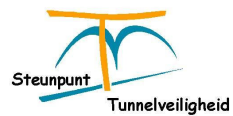




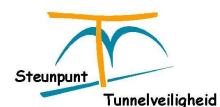
Gebruikershandleiding QRA-tunnels 2.0

Datum 2 februari 2012
Status Definitief



Gebruikershandleiding QRA-tunnels 2.0

Colofon



Uitgegeven door	RWS, Dienst Infrastructuur, Steunpunt Tunnelveiligheid
Informatie	www.rws.nl/tunnelsafety
E-mail	sttv@rws.nl
Uitgevoerd door	RWS Steunpunt Tunnelveiligheid, in samenwerking met Arcadis, Intraffic en TNO
Datum	2 februari 2012
Status	definitief
Versienummer	4
Documentnummer	4818-2012-0004

Inhoud

Voorwoord 6

1 Wat is QRA-tunnels? 8

- 1.1 Aanleiding 8
- 1.2 Kader 8
- 1.3 Doel van het programma 9
- 1.4 Leeswijzer 9

2 Wat doet QRA-tunnels? 11

- 2.1 Werking van het programma 11
- 2.2 Uitkomsten van het programma 12

3 De reikwijdte van de QRA-tunnels 14

- 3.1 Waar is het model voor bedoeld? 14
- 3.2 Afbakening scenario's 17
- 3.3 Gevoelighedsanalyse 18

4 Hoe werkt QRA-tunnels? 20

- 4.1 Opzet computerprogramma 20
- 4.2 Invoervariabelen 22
- 4.3 Defaultwaarden 37
- 4.4 Berekening van het risico – QRA-module 38
 - 4.4.1 Filter 39
- 4.5 Analyse 39
 - 4.5.1 Rapportage 41
 - 4.5.2 Vergelijken van resultaten 41
 - 4.5.3 Optellen van resultaten 42
- 4.6 Scenario-module 43

5 Aanpak QRA bij "afwijkende" tunnels 50

- 5.1 Aanpak 50
- 5.2 Modelleertips 51
- 5.3 Voorbeeld: Toepassing voor een "afwijkende" Nederlandse tunnel 54

Bijlage A Referenties 57

Bijlage B Overzicht invoervelden 58

Bijlage C Overzicht defaultwaarden 64

Bijlage D Handreiking Incidentkansen 72

- D.1 Aantal rijstroken 73
- D.2 Aanwezigheid vluchtstrook 73
- D.3 Tunnellengte 74
- D.4 Rijstrookbreedte 74
- D.5 Breedte redresseerstrook 75
- D.6 Ligging convergentie- en divergentiepunten 75
- D.7 Fileterugslag in de tunnel 77

D.8	Helling	77
D.9	Horizontale boog	78
D.10	Verticale boog	78
D.11	Maximumsnelheid	79
D.12	Intensiteit - capaciteit verhouding	81
D.13	Aandeel vrachtverkeer	81

Bijlage E Vervoer gevaarlijke stoffen gerelateerd aan tunnelcategorieën A t/m E 83

Bijlage F Overzicht takken in de gebeurtenissenboom (tbv scenariomodule en filter-optie) 84

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.

In de Nederlandse tunnelwetgeving is de verplichting tot het uitvoeren van een risicoanalyse opgenomen in artikel 6 van de Wet aanvullende regels veiligheid Wegtunnels (Warvw, 2012). Volgens artikel 6 lid 1 van de Warvw moet met de risicoanalyse worden aangetoond dat de kans op slachtoffers in de tunnel niet groter is dan $0,1/N^2$ per kilometer tunnelbuis per jaar (waarbij "N" het aantal dodelijke slachtoffers onder de weggebruikers per incident is en waarbij dat aantal 10 of meer bedraagt). In de onderliggende ministeriele regeling (Rarvw, 2012) is in artikel 4 aangegeven dat voor de risicoanalyse gebruik moet worden gemaakt van het rekenmodel QRA-tunnels 2.0. Dit model is een doorontwikkeling van het voorheen wettelijk voorgeschreven RWSQRA versie 1 (Rarvw, 2006)¹

De belangrijkste verbeteringen van QRA-tunnels 2.0 ten opzichte van RWSQRA versie 1 zijn:

- Nadere detaillering (uitbreiding) van de scenario's die in het model worden meegenomen
- Nadere onderbouwing van de kanscijfers en aannames die in het model zijn opgenomen (uitgebreidere documentatie)
- Aanpassing van het gevolgenmodel, waardoor de gevolgen voor diverse scenario's beter worden onderbouwd met berekeningen in plaats van vuistregels.
- Nieuwe software, met meer mogelijkheden voor het analyseren van de resultaten en toevoeging van een scenariomodule waarmee de uitkomsten van één enkel scenario worden getoond.

