt bedoeld dat dit eenvoudige voorbeeld weinig met het werkelijke RWS QRA-model van doen heeft !

Van elk scenario, dit is een reeks van achtereenvolgende gebeurtenissen, wordt de kans bepaald voor één voertuigkilometer. Bijvoorbeeld de gebeurtenisreeks: 'botsing, brand, personenauto' heeft een kans van optreden die bestaat uit het product van de kans $P_{botsing}$, de kans P_{brand} en de kans $P_{personenauto}$. Op elk knooppunt dienen de vertakkingen alle, en elkaar uitsluitende, gebeurtenissen te bevatten. Dit betekent dat bij elke vertakking de som van de deeltkansen 1 is. In Figuur 2 zijn de kansen van het in Figuur 1 gegeven voorbeeld aangegeven.



Figuur 2: Voorbeeld vereenvoudigde gebeurtenissenboomstructuur met kansen

Voor het werkelijke RWSQRA-model geldt - geheel in lijn met het zojuist beschreven vereenvoudigde fictieve voorbeeld - dat de kans van optreden van elk scenario bestaat uit de vermenigvuldiging van een reeks van 16 kansen behorend bij de gebeurtenissen (zie Tabel 1). Elke kans op een bepaalde gebeurtenis wordt óf rechtstreeks ingevoerd, óf uitgerekend met een formule. In deze formules worden tunnelspecifieke en generieke variabelen gecombineerd. Alle tunnelspecifieke en sommige generieke variabelen hebben een standaard beginwaarde en zijn door de gebruikers veranderbaar via de invoervariabelen. De overige generieke variabelen (de zogenaamde vaste waarden) zijn slechts veranderbaar door de ontwikkelaars van RWSQRA.

Tabel 1 *Gebeurtenissen in RWSQRA* (Zie ook de primaire gebeurtenissenboom in Bijlage 1)

Tak No	Gebeurtenis	Onderverdeling naar:
01	Tijdstip incident	periode van een etmaal: <ul style="list-style-type: none"> • spits; • dag; • nacht.
02	Tegenverkeer	<ul style="list-style-type: none"> • wel tegenverkeer; • geen tegenverkeer.
03	File benedenstrooms	<ul style="list-style-type: none"> • wel een file benedenstrooms; • geen file benedenstrooms.

Tak No	Gebeurtenis	Onderverdeling naar:
04	primair incident	type incident: <ul style="list-style-type: none"> • pech; • UMS (ongeval met Uitsluitend Materiele Schade); • letsel; • geen incident.
05	Betrokken voertuig	<ul style="list-style-type: none"> • personenauto's (en motoren); • bussen; • zwaar verkeer.
06	Transport gevaarlijke stoffen	<ul style="list-style-type: none"> • vrachtauto's zonder of met niet-brandbare lading; • vrachtauto's met brandbare lading,; • (tankauto's met) gevaarlijke stoffen.
07	Soort stof	stofklassen voor gevaarlijke ladingen: <ul style="list-style-type: none"> • brandbare vloeistoffen; • brandbare tot vloeistof verdichte gassen; • toxische vloeistoffen; • toxische tot vloeistof verdichte gassen; • explosieven.
08	Uitstroming	<ul style="list-style-type: none"> • geen uitstroming, of uitstroming < 100kg; • uitstroming uit atmosferische tankwagens gegeven een letselongeval; • uitstroming uit druktankwagens gegeven een letselongeval.
09	Grootte uitstroming	<p>grootte van de uitstroming voor <i>gassen</i> (druktankwagens):</p> <ul style="list-style-type: none"> • instantane uitstroming tot vloeistof verdicht gas; • continue uitstroming tot vloeistof verdicht gas; • 'niet relevante' uitstroming tot vloeistof verdicht gas; <p><i>of:</i></p> <p>grootte van de uitstroming voor <i>vloeistoffen</i> (atmosferische tankwagens):</p> <ul style="list-style-type: none"> • instantane vloeistof uitstroming; • grote continue vloeistof uitstroming; • kleine continue vloeistof uitstroming.
10	Brand	Brand (of ontsteking bij gevaarlijke stoffen) <ul style="list-style-type: none"> • brand; • geen brand.
11	File bovenstrooms incident	<ul style="list-style-type: none"> • geen file bovenstrooms incident; • wel een file bovenstrooms het incident.
12	Detectie	<ul style="list-style-type: none"> • detectie incident; • geen detectie incident.
13	Actie operator na detectie	<ul style="list-style-type: none"> • actie van de operator; • geen actie van de operator.
14	Gebruik calamiteitenknop	<ul style="list-style-type: none"> • calamiteitenteknop gebruikt; • geen calamiteitenteknop gebruikt.
15	Automatische ventilatie	<ul style="list-style-type: none"> • geen automatische ventilatie; • wel automatische ventilatie.
16	Geblokkeerde vluchtdeur	<ul style="list-style-type: none"> • wel blokkade; • geen blokkade.

In bijlage 1 is de gebeurtenissenboom weergegeven.

2.3 Gevolgenmodel

Voor elk scenario bestaat het gevolg uit het aantal weggebruikers dat overlijdt ten gevolge van het incident.

Bij het aantal weggebruikers dat overlijdt ten gevolge van het incident worden drie typen slachtoffers onderscheiden:

- *de 'directe' slachtoffers*: de 'normale' verkeersdoden. Aangenomen wordt dat de invloed van de tunnel op het aantal slachtoffers gegeven een letselongeval verwaarloosbaar is. De tunnel is wel van invloed op de kans op letselongevallen.
- *de 'extra' slachtoffers*: de beknelden en/of zwaar gewonden in de direct bij een brand betrokken voertuigen die niet tijdig kunnen worden bevrijd en daardoor omkomen. Aangenomen wordt dat in de tunnel de bevrijding uit voertuigen wordt bemoeilijkt ten opzichte van de open weg en dus extra slachtoffers veroorzaakt.
- *de 'kleine-kans-grote-gevolgen' slachtoffers*: de niet direct bij het incident betrokken weggebruikers die, ten gevolge van de effecten van brand en/of uitstroming van gevaarlijke stoffen, niet tijdig kunnen vluchten en daardoor omkomen. De invloed van de tunnel op de omvang van deze groep is hierbij zeer groot.

In bijlage 2 is een verdere beschrijving van het gevolgenmodel te vinden.

2.4 Risico

Het risico per scenario wordt bepaald door de kans op het scenario te vermenigvuldigen met het bijbehorende gevolg van het scenario:

$$\text{Risico} = \text{Kans} \cdot \text{Gevolg}$$

Daarna worden alle risico's van alle scenario's opgeteld. Op basis daarvan wordt bepaald:

- De verwachtingswaarde,
- Het groepsrisico.

Verwachtingswaarde:

De verwachtingswaarde is het gemiddeld aantal slachtoffers dat per jaar in de betreffende tunnel valt. De verwachtingswaarde wordt gebruikt voor het berekenen van het persoonlijke risico. Het persoonlijk risico geeft de kans per afgelegde kilometer voor een weggebruiker om in de tunnel te overlijden als gevolg van een incident in de betreffende tunnel. In de wetgeving wordt voor deze kans een maximale waarde aangegeven. Voor wegtunnels wordt een maximum van $1 \cdot 10^{-7}$ per persoonskilometer aangehouden.

Groepsrisico:

Het groepsrisico is de kans per jaar dat in één keer een groep mensen komt te overlijden bij een ongeval in de tunnel. Nieuwe wegtunnels in Nederland moeten voldoen aan de wettelijk vastgestelde waarde van $0,1/N^2$ per km/jr, waarin N het aan-

tal slachtoffers is. Het groepsrisico kan in beeld gebracht worden met een f-N curve. In deze grafiek wordt de overschrijdingsfrequentie $f(N)$ van ongelukken met N of meer doden op een dubbellogaritmische schaal weergegeven. Op deze wijze is de wettelijke eis voor het groepsrisico als een rechte lijn te zien.

2.5 Verantwoording

Reeds in 2000 zijn de aannamen en uitgangspunten in het model door de volgende externe bureau's beoordeeld:

- SAVE te Apeldoorn,
- DNV te Rotterdam,
- AVIV te Enschede,
- TNO te Apeldoorn,

Het model is intern bij de Bouwdienst gecontroleerd. Uit deze beoordeling en controle zijn enkele verbeterpunten gekomen die in deze versie verwerkt zijn. Daarnaast kwamen uit de beoordeling suggestie's voor uitbreidingen die niet in deze versie zijn verwerkt. Deze worden wel opgenomen in de komende versie. Hierbij moet gedacht worden aan:

- Nauwkeuriger beschrijving processen,
- Aanpassing modellering van fysische effecten aan nieuwe inzichten,
- Extra aannamen in het model en de onderbouwing daarvan.

3 Invoer en berekeningen

3.1 Inleiding

Belangrijke variabelen voor de interne veiligheid van een tunnel zijn onder andere de geometrie van de tunnel (lengte, breedte, hoogte, helling), de voorzieningen in de tunnel en de intensiteit en samenstelling van het verkeer. Bij voorzieningen moet in dit verband worden gedacht aan die voorzieningen in de tunnel die mede bepalend zijn voor de effecten van incidenten. De waarden van deze variabelen dienen door de gebruiker te worden ingevoerd. De invoervariabelen hebben betrekking op:

- geometrie;
- voorzieningen;
- motorvoertuigen;
- periode en verkeersintensiteiten;
- verkeerssamenstelling;
- file benedenstrooms;
- incidentkans;
- defaultwaarden volgend uit aannamen.

Tabel 2 toont de te kiezen invoervariabelen.

Tabel 2 *Invoervariabelen (vermelde waarden dienen slechts als voorbeeld)*

Symbool	Omschrijving	Waarde	Eenheid
L_buis	lengte (gesloten deel) van de tunnelbuis	2000	m
L_hor	lengte horizontale deel van de tunnelbuis	1200	m
L_neer	lengte neergaand deel van de tunnelbuis	$= (L_{\text{buis}} - L_{\text{hor}}) / 2$	m
L_op	lengte opgaand deel van de tunnelbuis	$= (L_{\text{buis}} - L_{\text{hor}}) / 2$	m
L_hart	hart-op-hart afstand van de vluchtdeuren	100	m
N_buis	aantal verkeersbuizen van de tunnel	1	-
N_rij	aantal rijstroken in de verkeersbuis	3	-

Symbol	Omschrijving	Waarde	Eenheid
A_vent	is een langsventilatiesysteem aanwezig?	Ja	-
A_luid	is een HF en/of luidsprekersysteem aanwezig?	Ja	-
A_bekl	is hittewerende bekleding aanwezig?	Ja	-
A_brand	is een branddetectiesysteem aanwezig? (CO-meting, zichtmeting of temperatuurmeting)	Ja	-
T_snelaut	reactietijd operator (afsluiten tunnelbuis) bij detectie ongeval	1	min

Symbol	Omschrijving	Waarde	Eenheid
V_auto	gemiddelde snelheid van personenauto's	100	km/uur
V_vrachtwagen_bus	gemiddelde snelheid van vrachtauto's en bussen	80	km/uur
N_auto	gemiddeld aantal inzittenden in een personenauto	1.5	pers/mvt
N_bus	gemiddeld aantal inzittenden in een bus	22	pers/mvt
N_vracht	gemiddeld aantal inzittenden in een vrachtauto	1	pers/mvt

Symbool	Omschrijving	Waarde	Eenheid
T_spits	gemiddeld aantal uren 'spits' per etmaal in de tunnelbuis	4	uur
T_nacht	gemiddeld aantal uren 'nacht' per etmaal in de tunnelbuis	8	uur
T_dag	gemiddeld aantal uren 'dag' (niet 'spits' of 'nacht') per etmaal in de tunnelbuis	= 24 - T_spits - T_nacht	uur
I_tb	verkeersintensiteit per jaar in de gehele tunnel	1.2e7	mvt/jaar
I_max	maximale verkeerscapaciteit per rijstrook	2000	mvt/uur
per_intensiteit_spits	% totale verkeersintensiteit/etmaal dat in spits gem./uur door tunnel gaat	8	%
per_intensiteit_nacht	% totale verkeersintensiteit/etmaal dat in nacht gem./uur door tunnel gaat	1	%
I_spitsuur	gemiddelde verkeersintensiteit in de tunnelbuis per 'spits-uur'	= (I_tb / 365) * (per_intensiteit_spits / 100) / N_buis	mvt/uur
I_nachtuur	gemiddelde verkeersintensiteit in de tunnelbuis per 'nachtuur'	= (I_tb / 365) * (per_intensiteit_nacht / 100) / N_buis	mvt/uur
I_daguur	gemiddelde verkeersintensiteit in de tunnelbuis per 'dag-uur'	= ((I_tb / 365 / N_buis) - (I_spitsuur * T_spits) - (I_nachtuur * T_nacht)) / T_dag	mvt/uur

Symbool	Omschrijving	Waarde	Eenheid
A_auto	fractie personenauto's (of motor)	0.85	-
A_bus	fractie bussen	0.01	-
A_vracht	fractie vrachtauto's	= 1 - A_auto - A_bus	-

Symbool	Omschrijving	Waarde	Eenheid
I_expl	aantal vrachtwagens geladen met explosieven (E) per jaar	0	mvt/jaar
I_LF1	aantal (volle) tankwagens met stofcategorie LF1 (brandbare vloeistof gevaarsklasse 1) per jaar in de tunnelbuis	7500	mvt/jaar
I_LF2	aantal (volle) tankwagens met stofcategorie LF2 (brandbare vloeistof gevaarsklasse 2) per jaar in de tunnelbuis	5000	mvt/jaar
I_LF	aantal (volle) tankwagens met brandbare vloeistof (LF) per jaar	= I_LF1 / 15 + I_LF2	mvt/jaar
I_LT	aantal (volle) equivalente tankwagens met stofcategorie LT2 (toxische vloeistof gevaarsklasse 2) per jaar in de tunnelbuis	500	mvt/jaar
I_GF	aantal (volle) equivalente tankwagens met stofcategorie GF3 (brandbaar tot vloeistof verdicht gas gevaarsklasse 3) per jaar in de tunnelbuis	1000	mvt/jaar
I_GT	aantal (volle) tankwagens met stofcategorie GT3 (toxisch tot vloeistof verdicht gas gevaarsklasse 3) per jaar in de tunnelbuis	100	mvt/jaar

Symbool	Omschrijving	Waarde	Eenheid
---------	--------------	--------	---------

N_spits	het aantal keer per etmaal dat er tijdens de periode 'spits' (nagenoeg) stilstaand verkeer in de buis komt te staan	0.7	1/etmaal
N_dag	het aantal keer per etmaal dat er tijdens de periode 'dag' (nagenoeg) stilstaand verkeer in de buis komt te staan	0.07	1/etmaal
N_nacht	het aantal keer per etmaal dat er tijdens de periode 'nacht' (nagenoeg) stilstaand verkeer in de buis komt te staan	0	1/etmaal

Symbool	Omschrijving	Waarde	Eenheid
F_pechneer	kans op pech op neergaande deel	5e-6	mvtkm-1
F_pechhor	kans op pech op horizontale deel	5e-6	mvtkm-1
F_pechop	kans op pech op opgaande deel	5e-6	mvtkm-1
F_pechgem	gemiddeld pechgeval	$= (F_{\text{pechneer}} * L_{\text{neer}} + F_{\text{pechhor}} * L_{\text{hor}} + F_{\text{pechop}} * L_{\text{op}}) / L_{\text{buis}}$	mvtkm-1
F_umsneer	kans op UMS ongevalop neergaande deel	1e-6	mvtkm-1
F_umshor	kans op UMS ongevalop horizontale deel	1e-6	mvtkm-1
F_umsop	kans op UMS ongeval op opgaande deel	1e-6	mvtkm-1
F_umsgem	gemiddeld umsgeval	$= (F_{\text{umsneer}} * L_{\text{neer}} + F_{\text{umshor}} * L_{\text{hor}} + F_{\text{umsop}} * L_{\text{op}}) / L_{\text{buis}}$	Eenheid
F_letselneer	kans op letselongeval op neergaande deel	1e-7	mvtkm-1
F_letselhor	kans op letselongeval op horizontale deel	1e-7	mvtkm-1
F_letselop	kans op letselongeval op opgaande deel	1e-7	mvtkm-1
F_letselgem	gemiddeld letsel	$= (F_{\text{letselneer}} * L_{\text{neer}} + F_{\text{letselhor}} * L_{\text{hor}} + F_{\text{letselop}} * L_{\text{op}}) / L_{\text{buis}}$	Eenheid
F_brand	kans op brand van een voertuig	2e-8	mvtkm-1

Symbool	Omschrijving	Waarde	Eenheid
A_brb	fractie van de vrachtauto's (niet geladen met explosieven en geen tankwagens met gevaarlijke stoffen) met een brandbare lading	0.5	-

Het model is oorspronkelijk opgezet als een spreadsheet voor intern gebruik bij RWS. Voor de gebruikersvriendelijkheid is er een gebruikersinterface om het spreadsheet gezet. Niet alle zaken zijn relevant voor de Nederlandse tunnels. Zo zijn de volgende zaken in de gebruikersinterface aangepast:

- Tegenverkeer is in Nederlandse tunnels door de verhoogde onveiligheid niet gewenst. Daartoe zijn alle variabelen die betrekking hebben op tegenverkeer vastgezet op: geen tegenverkeer.
- Het spreadsheet houdt rekening met ongevalfrequenties: pech, letsel en UMS die weer verder uitgesplitst worden naar: spits, dag en nacht. In de praktijk blijkt deze laatste uitsplitsing niet gebruikt te worden omdat deze gegevens niet bekend zijn. De uitsplitsing van de ongevalfrequenties blijft in de gebruikersinterface dus beperkt tot: pech, letsel en UMS voor het opgaande-, het neergaande- en het horizontale tunneldeel.

3.2 Start en invoer RWSQRA

De RWSQRA wordt gestart via het dubbelklikken op de file "RWSQRA.exe" die gevonden kan worden in de map: EXE. Het openingsscherm verschijnt en de gebruiker kan via de gebruikersinterface de door het programma benodigde gegevens invoeren.

De RWSQRA bestaat uit drie delen. Het eerste tabblad: "projectomschrijving" geeft de gebruiker de mogelijkheid een korte beschrijving van het project in te voeren. Het tweede tabblad "invoer" geeft de invoervelden waarin de gebruiker de specifieke data voor het project dient in te voeren. Op het beeld aan de onderzijde verschijnen de variabelen waarmee het programma gaat rekenen. De volgende invoervelden zijn beschikbaar:

- Groene invoervelden: De waarden in deze velden kunnen door de gebruiker worden aangepast binnen een gegeven domein. Alleen als alle invoerwaarden binnen het domein zijn ingevoerd, is een berekening mogelijk.
- Blauwe invoervelden: Deze velden zijn berekende resultaten en dienen om de invoer in de groene velden te kunnen controleren. Deze velden kunnen niet door de gebruiker worden aangepast.
- Rode invoervelden zijn vaste waarden die niet door de gebruiker aangepast kunnen worden, maar wel belangrijk zijn om te weten.

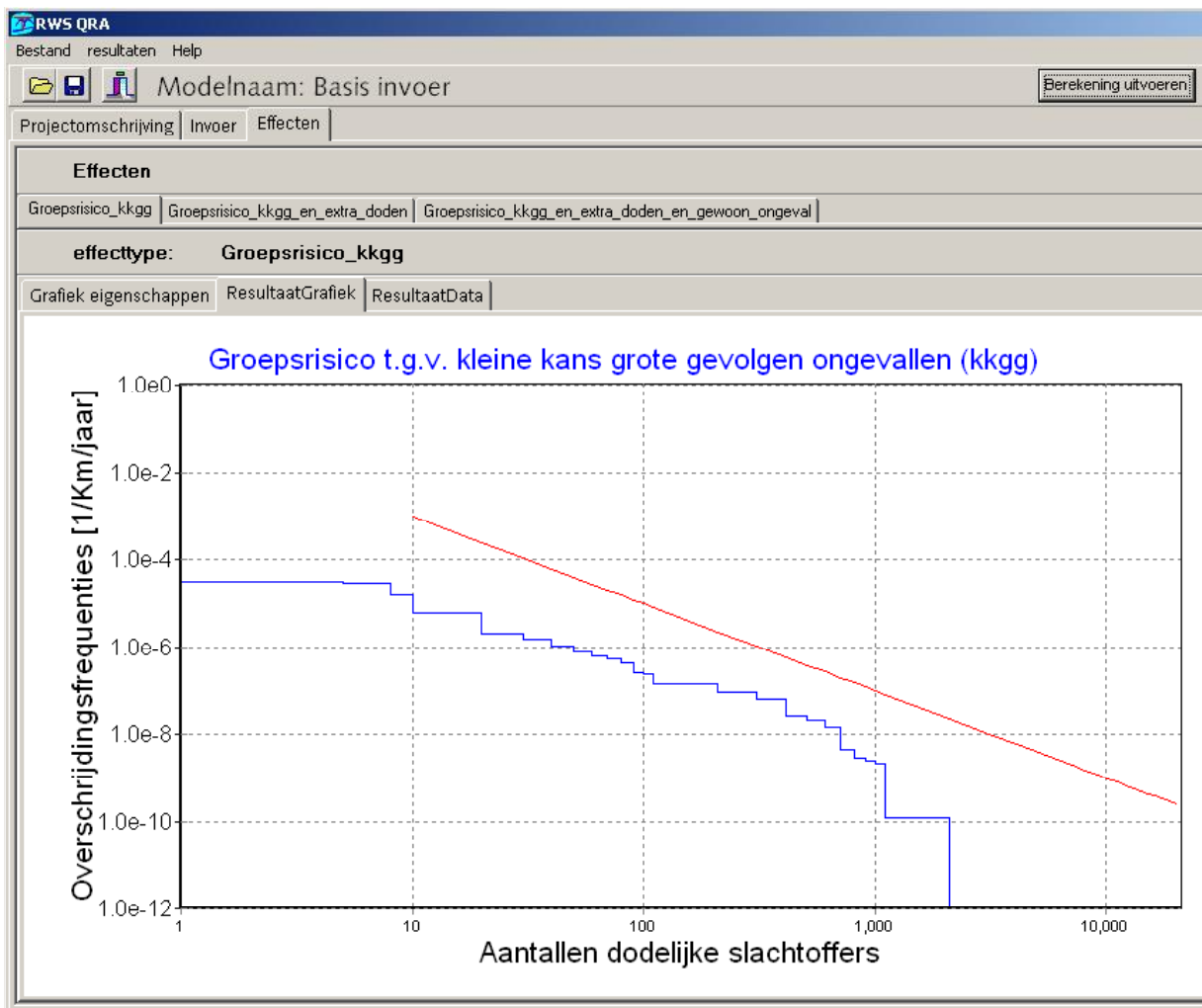
Na het invoeren van de juiste data worden de berekeningen gestart door rechtsboven op de knop: "Berekening Uitvoeren" te drukken. (zie Figuur 3).

Source	Uitleg	Waarde	Eenheid	Domein
[L]_h	De gemiddelde draagkracht	200	m	[0, 1000]
[L]_h	De gemiddelde draagkracht	200	m	[0, 1000]
[L]_h	De gemiddelde draagkracht	400	m	[0, ...]
[L]_h	De gemiddelde draagkracht	400	m	[0, ...]
[L]_h	De gemiddelde draagkracht	0	m	[0, ...]
[L]_h	De gemiddelde draagkracht			[0, ...]
[L]_h	De gemiddelde draagkracht			[0, ...]

Figuur 3 Starten van een berekening.

4 Uitvoer

In het tabblad effecten, zie *figuur 4*, is de uitvoer weergegeven. De uitvoer wordt gepresenteerd als f-N curve én als verwachtingswaarde. Nieuwe wegtunnels in Nederland moeten voldoen aan de waarde $0,1/N^2$ per km/jr, waarin N het aantal slachtoffers is. In de grafiek zijn de berekende f-N curve en de normlijn $0,1/N^2$ weergegeven.



Figuur 4 Groepsrisico t.g.v. kleine kans grote gevolgen.

Samengevat geeft de RWSQRA de volgende resultaten:

1. groepsrisico via een $f(N)$ kromme,
2. verwachtingswaarde.

Tot slot is het mogelijk de in- en uitvoer inclusief grafieken in rapportvorm te laten afdrukken.

5 Aannamen

Het RWSQRA-model is opgebouwd uit een groot aantal aannamen. Om het geheel leesbaar te houden worden de aannamen in dit hoofdstuk gegroepeerd. In de gebeurtenissenboom in Bijlage 1 zijn de aannamen van de gebeurtenissenboom met verklarende teksten nogmaals weergegeven. De aannamen van het gevolgenmodel zijn in Bijlage 2 verder uitgewerkt.

5.1 Aannamen gebeurtenissenboom

- Aanname 1: Een file is niet van invloed op de kans op een ongeval (zie Bijlage 1 voor nadere uitleg).
- Aanname 2: De ongevalslocatie is in het midden van het neergaande-, horizontale- of opgaande tunneldeel.
- Aanname 3: Een tot stilstand gekomen voertuig met pech zal nooit op eigen kracht de tunnel verlaten.
- Aanname 4: Alle uitstromingen van gevaarlijke stoffen worden gemodelleerd als letselongevallen (dus niet als pech of UMS).
- Aanname 5: De kans op brand is even groot voor auto's, bussen en vrachtauto's.
- Aanname 6: Bij 90% van de branden is sprake van pech, bij 10% is sprake van een ongeval. Alle ongevallen met brand worden gemodelleerd als letselongevallen.
- De kans op directe ontsteking na uitstroming uit een tankwagen met gevaarlijke lading is 0,065 voor atmosferische tankwagens en 0,8 voor druktankwagens (als op de open weg).
- Aanname 7: De kans op het blussen van een brand bij een pechgeval met een personenwagen bedraagt 0,25. De kans op het blussen van een brand bij een pechgeval met een bus of vrachtauto bedraagt 0,10. De kans op het blussen van een brand bij een letselongeval is 0.
- Aanname 8: Na een brand in de tunnel ontstaat altijd een file, zo ook na letselongevallen. Bij UMS ontstaat in 50% van de gevallen file en bij pech ontstaat er geen file.
- Aanname 9: Als er al een file in de tunnel staat en er een incident optreedt, zal er ook altijd een file bovenstrooms van het incident ontstaan.
- Aanname 10: In het geval van transport van gevaarlijke stoffen, waarbij een relevante uitstroming optreedt, zal er altijd een file ontstaan.

- Aanname 11: De kans dat meerdere SOS lussen tegelijk falen is verwaarloosbaar. Dit betekent dat een file altijd gedetecteerd wordt. Als totale faalkans voor detectie wordt aangehouden: 0,001. Dit is vergelijkbaar met automatische systemen in de industrie.
- Aanname 12: De kans dat de operator bij detectie geen actie onderneemt is conservatief geschat 0,01 per aanspraak.
- Aanname 13: Als de operator actie onderneemt, dan zal hij zal bij (zeer) ernstige incidenten de calamiteitenknop indrukken (indien aanwezig).
- Aanname 14: Een (zeer) ernstig incident wordt altijd binnen maximaal 15 minuten opgemerkt door de operator.

5.2 Aannamen gevolgenmodel

- Aanname 15: Bij pech en UMS zonder brand zijn er per definitie geen gevolgen voor personen: er zijn nog gewonden nog doden en er hoeven geen mensen te vluchten.
- Aanname 16: Bij letselongevallen zonder brand en zonder uitstroming van gevaarlijke stoffen is er geen directe noodzaak tot vluchten. Het aantal doden en gewonden per letselongeval bedraagt:
- | | | |
|---------------|------------|--------------|
| Personenauto: | 0,08 doden | 1,4 gewonden |
| Bus: | 1 dode | 11 gewonden |
| Vrachtauto: | 0,3 doden | 1,4 gewonden |
- Aanname 17: Bij letselongevallen met brand zal 10% van de gewonden bekneld zijn. Zij zullen dus noch tijdig vluchten, noch worden gered en overlijden.
- Aanname 18: Bij brand of uitstromingen van gevaarlijke stoffen kunnen er alleen dodelijke slachtoffers onder de vluchtenden vallen als er een file is ontstaan bovenstrooms of benedenstrooms van het ongeval.
- Aanname 19: De lengte van een eventuele benedenstroomse file in de tunnel is gelijk aan de afstand van het ongeval tot de tunneluitgang.
- Aanname 20: Bij een automatisch geactiveerd ventilatiesysteem (door een CO-meting, temperatuurmeting of zichtlengte) wordt de ingestelde meetgrens zó snel bereikt dat er geen verschil in effecten optreedt met een door de operator geactiveerde ventilatie.
- Aanname 21: Bij een pechgeval met brand is de brandontwikkeling zo langzaam dat bij geactiveerde ventilatie alleen slachtoffers onder de minder validen (die niet zonder omstanderhulp kunnen vluchten) zullen vallen.
Bij een pechgeval zonder ventilatie (van alle soorten voertuigen) met brand zal 50% van de mindervaliden binnen 25 m aan beide zijden van de brand overlijden.
- Aanname 22: Wanneer een personenauto na een letselongeval in brand raakt, zal zonder ventilatie in de tunnel gemiddeld 50% van de mindervaliden

(5% van alle personen) binnen 50 meter van de brand in de tunnel boven- en benedenstreams overlijden. Hetzelfde percentage van de mindervaliden zal in een file benedenstreams binnen 50 meter van de brand overlijden in het geval er wel ventilatie is. Buiten de tunnel worden geen effecten meegenomen. Een brand die ontstaat bij een letselongeval kenmerkt zich door een snelle brandontwikkeling.