Bij het tot stand komen van QRA-tunnels 2.0 zijn diverse partijen betrokken geweest, om de beschikbare kennis op het gebied van risicoanalyses optimaal te benutten en tegelijkertijd zo veel mogelijk draagvlak voor het nieuwe model te bewerkstelligen:

- Ingenieursbureau Arcadis (faciliteren procesgang, toetsing model en bijdragen aan de gebruikershandleiding)
- TNO (toetsing model en uitwerken gevolgenmodel)
- Commissie tunnelveiligheid (Klankbordgroep)

¹ QRA-tunnels 2.0 was tijdens de ontwikkeling en validatie bekend onder de werktitel "RWSQRA 2.0".

- NIFV & NVBR (Klankbordgroep)
- Ministerie VROM (Klankbordgroep)
- Ministerie BZK (klankbordgroep, agendalid)
- RIVM (toetsing en validatie model)

In diverse rondes is het commentaar van de verschillende leden van de klankbordgroep ingebracht en zo goed mogelijk verwerkt. De inbreng van de klankbordgroep heeft zich vooral op gebruikerswensen gericht. Inhoudelijke toetsen en bijdragen zijn voornamelijk geleverd door RWS Steunpunt Tunnelveiligheid, TNO, Arcadis en deels door enkele leden van de klankbordgroep.

De inhoudelijke totstandkoming van QRA-tunnels 2.0 is getrokken door het Steunpunt Tunnelveiligheid (STV) van Rijkswaterstaat. De ontwikkeling van de software is door het STV uitbesteed aan het softwarebedrijf Intraffic. Intraffic heeft ook een softwarematige validatie van het model uitgevoerd, waarbij getoetst is of de beschrijving van het model in het Achtergronddocument [1] compleet is en of achtergronddocument en software volledig met elkaar overeenkomen. Dit is vervolgens nogmaals door het STV getoetst. Daarnaast zijn er door het STV diverse berekeningen en een consequentieonderzoek met de nieuwe versie uitgevoerd [2].

De *technisch-inhoudelijke eindbeoordeling (validatie)* van het model is uitgevoerd door het RIVM, op basis van de in Nederland gangbare toetscriteria voor QRA-modellen, die zijn opgesteld door de Beheergroep Instrumentarium risicoanalyse Externe Veiligheid (het RIVM is voorzitter van deze beheergroep).

Het beheer van QRA-tunnels 2.0 (hierna kortweg "QRA-tunnels" genoemd) ligt vooralsnog bij het STV. Het STV beheert zowel de documentatie als de broncode van de software.

De software en de bijbehorende documentatie worden via de website van het STV beschikbaar gesteld (www.rws.nl/tunnelsafety). Via de website kunnen ook vragen met betrekking tot het gebruik en toepassing van het pakket worden gesteld, die door het STV worden beantwoord (helpdesk).

Het beheer vindt plaats onder de paraplu van de eerder genoemde Beheergroep onder voorzitterschap van het RIVM. Dit betekent dat wijzigingen in het model worden ontwikkeld en gevalideerd volgens de regels van de beheergroep. Bij wijzigingen die consequenties hebben voor de uitkomsten van het model zal dit gepaard gaan met een consequentieonderzoek en een formele acceptatie door de wetgever.

N.B.:

In de toekomst zal het beheer van QRA-tunnels door het STV worden overgedragen aan het (nog te bepalen) kennisplatform dat de kennisfunctie van de Commissie Tunnelveiligheid over zal nemen, nadat de commissie conform de gewijzigde Warvw (2012) ophoudt te bestaan. Het betreffende kennisplatform zal dan in plaats van het STV deelnemen in de Beheergroep.

1 Wat is QRA-tunnels?

1.1 Aanleiding

Veiligheid speelt een steeds prominentere rol bij de planning, het ontwerp, de bouw en de exploitatie van tunnels. Voor het beschouwen van de veiligheid van gebruikers in een tunnel wordt een risicoanalyse uitgevoerd. Hiermee wordt zowel de veiligheid van individuele personen als van (grotere) groepen beschouwd.

Voor het uitvoeren van deze risicoanalyse is door Rijkswaterstaat het programma QRA-tunnels ontwikkeld.

Deze handleiding beschrijft de werking van het programma QRA-tunnels en leert gebruikers hoe de gewenste berekeningen kunnen worden uitgevoerd, afgestemd op de specifieke projectkenmerken. Er wordt bij de gebruikers enige kennis verondersteld van risicoanalyses en tunnelveiligheid. Voor een diepgaander inzicht van de werking van het model is bestudering van het achtergronddocument noodzakelijk.

1.2 Kader

De EU-Richtlijn 2004/54/EG inzake minimumveiligheidseisen voor tunnels in het trans-Europese wegennet verplicht de tunnelbeheerder tot het laten uitvoeren van een risicoanalyse door een onafhankelijk orgaan (EU directive 2004/54, artikel 13). Deze wettelijke verplichting is overgenomen in de Wet aanvullende regels veiligheid wegtunnels, die in een eerste versie op 2 februari 2006 in werking is getreden en vervolgens in 2012 is gewijzigd op basis van een in 2010 uitgevoerde wetsevaluatie.

In artikel 6 van de Warvw (2012) zijn de volgende bepalingen vastgelegd met betrekking tot de risicoanalyse:

- Lid 1: De kans op slachtoffers in de tunnel is blijkens een risicoanalyse niet groter dan $0,1/N^2$ per kilometer tunnelbuis per jaar. Waarbij "N" het aantal dodelijke slachtoffers onder de weggebruikers per incident is en waarbij dat aantal 10 of meer bedraagt;
- Lid 2: De uitvoerder van de risicoanalyse, bedoeld in het eerste lid, is in functioneel opzicht onafhankelijk van de tunnelbeheerder.
- Lid 3: De risicoanalyse bedoeld in het eerste lid, geschiedt volgens een bij ministeriële regeling vastgestelde methode.

De in lid 3 bedoelde ministeriële regeling is de Regeling aanvullende regels veiligheid wegtunnels (Rarvw, 2012).

In artikel 4 van de Rarvw staat vermeld dat voor de risicoanalyse gebruik moet worden gemaakt van het model QRA-tunnels.

Verder bepaalt de Warvw (2012) op welke momenten een risicoanalyse (met QRA-tunnels) moet worden uitgevoerd:

- Bij de aanleg van een nieuwe tunnel: voorafgaand aan de vaststelling van de planologische beslissing, als onderdeel van het tunnelveiligheidsplan (zie artikel 6c);
- Bij een reeds in gebruik zijnde tunnel: indien overwogen wordt de constructie, de voorzieningen of het gebruik van een tunnel wezenlijk te wijzigen (zie artikel 6d),

De QRA en de toetsing aan de norm dient te worden opgenomen het Veiligheidsbeheerplan [3].

1.3 Doel van het programma

QRA-tunnels kan in verschillende fasen van de levensduur van de tunnel gebruikt worden, en dient als ondersteunend bij de besluitvorming en biedt daartoe een afwegingskader. Doelstelling van QRA-tunnels is om:

- De veiligheid van verschillende tunnelalternatieven onderling te vergelijken (de verwachtingswaarde vormt hiervoor een geschikte maat);
- De veiligheid van een tunnel te toetsen aan de wettelijke norm conform artikel 6 lid 1 van de Warvw (2012), zowel tijdens planvorming als tijdens de exploitatie van de tunnel
- De veiligheidseffectiviteit van veiligheidbevorderende maatregelen af te wegen, indien niet aan de wettelijke norm wordt voldaan (voor zover desbetreffende maatregel in het model opgenomen²).

Kort gezegd kunnen door middel van QRA-tunnels de veiligheidsrisico's voor de tunnelgebruikers op systematische wijze worden geanalyseerd. Hiertoe wordt het risiconiveau uitgedrukt in de maten verwachtingswaarde, persoonlijk risico en groepsrisico (zie verder paragraaf 2.2).

Met behulp van de scenariomodule kan tevens worden nagegaan wat de gevolgen van een enkel scenario zijn (zie verder paragraaf 4.6).

1.4 Leeswijzer

Bij het programma QRA-tunnels horen twee documenten: de Gebruikershandleiding en het Achtergronddocument [1].

Voorliggend document is de Gebruikershandleiding, met een beschrijving van het doel van het programma, de mogelijkheden en beperkingen, de werking ervan en tips voor de modelering.

² In het model zijn alle, voor de risicomodellering relevante, maatregelen die in Nederlandse tunnels als (min of meer) standaard worden beschouwd meegenomen. Daarnaast zijn er nu en in de toekomst uiteraard andere maatregelen te bedenken die nu nog niet standaard in het model zijn opgenomen. In veel gevallen kan een inschatting van de effectiviteit van de maatregelen worden gemaakt door diverse parameters in het model aan te passen. Hiertoe zijn in het rapport een aantal modelleertips opgenomen. Aanvullend kunnen vragen hierover worden gesteld aan de helpdesk. Mocht in de loop van tijd de behoefte aan een bepaalde aanvullende maatregel in het model veelvuldig voor komen, dan is het mogelijk om het programma hierop uit te breiden. Dit zal dan gepaard gaan met een nieuwe release van het programma.