In het spreadsheet wordt t.b.v. de berekeningen een groot aantal constanten gebruikt. Deze zijn verzameld in onderstaande tabellen en van een korte omschrijving voorzien.

Algemene constanten in het programma

30	maximale aangroei tijd [min] file in rekenmodel bij geen actie operator
40	gem. lengte [m] van een ongeval/incident
22	gem. aantal inzittenden in bus [-]
1	gem. aantal inzittenden in vrachtauto [-]
5,5	gem. lengte [m] van een personenauto in een file
14	gem. lengte [m] van een bus in een file
20,35	gem. lengte [m] van een vrachtauto in een file
2000	maximale capaciteit per rijstrook [mvt/uur]
50	percentage [%] vrachtauto's met brandbare lading (niet transport gevaarlijke stoffen)
0,5	kans op uitstroming aan de achterzijde tankwagen bij continue uitstroming gas
0,6	kans op BLEVE na enige tijd (instantane uitstroming GF)
2,00E-08	brandfrequentie voertuigen [/mvtkm]
0,9	kans op brand t.g.v. pech
0,25	kans dat pechbrand van een personenauto geblust wordt
0,1	kans dat pechbrand van een bus/vrachtauto geblust wordt
0	kans dat letselbrand van een voertuig geblust wordt
0,056	kans op uitstroming uit atmosferische tankwagen gegeven een letselongeval
0,026	kans op uitstroming uit druktankwagen gegeven een letsel ongeval
0,15	kans op instantane uitstroming vloeistof
0,6	kans op 5 m ³ uitstroming vloeistof
0,105	kans op instantane uitstroming gas
0,195	kans op continue uitstroming gas
0,13	kans op brand na uitstroming LF (direct + indirect elk 0,065)
1	kans op brand na uitstroming GF (0,8 direct en 0,2 vertraagd)
0	kans op file na pech zonder brand
0,5	kans op file na UMS zonder brand
1	kans op detectie incident bij file
0,999	kans op detectie incident zonder file
0,99	kans op actie operator bij detectie
0,999	kans op ventilatie start bij operatoractie
0,999	kans op automatische ventilatie (mits detectiesysteem)

Gevolgen ongevallen ("directe" + "extra" slachtoffers)

0,08	gem. aantal doden t.g.v. letselongeval personenauto
1	gem. aantal doden t.g.v. letselongeval bus
0,3	gem. aantal doden t.g.v. letselongeval vrachtauto
1,4	gem. aantal gewonden t.g.v. letselongeval personenauto
11	gem. aantal gewonden t.g.v. letselongeval bus
1,4	gem. aantal gewonden t.g.v. letselongeval vrachtauto
0,1	kans op beknelde gewonden na letselongeval in personenauto
0,1	kans op beknelde gewonden na letselongeval in bus
0,1	kans op beknelde gewonden na letselongeval in vrachtauto

Gevolgen ongevallen ("kleine kans grote gevolgen" slachtoffers)

Uitgangspunt is dat er geen effecten zijn, tenzij de volgende situatie's zich voordoen:

Pechbrand voor alle voertuigen en letselbrand voor personenwagens

0,05	kans op invaliden/mindervaliden in verkeer
0,5	kans op overlijden mindervaliden binnen effectafstand pechbrand zonder ventilatie
0,5	kans op overlijden mindervaliden binnen effectafstand pechbrand met ventilatie
0,5	kans op overlijden mindervaliden binnen effectafstand letselbrand personenauto zonder ventilatie
0,5	kans op overlijden mindervaliden binnen effectafstand letselbrand personenauto met ventilatie
25	effectafstand pechbrand personenauto zonder ventilatie [m] (dus aan beide zijden)
25	effectafstand pechbrand personenauto met ventilatie [m]
25	effectafstand pechbrand bus/vrachtauto zonder ventilatie [m] (dus aan beide zijden)
25	effectafstand pechbrand bus/vrachtauto met ventilatie [m]
50	effectafstand letselbrand personenauto zonder ventilatie [m] (dus aan beide zijden)
50	effectafstand letselbrand personenauto met ventilatie [m]

Brand in bus bij letselongeval

100	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel zonder ventilatie [m]
50	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel met ventilatie
0,3	kans op overlijden vluchtenden in tunnel zonder ventilatie
0,3	kans op overlijden vluchtenden in tunnel met ventilatie
0,2	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
1500	maximale effectafstand in tunnel met ventilatie, luidspreker systeem aanwezig [m]
600	maximale effectafstand in tunnel zonder ventilatie, hittewerende bekleding aanwezig [m]
350	maximale effectafstand in tunnel zonder ventilatie, geen hittewerende bekleding aanwezig [m]

Brand in vrachtwagen zonder lading of met een niet brandbare lading (ook transport toxische stoffen) bij een letselongeval

100	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel zonder ventilatie [m]
50	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel met ventilatie [m]
0,3	kans op overlijden vluchtenden in tunnel zonder ventilatie
0,3	kans op overlijden vluchtenden in tunnel met ventilatie
0,2	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
1500	maximale effectafstand in tunnel met ventilatie, luidsprekersysteem aanwezig [m]
600	maximale effectafstand in tunnel zonder ventilatie, hittewerende bekleding aanwezig [m]
350	maximale effectafstand in tunnel zonder ventilatie, geen hittewerende bekleding aanwezig [m]

Brand in vrachtwagen met brandbare lading (niet transport explosieven) bij een letselongeval

100	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel zonder ventilatie [m]
50	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel met ventilatie [m]
0,6	kans op overlijden vluchtenden in tunnel zonder ventilatie
0,6	kans op overlijden vluchtenden in tunnel met ventilatie
0,2	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
1500	maximale effectafstand in tunnel met ventilatie, luidsprekersysteem aanwezig [m]
600	maximale effectafstand in tunnel zonder ventilatie, hittewerende bekleding aanwezig [m]
350	maximale effectafstand in tunnel zonder ventilatie, geen hittewerende bekleding aanwezig [m]

Brand in vrachtwagen met explosieven bij een letselongeval

0	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel [m]
1	kans op overlijden vluchtenden in tunnel
0	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
1	kans op overlijden vluchtenden buiten tunnel
100	maximale effectafstand buiten tunnel [m]

Grote continue uitstroming (5 m³) LT bij een letselongeval

20	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. gaswolk in tunnel met ventilatie [m]
15	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. gaswolk in tunnel zonder ventilatie [m]
1	kans op overlijden vluchtenden t.g.v. gaswolk in tunnel met ventilatie
1	kans op overlijden vluchtenden t.g.v. gaswolk in tunnel zonder ventilatie
30	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. plas in tunnel met ventilatie [m]
20	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. plas in tunnel zonder ventilatie [m]
0,75	kans op overlijden vluchtenden t.g.v. plas in tunnel met ventilatie
0,75	kans op overlijden vluchtenden t.g.v. plas in tunnel zonder ventilatie
0,15	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
15	lengte plas op horizontale deel tunnel met ventilatie [m]
25	lengte plas op hellende delen in tunnel [m]
4500	maximale effectafstand gaswolk vanaf rand vloeistofplas in tunnel met ventilatie [m]
900	maximale effectafstand gaswolk vanaf rand vloeistofplas in tunnel zonder ventilatie [m]

Instantane uitstroming LT bij een letselongeval

0	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. gaswolk in tunnel met ventilatie [m]
4	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. gaswolk in tunnel zonder ventilatie [m]
1	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. gaswolk in tunnel met ventilatie
1	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. gaswolk in tunnel zonder ventilatie
10	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. plas in tunnel met ventilatie [m]
20	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. plas in tunnel zonder ventilatie [m]
0,8	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. plas in tunnel met ventilatie
0,8	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. plas in tunnel zonder ventilatie
0,2	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
0,5	Kans op overlijden vluchtenden buiten de tunnel
200	lengte plas op horizontale deel tunnel [m]
300	lengte plas op hellende delen in tunnel [m]
4500	maximale effectafstand gaswolk vanaf rand vloeistofplas in tunnel met ventilatie [m]
900	maximale effectafstand gaswolk vanaf rand vloeistofplas in tunnel zonder ventilatie [m]
20	maximale effectafstand gaswolk vanaf tunneleinde buiten tunnel met ventilatie [m]
10	maximale effectafstand gaswolk vanaf tunneleinde buiten tunnel zonder ventilatie [m]

Continue uitstroming GT bij een letselongeval

7	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. gaswolk in tunnel met ventilatie [m]
	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. gaswolk in tunnel zonder ventilatie [m]
2	[m]
1	kans op overlijden vluchtenden t.g.v. gaswolk in tunnel met ventilatie
1	kans op overlijden vluchtenden t.g.v. gaswolk in tunnel zonder ventilatie
0	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. jet in tunnel [m]
1	kans op overlijden vluchtenden in jet
0	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
0,5	kans op overlijden vluchtenden buiten de tunnel
15	lengte jet [m]
4500	maximale effectafstand gaswolk vanaf ongeval in tunnel met ventilatie [m]
900	maximale effectafstand gaswolk vanaf ongeval in tunnel zonder ventilatie [m]
200	maximale effectafstand gaswolk vanaf tunneleinde buiten tunnel met ventilatie [m]
100	maximale effectafstand gaswolk vanaf tunneleinde buiten tunnel zonder ventilatie [m]

Instantane uitstroming GT (BLEVE en gaswolk) bij een letselongeval

0	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel [m]
1	kans op overlijden overige vluchtenden in tunnel
0	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
1	kans op overlijden vluchtenden buiten tunnel
40	maximale effectafstand buiten tunnel [m]

Plasbrand (5 m3) LF bij een letsel ongeval

20	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. rookgassen in tunnel met ventilatie [m]
40	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. rookgassen in tunnel zonder ventilatie [m]
0,6	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. rookgassen in tunnel met ventilatie
0,6	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. rookgassen in tunnel zonder ventilatie
5	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. plasbrand in tunnel = gemiddelde van 0 meter bij directe ontsteking en 10 meter bij indirecte ontsteking. [m]
1	kans op overlijden vluchtenden in plasbrand
15	lengte effectgebied plasbrand op horizontale deel tunnel [m]
25	lengte effectgebied plasbrand op hellende delen in tunnel [m]
1500	maximale effectafstand rookgassen vanaf rand vloeistofplas in tunnel met ventilatie, luidsprekersysteem aanwezig [m]
600	maximale effectafstand rookgassen vanaf rand vloeistofplas in tunnel zonder ventilatie, hittewerende bekleding aanwezig [m]
350	maximale effectafstand rookgassen vanaf rand vloeistofplas in tunnel zonder ventilatie, geen hittewerende bekleding aanwezig [m]

Instantane plasbrand LF bij een letselongeval

20	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. rookgassen in tunnel met ventilatie [m]
40	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. rookgassen in tunnel zonder ventilatie [m]
0,6	kans op overlijden vluchtenden t.g.v. rookgassen in tunnel met ventilatie
0,6	kans op overlijden vluchtenden t.g.v. rookgassen in tunnel zonder ventilatie
5	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. instantane plasbrand in tunnel [m]
1	kans op overlijden vluchtenden in plasbrand
200	lengte effectgebied plasbrand op horizontale deel tunnel [m]
300	lengte effectgebied plasbrand op hellende delen in tunnel [m]
1500	maximale effectafstand rookgassen vanaf rand vloeistofplas in tunnel met ventilatie, luidsprekersysteem aanwezig [m]
600	maximale effectafstand rookgassen vanaf rand vloeistofplas in tunnel zonder ventilatie, hittewerende bekleding aanwezig [m]
350	maximale effectafstand rookgassen vanaf rand vloeistofplas in tunnel zonder ventilatie, geen hittewerende bekleding aanwezig [m]

Koude BLEVE GF direct na een letselongeval (directe ontsteking)

0	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel [m]
1	kans op overlijden overige vluchtenden in tunnel
0	extra kans op overlijden vluchtenden nabij geblokkeerde vluchtdeur in tunnel
1	kans op overlijden vluchtenden buiten tunnel
150	maximale effectafstand buiten tunnel [m]

Warme BLEVE GF enige tijd na een letselongeval (indirecte ontsteking)

40	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel [m]
0,6	kans op overlijden overige vluchtenden in tunnel
0,2	extra kans op overlijden vluchtenden nabij geblokkeerde vluchtdeur in tunnel
0,9	kans op overlijden vluchtenden buiten tunnel
150	maximale effectafstand buiten tunnel [m]

Instantane uitstroming GF indirecte ontsteking na een letselongeval

5	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel [m]
0,9	kans op overlijden overige vluchtenden in tunnel
0,1	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
0,9	kans op overlijden vluchtenden buiten tunnel
150	maximale effectafstand buiten tunnel [m]

Fakkels GF na een letselongeval

20	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. rookgassen in tunnel met ventilatie [m]
40	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. rookgassen in tunnel zonder ventilatie [m]
0,6	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. rookgassen in tunnel met ventilatie
0,6	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. rookgassen in tunnel zonder ventilatie
0	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. fakkel in tunnel [m]
1	kans op overlijden overige vluchtenden in jet uitstroming
0	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
30	lengte jet uitstroming [m]
1500	maximale effectafstand rookgassen vanaf ongeval in tunnel met ventilatie, luidspreker systeem aanwezig [m]
600	maximale effectafstand rookgassen vanaf ongeval in tunnel zonder ventilatie, wel hittewerende bekleding aanwezig [m]
350	maximale effectafstand rookgassen vanaf ongeval in tunnel zonder ventilatie, geen hittewerende bekleding aanwezig [m]