Het Achtergronddocument bevat de theoretische modelbeschrijving waarbij in detail wordt ingegaan op de verschillende variabelen en parameters die in het model worden meegenomen, de onderbouwing van beschikbaar gestelde defaultwaarden en de gehanteerde rekenregels in het model. Overigens staat het de risicoanalist vrij om af te wijken de aangereikte defaultwaarden en deze aan te passen naar de specifieke tunnelsituatie. Van de analist wordt dan wel verwacht dat hij deze alternatieve waarden onderbouwt.

Gebruikershandleiding

Na het inleidende hoofdstuk is de Gebruikershandleiding verder als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het programma op hoofdlijnen en wat de uitkomsten zijn die uit het programma voortvloeien.
- Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van datgene wat het programma wel en niet kan.
- In hoofdstuk 4 worden de verschillende stappen die in het programma moeten worden doorlopen voor het doorrekenen van een tunnelbuis en het analyseren van de resultaten. Er wordt in dit hoofdstuk onder andere een beschrijving gegeven van de invoervariabelen die de gebruiker moet invoeren.
- Hoofdstuk 5 geeft modelleertips en handswijze bij bijzondere tunnelconstructies of omgevingsfactoren.

Achtergronddocument

Het Achtergronddocument [1] bevat een stapsgewijze beschrijving van het rekenmodel in QRA-tunnels. Het behelst de beschrijving van onder meer:

- De modelaannamen, werking en reikwijdte van het model;
- De door de gebruiker te kiezen invoervariabelen met bronverwijzingen;
- De voorbewerkingen (in het document tussenvariabelen genoemd) die het model uitvoert op de invoervariabelen;
- De rekenalgoritmes waarmee de voorbewerkte variabelen worden doorberekend;
- De uitvoervariabelen.

2 Wat doet QRA-tunnels?

2.1 Werking van het programma

De werking van het model wordt hierna kort toegelicht, voor een uitgebreide beschrijving van de werking van het model wordt verwezen naar het Achtergronddocument. In hoofdstuk 4 wordt nader ingegaan op de bediening van de software en de verschillende stappen die moeten worden doorlopen om een tunnelbuis door te rekenen.

Kort gezegd berekent het model de risico's voor de weggebruikers die door de tunnel rijden.

Deze risico's hebben betrekking op dodelijke slachtoffers onder de weggebruikers, als gevolg van een ongeval in een tunnelbuis. Risico's ten gevolge van externe invloeden, zoals vallende ankers, zinkende schepen, aardbevingen en dergelijke, zijn niet in het model opgenomen.

Het programma berekent de kans en het gevolg van een groot aantal ongevalsscenario's. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een gebeurtenissenboom, waarin alle bekende relevante (ongewenste) gebeurtenissen zijn 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. Kenmerkend voor een tunnel is dat dit een "gesloten" constructie is, waardoor er bij een brand of het vrijkomen van gevaarlijke stoffen potentieel veel meer slachtoffers kunnen vallen dan bij een soortgelijk ongeval op de open weg. In het model wordt derhalve veel aandacht besteed aan het berekenen van de risico's van deze incidenten (kleine kans, groot gevolg). Incidenten zonder uitstroming van gevaarlijke stoffen en/of brand, de 'gewone' incidenten, zijn minder kenmerkend voor tunnels 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 voor de hulpverleningsdiensten wel verschillend zijn). Voor de "normale" ongevallen worden derhalve defaultwaardes gebruikt, die overeenkomen met die voor open-weg situaties. De mogelijkheden en beperkingen van de hulpverlening vallen buiten het bereik van het model, en moeten dus nader worden onderzocht met bijvoorbeeld een scenarioanalyse.

Het rekenmodel in QRA-tunnels bestaat uit:

- Het kansenmodel, gebaseerd op een gebeurtenissenboomanalyse, voor de berekening van de kans van optreden van elk ongevalscenario;
- Het gevolgenmodel, voor het berekenen van een effect per ongevalscenario; hierbij wordt het gevolg voornamelijk alleen uitgedrukt in aantal doden. Het model is qua opzet en structuur wel eenvoudig uit te breiden met andere gevolgkentallen (zoals materiele schade en/of aantal gewonden), maar op dit moment ontbreken nog de theoretische en statistische gegevens om deze kentallen verder uit te werken.
- Een model voor het berekenen van het risico; hierbij geldt dat het programma het risico per tunnelbuis uitrekent en vervolgens de optie aanbiedt om de uitkomsten van de verschillende tunnelbuizen bij elkaar op te tellen, zodat het risico per tunnel kan worden berekend.

In de softwaretool zijn twee modules opgenomen: de QRA-module en de Scenario-module. In de QRA-module worden deze 3 modellen gecombineerd en worden de verwachtingswaarde, het persoonlijk risico en het groepsrisico. In de Scenario-module worden de resultaten van het kansenmodel en het gevolgenmodel los van elkaar getoond voor een specifiek, van te voren geselecteerd scenario (zie verder paragraaf 4.6).

2.2 Uitkomsten van het programma

Als uitkomst van een berekening genereert het programma de volgende risicokentallen per tunnelbuis:

- verwachtingswaarde
- persoonlijk risico
- groepsrisico

De wettelijke norm (Warvw, artikel 6 lid 1) heeft betrekking op het groepsrisico. Ten aanzien van de overige risicokentallen gelden geen wettelijke normen. Deze kentallen zijn derhalve alleen informatief, ten behoeve van het verkrijgen van inzicht.

▪ Verwachtingswaarde

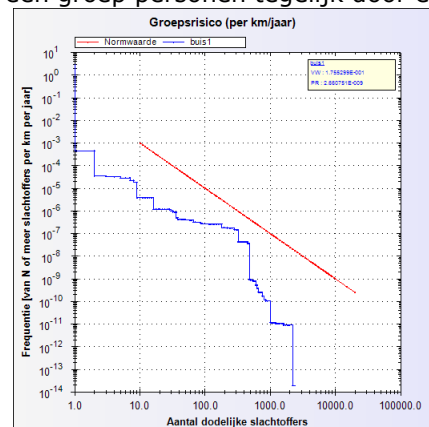
De verwachtingswaarde geeft berekende aantal doden per jaar (per tunnelbuis) weer.

▪ Het persoonlijk risico

Het persoonlijk risico is de kans per afgelegde reizigerskilometer op overlijden als gevolg van een verkeersongeval. De hoogte van het te aanvaarden risico wordt bepaald aan de hand van ongevalstatistieken met verschillende uitkomsten per modaliteit.

▪ Het groepsrisico incl. toetsing aan de wettelijke norm;

Het groepsrisico is de kans dat in één keer een groep personen tegelijk door een incident overlijden. Het groepsrisico wordt weergegeven in een grafiek (ook wel fN-curve genoemd), waarbij het aantal doden wordt uitgezet tegen de frequentie³ op minimaal dit slachtofferaantal. Voor het groepsrisico geldt een normwaarde van $0,1/N^2$ (waarbij N staat voor het aantal dodelijke slachtoffers onder de weggebruikers en $N \geq 10$). Een voorbeeld hiervan wordt gegeven in bijgevoegde grafiek (blauw: groepsrisicocurve, rood: normwaarde).



³ Dit houdt in dat in de grafiek de (cumulatieve) frequentie van optreden van **alle scenario's met N of meer doden** wordt weergegeven, in plaats van de kans op één scenario met N doden. Hierdoor wordt altijd een dalende functie weergegeven: de cumulatieve frequentie van scenario's met 10 of meer doden is per definitie immers altijd groter dan de cumulatieve frequentie van scenario's op 11 of meer doden.

Het programma produceert (op aanvraag) als uitvoer tevens een standaard-rapportage, waarin is aangegeven welke invoerparameters in het model zijn ingevoerd met betrekking tot de tunnel (geometrie, aanwezige installaties, bediening etc.) en het gebruik van de tunnel (aantal voertuigen, vervoer gevaarlijke stoffen, file kans, etc.). Indien er is afgeweken van de in het programma aangereikte defaultwaarden dan wordt dit bij de uitvoer expliciet aangegeven. Het gebruik van afwijkende invoerwaarden zal dan door de risicoanalist gemotiveerd moeten worden. In deze standaardrapportage zijn ook de waarden van het groepsrisico opgenomen, die door de gebruiker desgewenst kunnen worden overgenomen voor gebruik in andere applicaties (zoals Excel).

De invoer en resultaten van QRA-tunnels worden per tunnelbuis verwerkt. Dit sluit aan bij de wettelijke norm (Warvw, artikel 6 lid 1) die immers ook per tunnelbuis geldt. Het programma biedt (ten behoeve van het verkrijgen van inzicht) echter tevens de optie om meerdere tunnelbuizen bij elkaar op te tellen (via de optie "Combineer resultaten", zie ook hoofdstuk 4)..