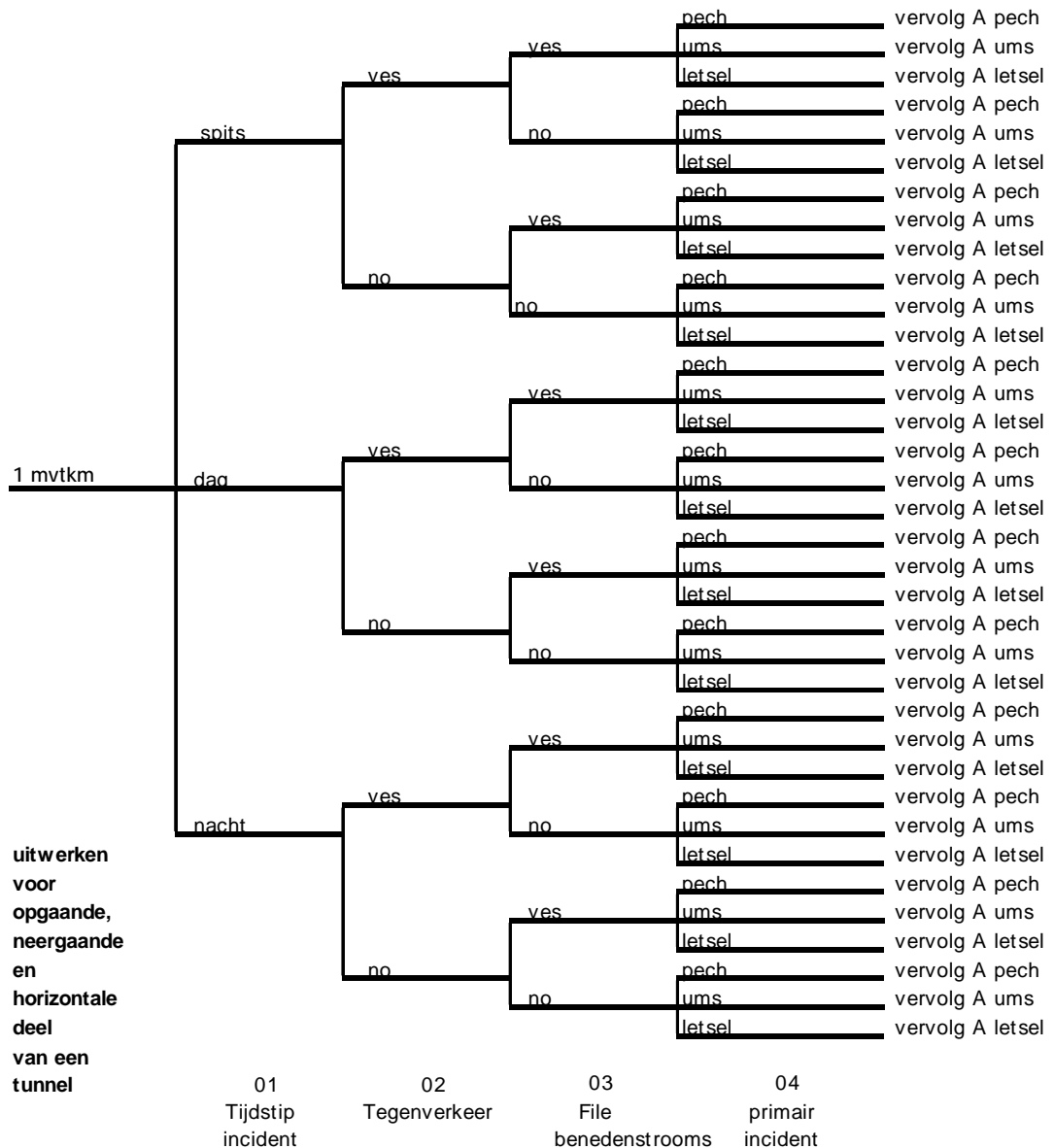
Jet GF en indirecte ontsteking na een letselongeval

10	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel [m]
0,7	kans op overlijden overige vluchtenden in tunnel
0,1	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
0,9	kans op overlijden vluchtenden buiten tunnel
150	maximale effectafstand buiten tunnel [m]

Bijlage 1: Gebeurtenissenboom

In deze bijlage wordt ingegaan op de gebeurtenissenboom. In deze boom zijn omwille van de overzichtelijkheid niet alle takken opgenomen. Deze takken zijn in de verklarende teksten beschreven. De gebeurtenissenboom is als volgt opgebouwd (nadere verklaring van de takken en opbouw van de gebeurtenissenboom is in de tekst erna opgenomen):

Gebeurtenissenboom primair



Vervolg A letselongeval

auto	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	yes	n.v.t.	vervolg B1
					no	n.v.t.	vervolg B3
bus	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	yes	n.v.t.	vervolg B1
					no	n.v.t.	vervolg B3
VA	GS	LF	yes	instantaan	yes	n.v.t.	vervolg B1
				5 m3	yes	n.v.t.	vervolg B1
			0,5 m3	no	n.v.t.	vervolg B2	
				yes	n.v.t.	vervolg B1	
		no	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B2	
			n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3	
		LT	yes	instantaan	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B2
				5 m3	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B2
		no	0,5 m3	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B2	
			n.v.t.	yes	n.v.t.	vervolg B1	
	GF	yes	instantaan	yes	n.v.t.	vervolg B1	
				no	n.v.t.	vervolg B2	
			continu	yes	n.v.t.	vervolg B1	
			no	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B2	
		no	niet relevant	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3	
			n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3	
		GT	yes	instantaan	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B2
				continu	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B2
		no	niet relevant	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3	
			n.v.t.	yes	n.v.t.	vervolg B1	
E	n.v.t.	n.v.t.	yes	n.v.t.	vervolg B1		
			no	n.v.t.	vervolg B3		
brandbaar	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	yes	n.v.t.	vervolg B1	
niet brandbaar	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	no	n.v.t.	vervolg B3	
				yes	n.v.t.	vervolg B1	
				no	n.v.t.	vervolg B3	

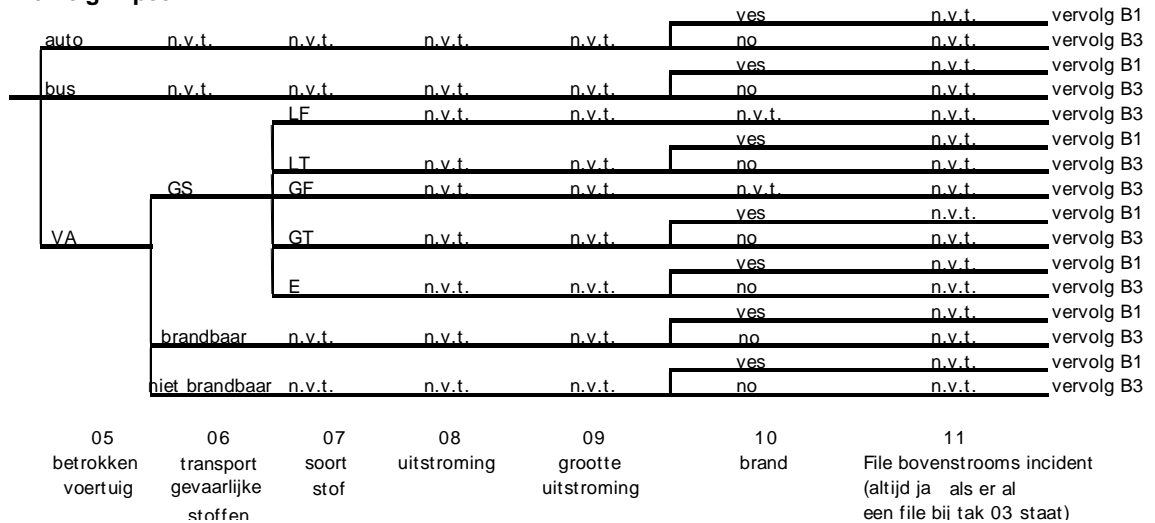
05 betrokken voertuig 06 transport gevaarlijke stoffen 07 soort stof 08 uitstroming 09 grootte uitstroming 10 brand 11 File bovenstrooms incident (altijd ja als er al een file bij tak 03 staat)

Vervolg A UMS

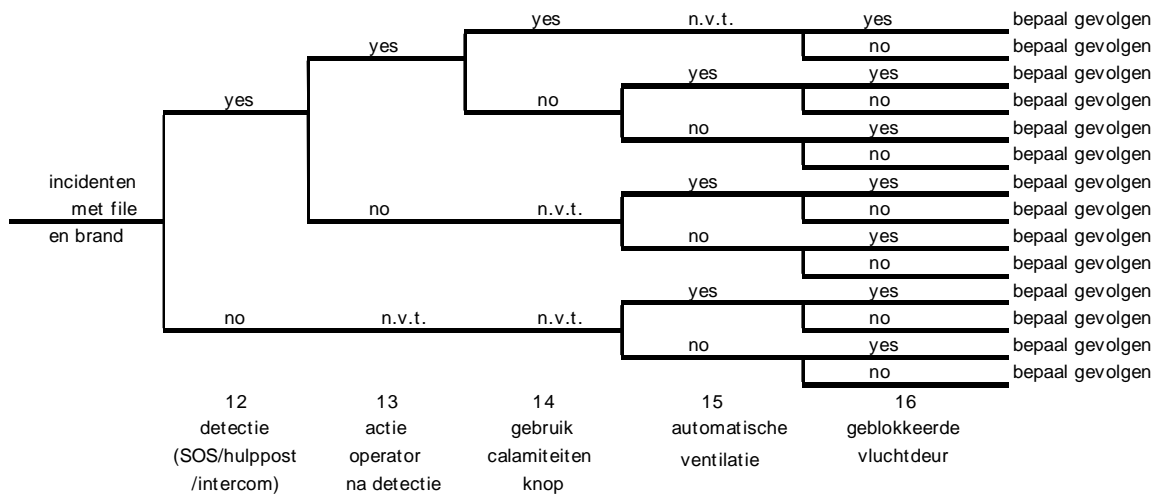
auto	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3
bus	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3
VA	GS	LF	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3
		LT	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3
		GF	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3
		GT	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3
		E	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3
			n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3
brandbaar	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3	
niet brandbaar	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	vervolg B3	

05 betrokken voertuig 06 transport gevaarlijke stoffen 07 soort stof 08 uitstroming 09 grootte uitstroming 10 brand 11 File bovenstrooms incident (altijd ja als er al een file bij tak 03 staat)

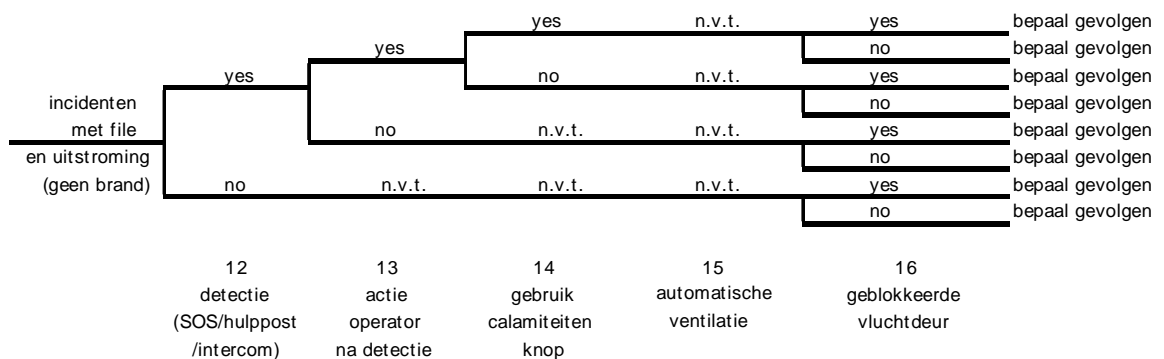
Vervolg A pech



Vervolg B1 Incidenten met file en brand



Vervolg B2 Incidenten met file en uitstroming (geen brand)



Vervolg B3 Incidenten zonder uitstroming / brand

incidenten zonder uitstroming /brand	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	geen gevolgen (mogelijk wel doden t.g.v. letselongeval)
	12	13	14	15	16	
	detectie (SOS/hulp post /intercom)	actie operator na detectie	gebruik calamiteiten knop	automatische ventilatie	geblokkeerde vluchtdeur	

Deze gebeurtenissenboom is opgezet voor een tunnel, waarbij in de tunnelbuizen - in de normale situatie- het verkeer in één richting rijdt.

De gebeurtenissenboom wordt voor elk deel van de tunnel doorgerekend. Bij de meeste oeververbindingen zullen dit twee delen zijn: het opgaande en het neergaande deel. In een enkel geval (m.n. landtunnels) kunnen ook alleen horizontale delen onderscheiden worden. Per deel (neergaand, horizontaal en opgaand) wordt het ongeval in het midden van dat deel gemodelleerd.

Tak 01 : Tijdstip incident

Onder "tijdstip incident" worden de te onderscheiden perioden van het etmaal verstaan: nacht, dag en spits. Indien men bijvoorbeeld alleen een spitsperiode op doordeweekse dagen in rekening wil brengen, moet het aantal uren dat het spits is per etmaal hiervoor gecorrigeerd worden met een factor 5/7.

Tak 02 : Tegenverkeer

Onder "tegenverkeer" worden de situaties verstaan, waarbij het verkeer in twee richtingen door één tunnelbuis rijdt. Deze situatie kan zich voordoen bij onderhoud aan de tunnel en/of bij de afhandeling van ernstige incidenten. De tegenverkeerssituatie wordt niet gebruikt. Deze is in het programma opgenomen voor RWS onderzoeksdoeleinden.

Tak 03 : File benedenstreams

Onder "file" wordt hier verstaan het optreden van (nagenoeg) stilstaand verkeer buiten de tunnel waarbij de staart van de file de tunnel ingroeit ten gevolge van een incident benedenstreams van de tunnel. De kans op een dergelijke file dient voor de verschillende perioden van het etmaal op basis van praktijkgegevens te worden bepaald.

Tak 04 : Primair incident

Onder "primair incident" wordt verstaan het optreden van een incident (pech, UMS ongeval en letselongeval). De kans op een primair incident op het opgaande, neergaande en horizontale tunneldeel, dient op basis van praktijkgegevens te worden bepaald. Het betreft de kans per voertuigkilometer.