De optie "Combineer resultaten" biedt ook de mogelijkheid verschillende berekeningen in te lezen en naast elkaar in een grafiek te presenteren. Met deze optie kunnen ook de resultaten van verschillende tunnelvarianten worden vergeleken.

Het programma biedt daarnaast de mogelijkheid om het risico van een selectie van de scenario's te presenteren (toepassen van een "filter", zie paragraaf 4.4). Hierbij kan in het invoerscherm worden aan gegeven welke scenario's wel of juist niet moeten worden meegenomen, bijvoorbeeld:

- Alleen vrachtwagenbranden;
- Alleen alle scenario's met een warme BLEVE (of een willekeurig ander uitstromingsscenario);
- Alle scenario's behalve scenario's met een warme BLEVE;
- Alle scenario's waarbij de ventilatie faalde;
- Alle scenario's met een file voor het ongeval;
- Etc.

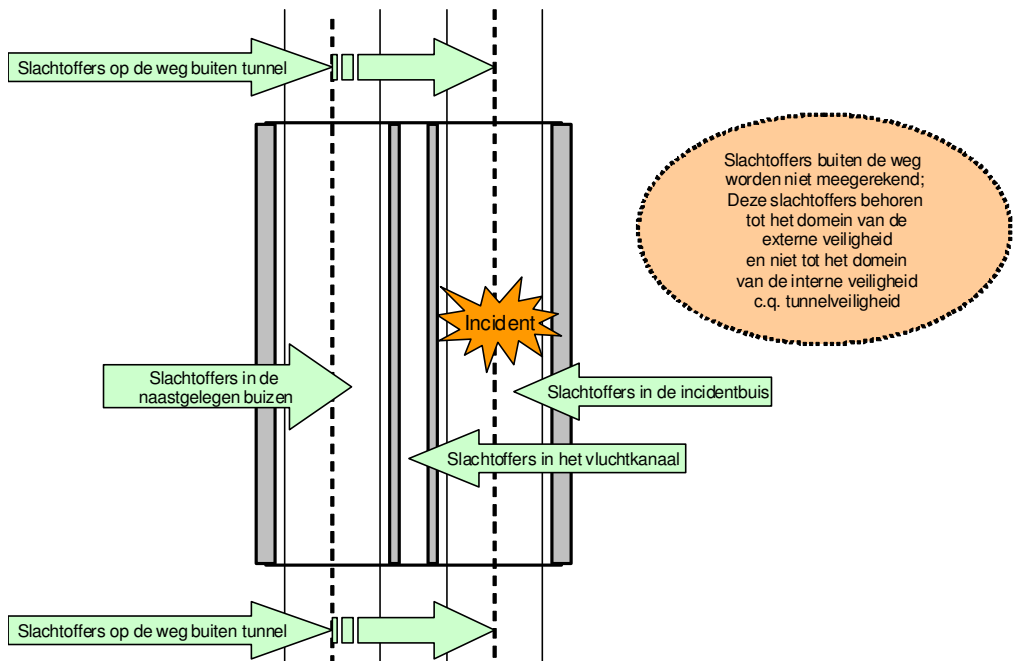
Deze optie is vooral van belang om de bijdrage van specifieke scenario's aan het risico te analyseren en daarmee na te gaan of het toevoegen van risicoreducerende maatregelen voor deze scenario's effectief zou zijn. Hiermee wordt ook inzicht verkregen in de kansen op de scenario's en het aantal slachtoffers (slachtoffercategorie) van een bepaalde groep scenario's.

In de scenariomodule wordt helemaal ingezoomd op één scenario. Van het geselecteerde scenario wordt getoond wat de kans op dit scenario is en wat het aantal slachtoffers bij dit scenario is. Daarbij worden ook de meest relevante tussenwaarden getoond die bij het berekenen van het aantal slachtoffers van belang zijn. Deze informatie evert een grote bijdrage in het bieden van inzicht in de werking van het gevolgenmodel en het aantal slachtoffers per scenario en hoe dit zich ontwikkeld..