Indien geen praktijkgegevens bekend zijn, kan gebruik gemaakt worden van de volgende ervaringsgegevens:

- de frequentie van letselongevallen in Nederlandse onderwatertunnels met 2 rijstroken ligt tussen $0,5 \cdot 10^{-7}$ /mvtkm en $2 \cdot 10^{-7}$ /mvtkm. Het betreft hier de drukke tunnels zonder horizontaal tunneldeel.
- In verkeerstunnels met 3 rijstroken is de letselongevalsfrequentie ca. $1 \cdot 10^{-7}$ /mvtkm.
- Op hellingen is de kans op een ongeval hoger dan op een horizontaal deel.

- UMS komt ca. 10 maal vaker voor dan letselongevallen.
- Incidentgegevens van de laatste jaren hebben laten zien dat pech 2 tot 10 maal vaker voorkomt dan UMS; gemiddeld kan uitgegaan worden van 5 maal meer pech dan UMS

Aanname 1: Een file is niet van invloed op de kans op een ongeval.

Aanname 2: De ongevalslocatie is in het midden van het opgaande, neergaande en horizontale tunneldeel.

Aanname 3: Een tot stilstand gekomen voertuig met pech zal nooit op eigen kracht de tunnel verlaten.

Tak 05 : Betrokken voertuig

Onder "betrokken voertuig" wordt verstaan de verdeling van de verkeersintensiteit over personenauto's (en motoren), bussen en zwaar verkeer. De verdeling van de betrokken voertuigen dient indien mogelijk op basis van praktijkgegevens bepaald te worden. Indien deze gegevens niet bekend zijn, kan gebruikt gemaakt worden van de volgende ervaringsgegevens:

- het over een week gemiddelde percentage zwaar verkeer is ca. 15% van het totale verkeer op een gemiddelde weg in Nederland.
- nabij industrieterreinen zal het percentage zwaar verkeer hoger zijn.
- het landelijk gemiddelde percentage bussen is 1% van het totale verkeer.

Tak 06 : Transport gevaarlijke stoffen

Onder "transport gevaarlijke stoffen" wordt verstaan het deel van het zwaar verkeer dat brandbare en/of toxische vloeistoffen of tot vloeistof verdichte gassen in bulk of explosieven vervoert. Het aandeel gevaarlijke stoffen binnen het totale zware verkeer dient op basis van gegevens uit de praktijk (tellingen) bepaald te worden. Indien het transport van gevaarlijke stoffen deels niet door de tunnel mag plaatsvinden dient voor deze stoffen een omleidingsroute aangewezen te zijn. Bij tellingen van de aantallen transporten van gevaarlijke stoffen (o.a. volgens IPO methodiek) wordt vrijwel altijd al gecorrigeerd voor de niet geladen voertuigen (meestal 50%). Indien dit nog niet is gebeurd, dan dient hier rekening mee gehouden te worden. Tankwagens die niet met gevaarlijke stoffen LF, LT, GF, GT of E geladen zijn, worden in de gebeurtenissenboom behandeld als gewone vrachtwagens met een al dan niet brandbare lading.

Daarnaast wordt voor het zware verkeer dat niet voor het transport van gevaarlijke stoffen wordt gebruikt een onderscheid gemaakt in:

1. het zware verkeer met brandbare lading,
2. het zware verkeer zonder brandbare lading of dat ongeladen is.

De effecten van een brand bij deze twee soorten zwaar verkeer zijn verschillend. Een vrachtwagen met brandbare lading zal sneller geheel in brand staan en er zal meer warmte vrijkomen.

Tak 07 : Soort stof

Onder "soort stof" wordt zowel de eigenschap van de gevaarlijke stof (toxisch, brandbaar, explosief) als de wijze van opslaan verstaan; atmosferisch of onder druk tot een tot vloeistof verdicht gas.

De gedetailleerdere indeling in stofcategoriën: "LF1 t/m LF2, LT1 t/m LT6, GT1 t/m GT7, GF0 t/m GF3 en E1 t/m E2" is niet in de gebeurtenissenboom opgenomen. De verdeling van de gevaarlijke stoffen naar eigenschap en vervoerswijze dient op basis van praktijkgegevens bepaald te worden. (tellingen)

Tak 08 : Uitstroming

Onder "uitstroming" wordt verstaan het deel van de ongevallen met zwaar verkeer dat gevaarlijke stoffen vervoert, waarbij t.g.v. het ongeval een zodanig gat in de tankwagen ontstaat dat minimaal 100 kg van de inhoud van de tank uitstroomt. Explosieve stoffen worden als stukgoed vervoerd, zodat hierbij nooit uitstroming, zoals hier bedoeld wordt, optreedt.

Voor de (vervolg)kans op uitstroming na een letselongeval worden de volgende waarden gehanteerd:

- 0,056 voor een uitstroming van 100 kg of meer uit een atmosferische tankwagen;
- 0,026 voor een uitstroming van 100 kg of meer uit een druktankwagen.

Deze waarden zijn consensuswaarden (VeVoWeg). Ze worden gebruikt bij letselongevalsfrequenties, gebaseerd op alle letselongevallen exclusief die ongevallen waarbij bromfietzers, fietsers en voetgangers betrokken zijn.

Aanname 4: Alle uitstromingen van gevaarlijke stoffen worden gemodelleerd als letselongevallen (dus niet als pech of UMS).

Tak 09 : Grootte uitstroming

Onder "grootte uitstroming" wordt verstaan de hoeveelheid uitstromende gevaarlijke stof. De uitstromingscenario's, gegeven een letselongeval met uitstroming van 100 kg of meer en hun kansen zijn:

- Voor atmosferische tankwagens:
 - kans op instantane uitstroming (hele tank) is 0,15 (vormt een plas van maximaal 1200 m² op horizontale tunneldelen en een mogelijk grotere plas op de hellingen. Het deel van de vloeistof dat via de riolering in de pompkelder terecht komt wordt bepaald door de capaciteit van de pompkelder);
 - kans op grote continue uitstroming (5 m³) is 0,60 (vormt een plas van maximaal 300 m² op horizontale tunneldelen en een mogelijk grotere plas op de hellingen. Het deel van de vloeistof dat naar de pompkelder wegstroomt is afhankelijk van de riolering);
 - kans op kleine continue uitstroming (0,5 m³) is 0,25 (= 1 - 0,15 - 0,6).
- Voor druktankwagens:
 - kans op instantane uitstroming (hele tank) is 0,105;
 - kans op continue uitstroming (uit 2" gat) is 0,195;
 - kans op een niet relevante uitstroming = 1 - 0,105 - 0,195 = 0,7.

De hier gepresenteerde getallen zijn consensus waarden.

Tak 10 : Brand

Onder "brand" (die niet geblust is door een bestuurder) wordt verstaan de kans op een brand in een voertuig in de tunnel.

De kans op brand in de tunnel dient indien mogelijk op basis van praktijkgegevens bepaald te worden. Indien dit niet mogelijk is kan gebruik gemaakt worden van de volgende ervaringsgegevens: de gemiddelde kans op brand (in een tunnel) in Nederland is $2 \cdot 10^{-8}$ /mvtkm.

Aanname 5:	De kans op brand is even groot voor auto's, bussen en vrachtauto's.
------------	---

Onderzoek in het buitenland laat zien dat de kans op een brand in zwaar verkeer groter is dan de kans op een brand in licht verkeer in gebieden waar grote hoogte verschillen moeten worden overwonnen. Het is echter niet bekend of dit ook geldt in Nederland waar geen grote hoogteverschillen of lange steile hellingen bestaan.

Aanname 6:	Bij 90% van de branden is sprake van pech, bij 10% is sprake van een ongeval. Alle ongevallen met brand worden gemodelleerd als letselongevallen.
------------	---

De kans op directe ontsteking na uitstroming uit een tankwagen met gevaarlijke lading is 0,065 voor atmosferische tankwagens en 0,8 voor druktankwagens (als op de open weg).

In 99% van de voertuigbranden op rijkswegen (DNV en VeVoWeg) is er geen ongeval aan de brand vooraf gegaan. In 1% van de gevallen is dat dus wel zo. Meestal is dit dan ten gevolge van het in brand geraken van weglekkende brandstof. Op basis van de beperkte literatuur over tunnelbranden wordt vooralsnog aangenomen dat in 10% van de gevallen een ongeval aan de brand is voorafgegaan.

In de kans op uitstroming en de daar op volgende directe ontstekingskans zijn alle mogelijke oorzaken (en gevolgen) van een uitstroming met en zonder brand opgenomen. Daarom wordt bij deze transporten, wanneer er geen uitstroming optreedt, de kans op brand t.g.v. een pech- of letselongeval niet beschouwd.

In de kans op uitstroming van toxische stoffen zijn alle mogelijke oorzaken opgenomen (dus óók uitstromingen na verzwakking van een tankwagen door brand). De gevolgen van toxische stoffen zijn vrijwel altijd groter dan de gevolgen van een (cabine)brand. De kans op brand wordt bij uitstroming van een toxische stof daarom niet meegenomen.

Aanname 7:	De kans op het blussen van een brand bij een pechgeval met een personenwagen bedraagt 0,25. De kans op het blussen van een brand bij een pechgeval met een bus of vrachtauto bedraagt 0,10. De kans op het blussen van een brand bij een letselongeval is 0.
------------	--

Deze waarden zijn als conservatieve schattingen gebruikt bij de Westerscheldetunnel. Bij pech gaat het veelal om het in brand

raken van het elektrische circuit van het voertuig. Bij letsel-ongevallen is een brand vaak het gevolg van het ontsteken van brandstof uit een beschadigde brandstoftank.

Tak 11 : File bovenstrooms incident

De tak "file bovenstrooms incident" beschrijft of er na een incident al dan niet bovenstrooms een file ontstaat.

Aanname 8:	Na een brand in de tunnel ontstaat altijd een file, zo ook na letsel-ongevallen. Bij UMS ontstaat in 50% van de gevallen file en bij pech ontstaat er geen file.
------------	--

Aanname 9:	Als er al een file in de tunnel staat en er een incident optreedt, zal er ook altijd een file bovenstrooms van het incident ontstaan.
------------	---

Aanname 10:	In het geval van transport van gevaarlijke stoffen, waarbij een relevante uitstroming optreedt, zal er altijd een file ontstaan.
-------------	--

Tak 12 : Detectie

In de tak "Detectie" wordt het al dan niet detecteren door de operator van een incident behandeld. Het detecteren kan door middel van een SOS - systeem (Snelheid-Underschrijding-Systeem) danwel door het gebruik van een intercom. Ook het detecteren van het gebruik van een hulppost levert een detectiesignaal.

Aanname 11:	De kans dat meerdere SOS lussen tegelijk falen is verwaarloosbaar. Dit betekent dat een file altijd gedetecteerd wordt. Als totale faalkans voor detectie wordt aangehouden: 0,001. Dit is vergelijkbaar met automatische systemen in de industrie.
-------------	---

Wanneer er geen brand en/of file t.g.v. het incident is ontstaan, kan zich de situatie voordoen dat het SOS - systeem niet in werking treedt. Dit kan optreden als een stoppend voertuig bij de laatste passage van een lus nog net iets sneller rijdt dan de ingestelde detectiesnelheid van het systeem. Bovendien moet dan óók nog eens de reactie (het langzaam gaan rijden) van het overige verkeer uitblijven. De gevallen waarin zich dit voor zou kunnen doen, zijn in het algemeen pech situaties bij een lage verkeersintensiteit.

Daarnaast is het mogelijk dat de operator het incident opmerkt doordat een bestuurder of inzittende gebruik maakt van de intercom in de hulppost. Uit ervaring weet men dat naarmate de ernst van het ongeval groter is, de kans dat een aanwezige gebruik maakt van de hulppost groter wordt.

Tak 13 : Actie operator na detectie

Onder "actie operator na detectie" wordt verstaan het al dan niet nemen van de juiste actie door de operator na detectie van het incident. De actie van de operator zal afhangen van de situatie die na het incident is ontstaan en de hulpmiddelen die de tunneloperator tot zijn beschikking heeft. Wanneer de operator "even van de

plaats is" of niet reageert op het signaal van de detectie zal hij geen actie ondernemen.

Aanname 12: De kans dat de operator bij detectie geen actie onderneemt is 0,01 per aanspraak.

Deze kans is ontleend aan de in de procesindustrie gebruikelijke kans op menselijk falen. Deze kans is onzeker en afhankelijk van de complexiteit van veiligheidsprocedures en het type melding. Aangezien de taken van de tunneloperator eenvoudiger zijn dan die in de procesindustrie, wordt deze kans conservatief geacht.

In RWSQRA worden tak 12 en 13 gebruikt om de snelheid te bepalen waarmee de tunnelbuis wordt afgesloten:

- detectie + operator actie = snelle reactie,
- detectie + geen operatoractie bij ernstig incident = langzame reactie,
- geen detectie + niet aanspreken automatische ventilatie = geen reactie.

Tak 14 : Gebruik calamiteitenknop

Met deze tak wordt het succesvol opstarten van de "achter" de calamiteitenknop zittende maatregelen gemodelleerd (ventilatie, sluiten tunnelbuizen, e.d.). Indien door bijvoorbeeld een technisch mankement deze maatregelen niet starten, is het effect van het indrukken van de calamiteitenknop gelijk aan het niet gebruiken ervan.

Aanname 13: Als de operator actie onderneemt, dan zal hij zal bij (zeer) ernstige incidenten de calamiteitenknop indrukken (indien aanwezig).

Aanname 14: Een (zeer) ernstig incident wordt altijd binnen maximaal 15 minuten opgemerkt door de operator.

Voor het geval er geen ventilatiesysteem in de tunnel aanwezig is, wordt hierop in de gebeurtenissenboom een check uitgevoerd. Indien er geen ventilatiesysteem aanwezig is, wordt de kans op het starten van de ventilatie door de operator gelijk aan: 0.

Bij het bepalen van de effecten wordt deze tak gebruikt voor het wel of niet starten van de ventilatie door de operator. Het starten van de ventilatie na 15 minuten wordt niet apart gemodelleerd, omdat de verspreiding van de gevaarlijke stoffen of rookgassen dan al naar beide tunneluiteinden zal hebben plaatsgevonden. In dat geval treden de effecten zowel benedenstrooms als bovenstrooms van het ongeval op.

Tak 15 : Automatische Ventilatie

Onder " automatische ventilatie" wordt het starten van de ventilatie in de tunnel verstaan op basis van zichtmeting (of bij sommige oude tunnels een gemeten CO – concentratie). Dit is een automatisch systeem, met een faalkans conform tak 12. De faalkans is dus: 0,001.

Tak 16 : Geblokkeerde vluchtdeur

Onder "geblokkeerde vluchtdeur" wordt rekening gehouden met de mogelijkheid dat één van de vluchtdeuren t.g.v. het incident geblokkeerd is en daardoor niet beschikbaar is voor vluchtenden of hulpverlening.

Bijlage 2: Gevolgenmodel

In het gevolgenmodel worden de effecten van de scenario's uit de gebeurtenissenboom beschreven. Voor ieder scenario wordt het aantal slachtoffers berekend. De RWSQRA houdt rekening met slachtoffers die direct vallen door een incident, de zogenaamde directe slachtoffers. Daarnaast wordt rekening gehouden met slachtoffers die bekneld zitten in voertuigen en daardoor niet kunnen vluchten. De laatste groep slachtoffers zijn de "kleine kans, groot gevolg" slachtoffers. Deze slachtoffers zijn niet direct betrokken bij het incident, maar komen door de effecten van het incident wel te overlijden.

Beschrijving berekening "kleine kans groot gevolg" slachtoffers

Globaal gezien berekent het programma per scenario het aantal dodelijke slachtoffers van de bovenstaande groepen met de volgende basisvergelijking:

$$aantal_{doden} = \min(L_{tunneldeelt}; L_{file}; L_{effect}) \cdot \frac{aantal_{personen}}{m} \cdot P_{overlijden}$$

In de eerste term wordt bepaald over welke lengte de slachtoffers vallen:

$L_{tunneldeelt}$:	De lengte van het deel van de tunnel dat wordt bedreigd. [m];
L_{file} :	De lengte van de file [m];
L_{effect} :	De lengte waarover de dodelijke effecten optreden [m].

De tweede term: $aantal_{personen} / m$ geeft het aantal personen dat per strekkende meter in de tunnel aanwezig is. Deze waarde is afhankelijk van de verkeerssamenstelling, de lengte van de voertuigen en het aantal inzittenden per voertuig.

De derde term: $P_{overlijden}$ is de kans op overlijden per persoon. Deze kans is scenario afhankelijk.

Het resultaat is het aantal slachtoffers: $aantal_{doden}$ voor dat scenario.

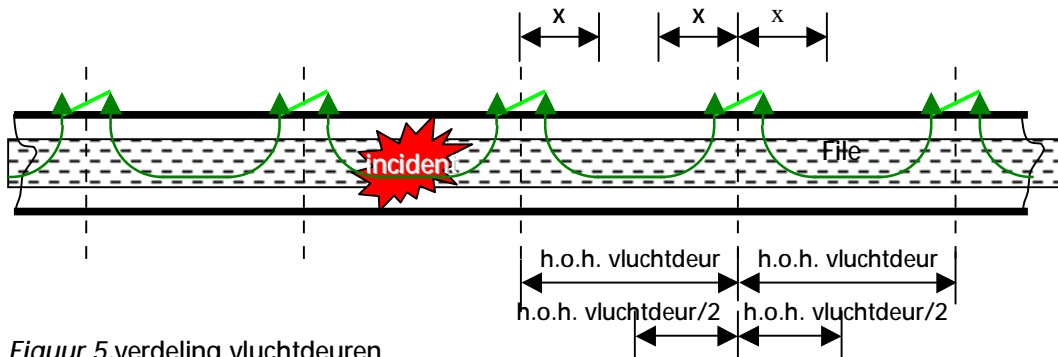
Pechbranden en personenautobrand bij letselongeval

Voor scenario's waarbij de brandontwikkeling langzaam is (pechbranden) en bij een relatief kleine brand (personenauto), wordt aangenomen dat alleen de mindervalide of invalide tunnelgebruikers niet op tijd weg kunnen komen. De exacte invulling van de diverse variabelen is afhankelijk van het beschouwde scenario.

Andere branden en uitstroming gevaarlijke stoffen

In de scenario's waarbij de aanwezigen in de tunnel moeten vluchten voor de effecten van het incident, wordt gebruik gemaakt van de vluchtdeuren. De positie van de aanwezigen in de tunnel ten opzichte van de vluchtdeuren is bepalend voor de overlevingskans. Hoe dichterbij de deur, des te groter de overlevingskans. In het model wordt aangenomen dat iedereen die op een afstand kleiner dan x meter van een vluchtdeur staat, zich altijd in veiligheid kan brengen.

Aanwezigen die op een afstand groter dan x meter staan, lopen een kans om te overlijden. Zie hiervoor figuur 5.



Figuur 5, verdeling vluchtdeuren

Het aantal slachtoffers wordt als volgt berekend:

$$aantal_{doden} = \min(L_{\text{tunneldeel}}; L_{\text{file}}; L_{\text{effect}}) \cdot \frac{aantal_{\text{personen}}}{m} \cdot \max\left(\frac{h.o.h._{deur} - 2 \cdot x}{h.o.h._{deur}}; 0\right) \cdot P_{\text{overlijden}}$$

Het onveilige gebied is de hart op hart afstand tussen de opeenvolgende vluchtdeuren: $h.o.h._{deur}$, minus twee maal de veilige vlucht afstand x .

De exacte invulling van de diverse variabelen is ook hier weer afhankelijk van het scenario en wordt hieronder uitgewerkt.

Kleine kans grote gevolgen slachtoffers

Bij een letselbrand van een bus of vrachtauto en/of uitstroming tijdens het transport van gevaarlijke stoffen in een tunnel zal een bepaald percentage van de aanwezigen benedenstrooms (en zonder ventilatie ook bovenstrooms) van het ongeval niet tijdig kunnen vluchten en dus overlijden (hierbij wordt een maximale effectafstand gedefinieerd).

Het percentage van de aanwezige personen dat niet tijdig kan vluchten, is afhankelijk van de beschikbaarheid van mechanische ventilatie. Zonder ventilatie kunnen er zowel boven- als benedenstrooms slachtoffers vallen. In een bepaald percentage van de ongevallen zal een vluchtdeur door het ongeval geblokkeerd worden. In dat geval zullen de aanwezigen vlak bij het ongeval een langere vluchtweg moeten afleggen. Daardoor zal een hoger percentage van deze vluchtenden overlijden.

Bij sommige van deze ongevallen met uitstroming van gevaarlijke stoffen zullen ook effecten buiten de tunnel kunnen optreden (explosie). Aangenomen wordt dat bij een file benedenstrooms van het ongeval de lengte van deze file buiten de tunnel minimaal 200 meter is, zodat bij een explosie hier altijd slachtoffers vallen.

Bij het bepalen van de percentages van vluchtenden die komen te overlijden wordt onderscheid gemaakt naar:

- pechbrand voor alle voertuigen en letselbrand voor personenwagens;
- brand in een bus;
- brand in een vrachtwagen zonder of met niet brandbare lading; (ook tankwagens geladen met toxische stoffen in bulk; waarbij geen uitstroming van de lading optreedt)

- brand in een vrachtwagen met brandbare lading; (niet zijnde vrachtwagens met transport van explosieven of brandbare gassen/vloeistoffen)
- brand in een vrachtwagen geladen met explosieven;
- 0,5 m³ uitstroming bij transport van een toxische vloeistof;
- 5 m³ uitstroming bij transport van een toxische vloeistof;
- instantane uitstroming bij transport van een toxische vloeistof;
- continue uitstroming bij transport van een toxisch gas;
- instantane uitstroming bij transport van een toxisch gas;
- 0,5 m³ uitstroming bij transport van een brandbare vloeistof;
- plasbrand van een 5 m³ uitstroming bij transport van een brandbare vloeistof;
- 5 m³ uitstroming bij transport van een brandbare vloeistof;
- plasbrand van een instantane uitstroming bij transport van een brandbare vloeistof;
- instantane uitstroming bij transport van een brandbare vloeistof;
- BLEVE van een instantane uitstroming bij transport van een brandbaar gas;
- instantane uitstroming bij transport van een brandbaar gas;
- fakkelbrand van een continue uitstroming bij transport van brandbaar gas;
- continue uitstroming bij transport van een brandbaar gas;

Uitgangspunt is dat er geen effecten zijn, tenzij de bovengenoemde situatie's zich voordoen.

Pechbrand voor alle voertuigen en letselbrand voor personenwagens

Bij een pechgeval met brand (alle soorten voertuigen) zonder ventilatie in de tunnel zal t.o.v. een letselbrand in eerste instantie minder warmte geproduceerd worden. Daarom wordt aangenomen dat de effecten (50% van de invaliden worden slachtoffer) maar tot 25 m van de brand reiken. Bij een letselbrand wordt een effectafstand van 50m aangehouden.

0,05	kans op invaliden/mindervaliden in verkeer
0,5	kans op overlijden mindervaliden binnen effectafstand pechbrand zonder ventilatie
0,5	kans op overlijden mindervaliden binnen effectafstand pechbrand met ventilatie
0,5	kans op overlijden mindervaliden binnen effectafstand letselbrand personenauto zonder ventilatie
0,5	kans op overlijden mindervaliden binnen effectafstand letselbrand personenauto met ventilatie
25	effectafstand pechbrand personenauto zonder ventilatie [m] (dus aan beide zijden)
25	effectafstand pechbrand personenauto met ventilatie [m]
25	effectafstand pechbrand bus/vrachtauto zonder ventilatie [m] (dus aan beide zijden)
25	effectafstand pechbrand bus/vrachtauto met ventilatie [m]
50	effectafstand letselbrand personenauto zonder ventilatie [m] (dus aan beide zijden)
50	effectafstand letselbrand personenauto met ventilatie [m]

Brand in een bus t.g.v. letselongeval

Bij een brand in een bus vallen er bij werkende langsventilatieventilatie in de rijrichting alleen slachtoffers benedenstrooms van het ongeval. Door de ventilatie verspreiden de rookgassen zich direct over de hele doorsnede van de tunnel. Wanneer er geen ventilatie is, verspreidt de rook zich naar twee kanten. Hierdoor kunnen er ook slachtoffers bovenstrooms van het ongeval vallen. In dit geval zal gedurende enige tijd stratificatie van de rook optreden, waardoor een hoger percentage van de aanwezigen kan vluchten. Indien het incident de toegang tot een vluchtdeur versperd, dienen de aanwezigen in de nabijheid van het ongeval een

langere vluchtweg af te leggen. Zij hebben hierdoor t.o.v. de overige aanwezigen een grotere kans om niet tijdig te kunnen vluchten. Buiten de tunnel treden geen effecten meer op, de rookgassen stijgen vanwege hun warmte direct op. Indien in de tunnel een luidsprekersysteem aanwezig is, wordt aangenomen dat de effectafstand begrensd is, omdat personen op groter afstanden van het incident tijdig opgeroepen worden te vluchten. De bijbehorende aannamen zijn:

100	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel zonder ventilatie [m]
50	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel met ventilatie
0,3	kans op overlijden vluchtenden in tunnel zonder ventilatie
0,3	kans op overlijden vluchtenden in tunnel met ventilatie
0,2	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
1500	maximale effectafstand in tunnel met ventilatie, luidspreker systeem aanwezig [m]
600	maximale effectafstand in tunnel zonder ventilatie, hittewerende bekleding aanwezig [m]
350	maximale effectafstand in tunnel zonder ventilatie, geen hittewerende bekleding aanwezig [m]

Brand in een vrachtwagen zonder lading of met een niet brandbare lading.

De effecten van een brand in een vrachtauto zonder lading of met een niet brandbare lading t.g.v. een letselongeval zijn qua gevolgen vergelijkbaar met de brand in een bus t.g.v. een letselongeval. De bijbehorende aannamen zijn:

100	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel zonder ventilatie [m]
50	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel met ventilatie [m]
0,3	kans op overlijden vluchtenden in tunnel zonder ventilatie
0,3	kans op overlijden vluchtenden in tunnel met ventilatie
0,2	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
1500	maximale effectafstand in tunnel met ventilatie, luidsprekersysteem aanwezig [m]
600	maximale effectafstand in tunnel zonder ventilatie, hittewerende bekleding aanwezig [m]
350	maximale effectafstand in tunnel zonder ventilatie, geen hittewerende bekleding aanwezig [m]

Brand in een vrachtwagen met brandbare lading t.g.v. letselongeval

De effecten van een brand in een vrachtauto met brandbare lading t.g.v. een letselongeval hebben vergelijkbare gevolgen als de brand in een bus t.g.v. een letselongeval, maar met een hoger percentage slachtoffers.

100	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel zonder ventilatie [m]
50	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel met ventilatie [m]
0,6	kans op overlijden vluchtenden in tunnel zonder ventilatie
0,6	kans op overlijden vluchtenden in tunnel met ventilatie
0,2	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
1500	maximale effectafstand in tunnel met ventilatie, luidsprekersysteem aanwezig [m]
600	maximale effectafstand in tunnel zonder ventilatie, hittewerende bekleding aanwezig [m]
350	maximale effectafstand in tunnel zonder ventilatie, geen hittewerende bekleding aanwezig [m]

Brand in een vrachtwagen met explosieven t.g.v. letselongeval

Bij een brand in een vrachtwagen geladen met explosieven worden de explosieven ten gevolge van de brand ontstoken. Hierdoor zal een drukgolf zich naar beide uiteinden van de tunnel bewegen. De gevolgen zijn dus onafhankelijk van de ventilatie en zullen altijd boven- en benedenstrooms van het ongeval optreden. De hoogte van de overdruk van deze drukgolf is afhankelijk van de hoeveelheid en

soort explosieven die ontstoken worden. Aangenomen wordt dat de ontsteking van de explosieven korte tijd na het ontstaan van de brand plaatsvindt. Buiten de tunnel kunnen ten gevolge van de uittredende schokgolf ook slachtoffers vallen. Er wordt conservatief aangehouden:

0	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel [m]
1	kans op overlijden vluchtenden in tunnel
0	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
1	kans op overlijden vluchtenden buiten tunnel
100	maximale effectafstand buiten tunnel [m]

0,5 m³ uitstroming van een toxische vloeistof t.g.v. letselongeval

Bij een kleine continue uitstroming uit een tankwagen met toxische vloeistof wordt er vooralsnog vanuit gegaan dat deze uitstroming, net als op de open weg, geen effecten oplevert voor de in (en buiten) de tunnel aanwezige personen.