3 De reikwijdte van de QRA-tunnels

3.1 Waar is het model voor bedoeld?

Het model is bedoeld voor het berekenen van de risico's door middel van een kwantitatieve risicoanalyse voor de gebruikers van de tunnel, dus de interne veiligheid van de tunnel. Hierbij wordt gekeken naar het geheel gesloten deel van de constructie voor tunnels langer dan 80 meter⁴. Incidenten die buiten het gesloten gedeelte plaatsvinden worden niet meegenomen. Slachtoffers onder de weggebruikers, die buiten de tunnel vallen ten gevolge van incidenten die in de tunnel plaatsvinden, worden bij de bepaling van de gevolgen wel meegenomen. Te denken valt bijvoorbeeld aan weggebruikers die zich zodanig dicht bij de tunnelmonden bevinden dat ze nog worden blootgesteld aan de effecten van explosies of toxische stoffen die in de tunnel zijn vrijgekomen. Slachtoffers onder niet-weggebruikers, dus de mensen in de omgeving van de tunnel en de weg, worden niet meegenomen. Deze categorie slachtoffers valt namelijk onder de regelgeving van de externe veiligheid, waarvoor weer andere rekenmodellen moeten worden toegepast (zie ook onderstaande figuur). Ook de arborisico's, voor bijvoorbeeld bouwers of onderhoudspersoneel, behoren niet tot de reikwijdte van het model.



⁴ De invoer is begrensd op 80 meter omdat over het algemeen bij overbouwde constructies van 80 meter of langer nog 'tunneleffecten' zijn te verwachten. De gebruikte CFD-resultaten en aannames voor effecten voor gevaarlijke stoffen zijn voor kortere tunnels niet representatief.

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste ongevalsscenario's. Hierbij is tevens aangegeven welke aanwezig zijn bij de berekening van het risico van een tunnelbuis worden meegenomen.

Overzicht berekening slachtoffers door QRA-tunnels				
Scenario's	Model berekent slachtoffers [Ja / Nee]			
	Incident buis	Neven-buizen	MTK / vluchtweg	Op weg buiten tunnel
Voertuigbranden (5, 10, 25, 50, 100 en 200 MW)	Ja	Nee	Nee	Nee
Explosieven (E)	Ja	Ja	Ja	Ja
Plasbrand LF	Ja	Nee	Nee	Nee
Wolkbrand / gaswolkexplosie LF	Ja	Nee	Nee	Nee
Toxische vloeistofplassen LT	Ja	Nee	Nee	Nee
Fakkelbrand GF	Ja	Nee	Nee	Nee
Gaswolkexplosie GF	Ja	Ja	n.v.t.	Ja
Koude BLEVE GF	Ja	Ja	n.v.t.	Ja
Warme BLEVE GF	Ja	Ja	Ja	Ja
Toxische gaswolk GT	Ja	Nee	Nee	Nee
Koude BLEVE GT	Ja	Ja	n.v.t.	Ja
Warme BLEVE GT	Ja	Ja	Ja	Ja

QRA-tunnels hanteert een aantal uitgangspunten wanneer het gaat om de in te voeren parameters/variabelen. Om deze uitgangspunten (en de daarmee samenhangende beperkingen) inzichtelijk te maken worden deze hieronder kort besproken. Voor een uitgebreidere beschrijving van de invoervariabelen wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

Tunnelconfiguratie, maatregelen en voorzieningen

In het model wordt rekening gehouden met een tunnelconfiguratie en voorzieningenpakket zoals die op dit moment voor Nederlandse tunnels gangbaar zijn. Er kan worden aangegeven of bepaalde voorzieningen al dan niet aanwezig zijn in de door te rekenen tunnelbuis. Het effect van eventuele aanvullende voorzieningen, die niet specifiek in de invoerschermen worden genoemd, moeten op een andere wijze in rekening worden gebracht (zie ook hoofdstuk 5).

Indien sprake is van een afwijkende tunnelconfiguratie zal de risicoanalist moeten nagaan of dit nog op redelijke wijze kan worden benaderd door het model en welke parameters daarvoor moeten worden aangepast (zie ook hoofdstuk 4 en 5). Indien nodig kan de helpdesk QRA-tunnels daarbij assisteren.

Eénrichtingsverkeer

De berekening wordt uitgevoerd uitgaande van éénrichtingsverkeer in de tunnelbuis. Indien sprake is van tweerichtingsverkeer zal hier bij het invullen van de invoerwaarden en de defaultwaarden op aangepaste wijze mee om moeten worden gegaan (zie ook hoofdstuk 5).

Transportsoort

QRA-tunnels is gericht op het gemotoriseerde verkeer. Langzaam verkeer in de vorm van voetgangers of fietsers kunnen niet meegenomen worden en dienen kwalitatief beschouwd te worden (zie ook hoofdstuk 5). Wel wordt onderscheid gemaakt naar personenauto's, vrachtwagens, bussen en voertuigen met gevaarlijke stoffen. Dit onderscheid is van belang om dat de gevolgen van ongevalsscenario's voor deze verschillende voertuigtypen verschillen.