5 m³ uitstroming van een toxische vloeistof t.g.v. letselongeval

Bij een grote continue uitstroming van een toxische vloeistof wordt er in de tunnel een vloeistofplas gevormd. Op het horizontale deel van de tunnel vormt de helft van deze plas zich bovenstrooms en de andere helft vormt zich benedenstrooms van het ongeval. Hierbij wordt aangenomen dat de plas de gehele breedte van de tunnel vult. Op het neergaande deel van de tunnel ontstaat de plas benedenstrooms terwijl op het opgaande deel de plas zich bovenstrooms van het ongeval vormt. Hierbij zal de plas eerst de gehele breedte van de tunnel vullen en daarna in de richting van de riolering qua breedte afnemen. Voor de eenvoud van de berekeningen wordt echter van een rechthoekige plas van 300 m² uitgegaan.

Indien er ventilatie in de tunnel aanwezig is, wordt de verdamping [kg/s/m²] uit de plas door de ventilatiesnelheid bepaald. De verdampte vloeistof wordt door de ventilatielucht meegevoerd en verdund, totdat de doorsnede van de zo gevormde gaswolk gelijk is aan de doorsnede van de tunnel. Daarna zal de concentratie in de gaswolk niet veranderen en wordt de wolk als een plug door de tunnel "geduwd".

Indien er geen ventilatie is, zal de verdamping uit de plas in het algemeen veel lager zijn. Aangenomen is dat de gevormde gaswolk zich naar beide zijden van het ongeval zal verspreiden. Deze verspreiding gaat echter veel langzamer dan in een tunnel met ventilatie.

Aangenomen wordt dat de gaswolk buiten de tunnel geen extra slachtoffers meer veroorzaakt. De gaswolk zal aan het uiteinde van de tunnel snel dispergeren onder invloed van de aldaar heersende meteorologische condities.

Bij een uitstroming van een toxische vloeistof (gerekend met LT2, propylamine) zal in een tunnel met ventilatie (5 m/s) 1,69 kg/s uit een plas van 300 m² verdampen. Op korte afstand van de plas (≤ 3 m) ontstaat er een gaswolk met een concentratie van ca. 0,03 kg/m³ die de tunneldoorsnede volledig vult. M.b.v. de probit van propylamine ($Pr = 8.5 = \ln(C^2 t)$, met C in kg/m³ en t in sec.) is bepaald dat 50% van de aanwezigen zal overlijden bij een blootstellingsduur van 33 seconden en 99% van de aanwezigen zal overlijden bij een tijdsduur van 344 seconden (5,7 minuten). Op basis hiervan is aangenomen dat alle aanwezigen in de gaswolk zullen sterven en alleen de aanwezigen die binnen een halve minuut looptijd van de

vluchtdeuren zijn (ca. 20 m bij een loopsnelheid van 0,5-1 m/s) veilig kunnen vluchten. De gaswolk zal zich met 5 m/s (=300 m/minuut) door de tunnel verplaatsen. Indien aangenomen wordt dat het maximaal 15 minuten duurt voordat de operator de aanwezigen voor het gevaar heeft gewaarschuwd, treden deze effecten tot op maximaal 4500 m van het ongeval op.

In de plas zelf zal de hoogte van de gaswolk lager zijn, zodat de aanwezigen in de plas een grotere kans hebben om veilig weg te komen. Aangenomen wordt dat de aanwezigen die binnen 30 m van de vluchtdeur staan, veilig kunnen vluchten en dat 75% van de overige aanwezigen in de plas zullen overlijden. Nabij een geblokkeerde vluchtdeur zal 90% van de aanwezigen overlijden. Een geblokkeerde vluchtdeur geeft dus een extra kans op overlijden van 15%.

In het geval dat er geen mechanische langsventilatie aanwezig is (windsnelheid 1 m/s), zal 0,48 kg/s uit een plas van 300 m² verdampen. Op korte afstand van de plas (≤ 3 m) zal een gaswolk (met een concentratie van ca. 0,04 kg/m³) gevormd worden die de tunneldoorsnede volledig vult. M.b.v. de probit is bepaald dat 50% van de aanwezigen zal overlijden bij een blootstellingsduur van 19 seconden en 99% van de aanwezigen zal overlijden bij een blootstellingsduur van 193 seconden. Op basis hiervan is aangenomen dat alle aanwezigen in de gaswolk sterven en alleen de aanwezigen die binnen 20 seconden kunnen vluchten (ca. 15 m bij een loopsnelheid van 0,5-1 m/s) overleven. De gaswolk zal zich met 1 m/s (=60 m/minuut) door de tunnel verplaatsen. Indien aangenomen is dat het maximaal 15 minuten duurt voor de operator de aanwezigen voor het gevaar heeft gewaarschuwd, zullen deze effecten tot op maximaal 900 m van het ongeval optreden.

In de plas zelf zal de hoogte van de gaswolk lager zijn, zodat de aanwezigen in de plas een grotere kans hebben om veilig weg te komen. Aangenomen wordt dat de aanwezigen die binnen 20 m van de vluchtdeur staan, veilig kunnen vluchten en dat 75% van de overige aanwezigen in de plas overlijden. Nabij een geblokkeerde vluchtdeur zal 90% van de aanwezigen overlijden. Een geblokkeerde vluchtdeur geeft dus een extra kans op overlijden van 15%.

20	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel met ventilatie t.g.v. gaswolk
15	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel zonder ventilatie t.g.v. gaswolk
1	kans op overlijden overige vluchtenden in tunnel met ventilatie t.g.v. gaswolk
1	kans op overlijden overige vluchtenden in tunnel zonder ventilatie t.g.v. gaswolk
30	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel met ventilatie t.g.v. plas
20	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel zonder ventilatie t.g.v. plas
0,75	kans op overlijden overige vluchtenden in plas in tunnel met ventilatie
0,75	kans op overlijden overige vluchtenden in plas in tunnel zonder ventilatie
0,15	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
15	lengte plas op horizontale deel tunnel met ventilatie
25	lengte plas op hellende delen in tunnel
4500	maximale effectafstand gaswolk in tunnel met ventilatie vanaf rand vloeistofplas
900	maximale effectafstand gaswolk in tunnel zonder ventilatie vanaf rand vloeistofplas

Instantane uitstroming van een toxische vloeistof t.g.v. letselongeval

Bij een instantane uitstroming van een toxische vloeistof zal er in de tunnel een vloeistofplas van 1200 m² gevormd worden. De modellering van de plas vindt

verder op dezelfde wijze plaats als beschreven in het deel: "5 m³ uitstroming van een toxische vloeistof t.g.v. letselongeval".

In het geval van de instantane uitstroming zal de gevormde gaswolk een hogere concentratie hebben, waardoor mogelijk ook buiten de tunnel slachtoffers kunnen vallen.

Bij een uitstroming van een toxische vloeistof (gerekend met LT2, propylamine) zal in een tunnel met ventilatie (5 m/s) 6,24 kg/s uit een plas van 1200 m² verdampen. Op korte afstand van de plas (≤ 3 m) zal een gaswolk (met een concentratie van ca. 0,26 kg/m³) ontstaan die de tunneldoorsnede volledig vult. M.b.v. de probit van propylamine ($Pr = 8.5 = \ln(C^2 t)$, met C in kg/m³ en t in sec.) is bepaald dat 50% van de aanwezigen zal overlijden bij een blootstellingsduur van minder dan een seconde. Op basis hiervan is aangenomen dat alle aanwezigen in de gaswolk sterven en geen der aanwezigen veilig kunnen vluchten. De gaswolk zal zich met 5 m/s (=300 m/minuut) door de tunnel verplaatsen, Indien aangenomen is dat het maximaal 15 minuten duurt voor de operator de aanwezigen voor het gevaar heeft gewaarschuwd, zullen deze effecten tot op maximaal 4500 m van het ongeval optreden.

In de plas zelf zal de hoogte van de gaswolk lager zijn, zodat de aanwezigen in de plas een grotere kans hebben om veilig weg te komen. Aangenomen wordt dat aanwezigen die binnen 10 m van de vluchtdeur staan, veilig kunnen vluchten en 80% van de overige aanwezigen in de plas zullen overlijden. Nabij een geblokkeerde vluchtdeur zal 100% van de aanwezigen overlijden (dus extra kans op overlijden van 20%).

In het geval zonder ventilatie (windsnelheid 1 m/s) zal 1,78 kg/s uit een plas van 1200 m² verdampen. Op korte afstand van de plas (≤ 3 m) zal een gaswolk met een concentratie van ca. 0,16 kg/m³ ontstaan die de tunneldoorsnede vult. M.b.v. de probit is bepaald dat 50% van de aanwezigen zal overlijden bij een blootstellingsduur van 1,2 seconden en 99% bij 12 seconden. Op basis hiervan is aangenomen dat alle aanwezigen in de gaswolk sterven en alleen de aanwezigen die binnen 5 seconden kunnen vluchten (ca. 4 m bij een loopsnelheid van 0,5-1 m/s) overleven. De gaswolk zal zich met 1 m/s (=60 m/minuut) door de tunnel verplaatsen. Indien aangenomen is dat het maximaal 15 minuten duurt voor de operator de aanwezigen voor het gevaar heeft gewaarschuwd, zullen deze effecten tot op maximaal 900 m van het ongeval optreden.

In de plas zelf zal de hoogte van de gaswolk lager zijn, zodat de aanwezigen in de plas een grotere kans hebben om veilig weg te komen. Aangenomen wordt dat aanwezigen die binnen 20 m van de vluchtdeur staan, veilig kunnen vluchten en 80% van de overige aanwezigen in de plas zullen overlijden. Nabij een geblokkeerde vluchtdeur zal 90% van de aanwezigen overlijden (dus extra kans op overlijden van 20%).

Buiten de tunnel zal de concentratie in de gaswolk snel afnemen t.g.v. de aldaar heersende meteorologische condities. Bij een werkende langsventilatie wordt aangenomen dat 50% van de aanwezigen personen overlijden, indien die personen op een afstand minder dan 20 m van de tunneluitgang staan.

Zonder langsventilatie overlijdt 50% van de personen die op minder dan 10 m van de tunneluitgang staan.

0	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. gaswolk in tunnel met ventilatie [m]
4	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. gaswolk in tunnel zonder ventilatie [m]
1	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. gaswolk in tunnel met ventilatie
1	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. gaswolk in tunnel zonder ventilatie
10	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. plas in tunnel met ventilatie [m]
20	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. plas in tunnel zonder ventilatie [m]
0,8	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. plas in tunnel met ventilatie
0,8	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. plas in tunnel zonder ventilatie
0,2	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
0,5	Kans op overlijden vluchtenden buiten de tunnel
200	lengte plas op horizontale deel tunnel [m]
300	lengte plas op hellende delen in tunnel [m]
4500	maximale effectafstand gaswolk vanaf rand vloeistofplas in tunnel met ventilatie [m]
900	maximale effectafstand gaswolk vanaf rand vloeistofplas in tunnel zonder ventilatie [m]
20	maximale effectafstand gaswolk vanaf tunneleinde buiten tunnel met ventilatie [m]
10	maximale effectafstand gaswolk vanaf tunneleinde buiten tunnel zonder ventilatie [m]

Continue uitstroming van een toxisch gas t.g.v. letselongeval

Bij een continue uitstroming van een toxisch gas, zal er een mengsel van gas en vloeistofdruppeltjes als een jet uit de tankwagen spuiten. Hierbij wordt t.b.v. het verschil in effecten onderscheid gemaakt in een uitstroming aan de voorkant en aan de achterkant van de vrachtwagen. In de gebeurtenissenboom van Bijlage 1 is dit niet aangegeven. Het gas zal een gaswolk vormen die, nadat de doorsnede van de gaswolk gelijk is aan de doorsnede van de tunnel, niet verder verdund zal worden en als een plug door de tunnel stroomt. Indien de uitstroming naar het bovenstroomsedeel van de tunnel plaatsvindt, kunnen er in een tunnel met ventilatie ook slachtoffers bovenstrooms van het ongeval vallen. In een tunnel zonder ventilatie zal het gas zich naar beide zijden door de tunnel verspreiden. Bij het naar buiten komen van de gaswolk uit het tunneleinde, kunnen extra slachtoffers vallen onder de aanwezigen in een file buiten de tunnel.

Bij een continue uitstroming van toxisch gas (gerekend met GT3, ammoniak) zal uit een gat met een doorsnede van 5 cm maximaal 23,1 kg/s vrijkomen. Deze jet zal maximaal 15 m lengte hebben. Dit zal in een tunnel met ventilatie (5 m/s) direct een gaswolk (met een concentratie van ca. 0,08 kg/m³) vormen die de tunneldoorsnede vult. (aangenomen is dat 231 kg/s lucht kan worden ingemengd). M.b.v. de probit van ammoniak ($Pr = 7,94 + \ln(C^2 t)$, met C in kg/m³ en t in sec.) is bepaald dat 50% van de aanwezigen zal overlijden bij een blootstellingsduur van 8 seconden en dat 99% van de aanwezigen zal overlijden bij een blootstellingsduur van 84 seconden. Op basis hiervan is aangenomen dat alle aanwezigen in de gaswolk sterven en dat alleen de aanwezigen die binnen 10 seconden kunnen vluchten (ca. 7 m bij een loopsnelheid van 0,5-1 m/s) overleven. De gaswolk zal zich met 5 m/s (=300 m/minuut) door de tunnel verplaatsen. Indien aangenomen wordt dat het maximaal 15 minuten duurt voordat de operator de aanwezigen voor het gevaar heeft gewaarschuwd, kunnen deze effecten tot op maximaal 4500 m van het ongeval optreden. In de jet zelf zal de concentratie van het gas hoger zijn, zodat alle aanwezigen in de jet zullen overlijden.

In een tunnel zonder ventilatie (windsnelheid 1 m/s) zal zich een gaswolk (met een concentratie van ca. 0,15 kg/m³) vormen die de tunneldoorsnede geheel vult (onder de aanname dat nu slechts 115 kg/s lucht kan worden ingemengd). M.b.v. de probit is bepaald dat 50% van de aanwezigen zal overlijden bij een blootstellingsduur van 2 seconden en dat 99% van de aanwezigen zal overlijden bij een blootstellingsduur van 24 seconden. Op basis hiervan is aangenomen dat alle aanwezigen in de gaswolk sterven en alleen de aanwezigen die binnen 3 seconden kunnen vluchten (ca. 2 m bij een loopsnelheid van 0,5-1 m/s) overleven. De gaswolk zal zich met 1 m/s (=60 m/minuut) door de tunnel verplaatsen. Indien aangenomen wordt dat het maximaal 15 minuten duurt voordat de operator de aanwezigen voor het gevaar heeft gewaarschuwd, zullen deze effecten tot op maximaal 900 m van het ongeval optreden. Ook nu zullen alle aanwezigen in de jet overlijden.

Zonder ventilatie zal tot 100m buiten de tunnel 50% van de aanwezigen overlijden. Indien wel ventilatie aanwezig is, zal tot op 200m buiten de tunnel 50% van de aanwezigen overlijden.

7	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. gaswolk in tunnel met ventilatie [m]
2	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. gaswolk in tunnel zonder ventilatie [m]
1	kans op overlijden vluchtenden t.g.v. gaswolk in tunnel met ventilatie
1	kans op overlijden vluchtenden t.g.v. gaswolk in tunnel zonder ventilatie
0	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. jet in tunnel [m]
1	kans op overlijden vluchtenden in jet
0	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
0,5	kans op overlijden vluchtenden buiten de tunnel
15	lengte jet [m]
4500	maximale effectafstand gaswolk vanaf ongeval in tunnel met ventilatie [m]
900	maximale effectafstand gaswolk vanaf ongeval in tunnel zonder ventilatie [m]
200	maximale effectafstand gaswolk vanaf tunneleinde buiten tunnel met ventilatie [m]
100	maximale effectafstand gaswolk vanaf tunneleinde buiten tunnel zonder ventilatie [m]

Instantane uitstroming van een toxisch gas t.g.v. letselongeval

Bij een instantane uitstroming van een toxisch gas, zal er een BLEVE ontstaan waarbij het tot vloeistof verdichte toxische gas een mengsel van gas en vloeistofdruppeltjes zal vormen dat zich door de tunnel zal verspreiden. Zodra de doorsnede van de gaswolk gelijk is aan de doorsnede van de tunnel zal de gaswolk niet verder verdund worden en als een plug door de tunnel stromen. De gaswolk zal zich t.g.v. de bij de BLEVE ontstane overdruk in eerste instantie altijd naar beide zijden van het ongeval verspreiden. Er wordt aangenomen dat ook in een tunnel met ventilatie de gaswolk altijd beiden tunneluiteinden bereikt (dit is conservatief). Bij uitstroming van de gaswolk uit de tunnel kunnen slachtoffers vallen onder de aanwezigen in een file buiten de tunnel.

0	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel [m]
1	kans op overlijden overige vluchtenden in tunnel
0	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
1	kans op overlijden vluchtenden buiten tunnel
40	maximale effectafstand buiten tunnel [m]

0,5 m³ uitstroming van een brandbare vloeistof t.g.v. letselongeval

Bij een kleine continue uitstroming uit een tankwagen met brandbare vloeistof wordt er vooralsnog vanuit gegaan dat deze uitstroming, net als op de open weg, geen effecten oplevert voor de in (en buiten) de tunnel aanwezige personen.

Plasbrand van een 5 m³ uitstroming t.g.v. letselongeval

Bij een grote continue uitstroming van een brandbare vloeistof zal er in de tunnel een vloeistofplas gevormd worden, net zoals bij de uitstroming van een toxische vloeistof. Alleen zal het in dit geval een brandende vloeistofplas betreffen, zodat de kans op overlijden voor de aanwezigen in de plas groot is

Indien een werkende ventilatie in de tunnel aanwezig is, zullen de bij de plasbrand gevormde rookgassen zich alleen in de ventilatierichting verspreiden. Indien er geen ventilatie is, zullen de rookgassen zich naar beide zijden van het ongeval verspreiden. Buiten de tunnel stijgen de rookgassen direct op, zodat er buiten de tunnel geen slachtoffers vallen.

20	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. rookgassen in tunnel met ventilatie [m]
40	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. rookgassen in tunnel zonder ventilatie [m]
0,6	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. rookgassen in tunnel met ventilatie
0,6	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. rookgassen in tunnel zonder ventilatie
5	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. plasbrand in tunnel [m] (Dit is het gemiddelde van 0m bij directe ontsteking en 10m bij indirecte ontsteking)
1	kans op overlijden vluchtenden in plasbrand
15	lengte effectgebied plasbrand op horizontale deel tunnel [m]
25	lengte effectgebied plasbrand op hellende delen in tunnel [m]
1500	maximale effectafstand rookgassen vanaf rand vloeistofplas in tunnel met ventilatie, luidsprekersysteem aanwezig [m]
600	maximale effectafstand rookgassen vanaf rand vloeistofplas in tunnel zonder ventilatie, hittewerende bekleding aanwezig [m]
350	maximale effectafstand rookgassen vanaf rand vloeistofplas in tunnel zonder ventilatie, geen hittewerende bekleding aanwezig [m]

5 m³ uitstroming van een brandbare vloeistof t.g.v. letselongeval (zonder brand)

Ook wanneer de grote continue uitstroming van een brandbare vloeistof niet direct ontstoken wordt, zal er in de tunnel een vloeistofplas gevormd worden. De vorm en afmetingen zijn vergelijkbaar met die van de uitstroming van een toxische vloeistof van 5 m³. Ten gevolge van de wind/ventilatie zal een deel van de vloeistof verdampen. In het algemeen ontstaan hierbij niet zulke hoge concentraties van de brandbare stof in een gaswolk dat hierdoor aanwezigen in de tunnel overlijden. Wel is het mogelijk dat bij indirecte ontsteking van de gaswolk alsnog een plasbrand ontstaat. Dit is in de gebeurtenissenboom al gemodelleerd bij de 5 m³ plasbrand. Ten gevolge van de gaswolk zonder ontsteking zullen geen slachtoffers vallen, zodat voor het huidige scenario geen effecten bepaald hoeven te worden.

Plasbrand van een instantane uitstroming t.g.v. letselongeval

Bij een instantane uitstroming van een brandbare vloeistof zullen de uitstroming en de daarop volgende fysische verschijnselen en effecten gelijk zijn als voor een plas van 5 m³, alleen zal de plas nu veel groter zijn.

20	Afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. rookgassen in tunnel met ventilatie [m]
40	Afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. rookgassen in tunnel zonder ventilatie [m]
0,6	kans op overlijden vluchtenden t.g.v. rookgassen in tunnel met ventilatie
0,6	kans op overlijden vluchtenden t.g.v. rookgassen in tunnel zonder ventilatie
5	Afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. instantane plasbrand in tunnel [m]
1	kans op overlijden vluchtenden in plasbrand
200	lengte effectgebied plasbrand op horizontale deel tunnel [m]
300	lengte effectgebied plasbrand op hellende delen in tunnel [m]
1500	maximale effectafstand rookgassen vanaf rand vloeistofplas in tunnel met ventilatie, luidsprekersysteem aanwezig [m]
600	maximale effectafstand rookgassen vanaf rand vloeistofplas in tunnel zonder ventilatie, hittewerende bekleding aanwezig [m]
350	maximale effectafstand rookgassen vanaf rand vloeistofplas in tunnel zonder ventilatie, geen hittewerende bekleding aanwezig [m]

Instantane uitstroming van een brandbare vloeistof t.g.v. letselongeval (zonder brand)

De effecten van de indirecte ontsteking van de vloeistofplas zijn reeds gemodelleerd bij de plasbrand met een instantane uitstroming. Hierin is zowel de indirecte als de directe ontsteking opgenomen. Zodoende hoeven alleen de gevolgen van de instantane uitstroming zonder ontsteking van de plas en/of gaswolk gemodelleerd te worden. Deze effecten zijn verwaarloosbaar, omdat de concentratie van de brandbare stof in de gaswolk te laag zal zijn om gevolgen voor de aanwezigen in de tunnel te hebben.

BLEVE van een instantane uitstroming brandbaar gas t.g.v. letselongeval

Bij een BLEVE van een instantane uitstroming van brandbaar gas moeten twee situaties onderscheiden worden:

1. een (koude) BLEVE die direct na het ongeval (t.g.v. de aanrijding) ontstaat,
2. een (warme) BLEVE die t.g.v. een plasbrand onder de tankwagen enige tijd later ontstaat.

In de eerste situatie zal, omdat er geen tijd is om te vluchten, geen der aanwezigen in de tunnel de BLEVE overleven. In de tweede situatie zullen de effecten van de brand in de tunnel bepalend zijn voor de kans op succesvol vluchten van de aanwezigen. Aangenomen wordt dat de BLEVE pas optreedt nadat alle aanwezigen dood of gevluht zijn voor de brand. Buiten de tunnel zullen de gevolgen van de BLEVE domineren. De hier aanwezige personen kunnen minder makkelijk geïnstrueerd worden dat ze moeten vluchten. In beide situaties zal het wel of niet aanwezig zijn van een ventilatie geen verschil maken voor de effecten in de tunnel. Buiten de tunnel zullen t.g.v. de uittredende schokgolf en brandende gaswolk ook slachtoffers vallen onder de aanwezigen. Conservatief wordt aangehouden:

Koude BLEVE

0	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel [m]
1	kans op overlijden overige vluchtenden in tunnel
0	extra kans op overlijden vluchtenden nabij geblokkeerde vluchtdeur in tunnel
1	kans op overlijden vluchtenden buiten tunnel
150	maximale effectafstand buiten tunnel [m]

Warme BLEVE

40	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel [m]
0,6	kans op overlijden overige vluchtenden in tunnel
0,2	extra kans op overlijden vluchtenden nabij geblokkeerde vluchtdeur in tunnel
0,9	kans op overlijden vluchtenden buiten tunnel
150	maximale effectafstand buiten tunnel [m]

Instantane uitstroming van een brandbaar gas t.g.v. letselongeval indirecte ontsteking

Bij een instantane uitstroming van brandbaar gas zal een gaswolk ontstaan. Deze gaswolk kan ontstoken worden door indirecte ontsteking. Net als op de open weg wordt aangenomen dat er altijd indirecte ontsteking van de gaswolk optreedt, waarbij in dit geval ook aangenomen wordt dat de gaswolk altijd in de tunnel zal worden ontstoken. Ten gevolge van deze ontsteking zal een deflagratie en mogelijk een detonatie ontstaan in de tunnel, die zich altijd naar beide zijden van de tunnel zal verplaatsen. Tevens vallen er slachtoffers onder de aanwezigen buiten de tunnel.

5	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel [m]
0,9	kans op overlijden overige vluchtenden in tunnel
0,1	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
0,9	kans op overlijden vluchtenden buiten tunnel
150	maximale effectafstand buiten tunnel [m]

Fakkelflam van een continue uitstroming van brandbaar gas t.g.v. letselongeval

Bij een continue uitstroming van een brandbaar gas, zal net als bij een toxisch gas een mengsel van gas en vloeistofdruppeltjes als een jet uit de tankwagens spuiten. Bij directe ontsteking wordt de jet een fakkel. Er wordt een onderscheid gemaakt in een uitstroming naar de bovenstroomse zijde en naar de benedenstroomse zijde van het incident. Om de boom niet te complex te maken zijn deze niet getekend in Bijlage 1. De uittredende rookgassen veroorzaken geen extra slachtoffers onder de aanwezigen in een file buiten de tunnel.

20	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. rookgassen in tunnel met ventilatie [m]
40	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. rookgassen in tunnel zonder ventilatie [m]
0,6	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. rookgassen in tunnel met ventilatie
0,6	kans op overlijden overige vluchtenden t.g.v. rookgassen in tunnel zonder ventilatie
0	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden t.g.v. fakkel in tunnel [m]
1	kans op overlijden overige vluchtenden in jet uitstroming
0	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
30	lengte jet uitstroming [m]
1500	maximale effectafstand rookgassen vanaf ongeval in tunnel met ventilatie, luidspreker systeem aanwezig [m]
600	maximale effectafstand rookgassen vanaf ongeval in tunnel zonder ventilatie, wel hittewerende bekleding aanwezig [m]
350	maximale effectafstand rookgassen vanaf ongeval in tunnel zonder ventilatie, geen hittewerende bekleding aanwezig [m]

Continue uitstroming van een brandbaar gas t.g.v. letselongeval

Ook bij de continue uitstroming van een brandbaar gas zonder directe ontsteking, zal er een mengsel van gas en vloeistofdruppeltjes als een jet uit de tankwagen spuiten. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in een uitstroming naar de bovenstroomse zijde en naar de benedenstroomse zijde. In dit geval zal de gaswolk altijd door indirecte ontsteking ontstoken worden, waardoor een deflagratie of zelfs een detonatie in de tunnel zal optreden. De effecten van deze uitstroming zijn gelijk aan die van de instantane uitstroming van een brandbaar gas met indirecte ontsteking. De effecten treden aan beiden zijden van het incident op en er zijn ook effecten buiten de tunnel te verwachten.

10	afstand tot vluchtdeur waarin 0% vluchtenden overlijden in tunnel [m]
0,7	kans op overlijden overige vluchtenden in tunnel
0,1	extra kans op overlijden vluchtenden in tunnel nabij geblokkeerde vluchtdeur
0,9	kans op overlijden vluchtenden buiten tunnel
150	maximale effectafstand buiten tunnel [m]

Referenties

- [1] Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen, *Methods for determining and processing probabilities (Red Book)*, Sdu Drukkerij, 2nd edition, CPR 12E, Den Haag, 1997, ISBN 9012085438.
- [2] Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen, *Methods for the determination of possible damage to people and objects (Green Book)* Sdu Drukkerij, 2nd edition, CPR 16E, Den Haag, 2000, ISBN 9012088453.
- [3] Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen, *Methods for the calculation of physical effects (Yellow Book)*, Sdu Drukkerij, 2nd edition, CPR 14E, Den Haag, 1997, ISBN 9012084970
- [4] Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen, *Guidelines for quantitative risk assessment (Purple Book)*, Sdu Drukkerij, CPR 18E, Den Haag, 1999, ISBN 9012087961
Richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyse (Paarse Boek), Sdu Drukkerij, CPR 18, Den Haag, 2000, ISBN 9012089883
- [5] Systematiek voor indeling van stoffen ten behoeve van risicoberekeningen bij het vervoer van gevaarlijke stoffen AVIV, Veilig Vervoer over Water deelproject S3b, (BD RWS rapport VVW-S-95130), Enschede, juni 1995.
- [6] Fundamenteel onderzoek naar kanscijfers voor risicoberekeningen bij wegtransport gevaarlijke stoffen: hoofdrapport AVIV, Enschede, oktober 1994
- [7] Handleiding risicoberekening wegtransport gevaarlijke stoffen: Bepaling faalkansen
AVIV, Enschede, oktober 1994
- [8] VRC Richtlijnen basismaatregelen & VRC Bijlagen basismaatregelen, Bouwdienst RWS, Steunpunt Tunnelveiligheid (www.tunnelsafety.nl)