Mechanische langsventilatie

In QRA-tunnels wordt uitgegaan van het wel of niet aanwezig zijn van mechanische langsventilatie. Andere ventilatiesystemen kunnen in principe niet rechtstreeks meegenomen worden in het model. Dit zou aanpassing vergen van de rekenkern (CFD-grafieken en formules). Het aanpassen van de rekenkern kan alleen door de beheerder worden gedaan en leidt dan tot een andere versie van het model. Wel kan met aanpassing van de invoer en toepassing van filters een goede eerste indruk worden gekregen van de risico's met dwarsventilatie (zie hoofdstuk 5, modelleertips).

Bochten in tunnels

Het model gaat, in het horizontale alignement, uit van een tunnel zonder bochten. Het is niet mogelijk om rechtstreeks kromtestralen / bochten in te voeren in het model. Wel is het mogelijk om het effect van bochten mee te nemen in de analyse. Bij de invoer van de ongevalskansen, zie hoofdstuk 4, kan hiermee rekening worden gehouden door de ongevalsfrequentie aan te passen. Voor zover er geen specifieke ongevalsdata voorhanden zijn kan worden gerekend met de in bijlage D opgenomen handreiking. De mogelijke invloed van bochten op de gevolgen (rookverspreiding, plasverspreiding) wordt in het model niet meegenomen.

In- en uitvoegen in tunnels

In 2008 is een onderzoek uitgevoerd [5] naar de effecten van in- en uitvoegen op wegvakken vlak voor, in of na de tunnel op de risico's van de tunnelgebruikers. Het is niet mogelijk om rechtstreeks in- en uitvoegstroken in het model mee te nemen. Bij de invoer van de ongevalskansen, zie hoofdstuk 4, kan hiermee rekening worden door een voor de situatie aangepaste ongevalsfrequentie in te voeren. Voor zover er geen specifieke ongevalsdata voorhanden zijn kan worden gerekend met de in bijlage D opgenomen handreiking.

Transport gevaarlijke stoffen

Bij tellingen van het transport van gevaarlijke stoffen worden alleen de in bulk (in tankwagens) vervoerde gevaarlijke stoffen (op basis van VN-nummers) geteld. Deze tellingen leveren geen gegevens betreffende het transport van explosieven (waaronder vuurwerk). Hiervoor benodigde informatie zal de risicoanalist via andere kanalen moeten vergaren. Het programma biedt wel de faciliteit om de risico's van transport van explosieven mee te nemen. Zie hoofdstuk 4 voor een overzicht van de meegenomen stofcategorieën.

Per stofcategorie worden ook verschillende uitstromingsscenario's beschouwd met de daarbij behorende gevolgenberekening. Dit staat in detail uitgewerkt in het Achtergronddocument.

File

Wanneer er in het model bij de invoer het begrip 'file' gehanteerd wordt, wordt hiermee een benedenstroomse file bedoeld. Een benedenstroomse file is (nagenoeg) stilstaand verkeer (snelheid kleiner dan 25 km/u) buiten de tunnel, waarbij de staart van de file de tunnel ingroeit. Data over filekansen kan uit verkeersmodellen en (bij reeds bestaande tunnels) uit statische gegevens worden gehaald. In het model wordt tevens een bovenstroomse file meegenomen (file die ontstaat achter/benedenstrooms van het ongeval). De kans hierop en de lengte van deze bovenstroomse file is afhankelijk van de ingevoerde waarden. In het achtergronddocument wordt toegelicht hoe dit in het model wordt bepaald.

Breedte rijstrook

De breedte van de rijstrook zit niet als een afzonderlijke parameter in het model. De invloed van de breedte van de rijstrook op de ongevalsfrequenties en filekansen zal uit verkeersanalyses moeten worden afgeleid en de resultaten hiervan kunnen vervolgens handmatig in het model worden ingevoerd. De breedte van de tunnelbuis zit wel in het model als een parameter die van invloed is op de verspreiding van de vloeistofplas en de warmte en rook.

3.2 Afbakening scenario's

Bij de analyse van de risico's worden de onderstaande scenario's niet meegenomen.

Meervoudig ruimtegebruik

De risico's voor bebouwing op de tunnel of in de directe nabijheid worden in het model niet meegenomen. Dit valt immers onder externe veiligheid (zie ook paragraaf 3.1).

Vandalisme en terrorisme

Ondanks de mogelijk grote impact van moedwillige verstoring van de exploitatie en de veiligheid, is het scenario vandalisme of terrorisme niet meegenomen. Gezien de grote onvoorspelbaarheid van zowel de kans van optreden als de gevolgen en locatiespecifieke afhankelijkheid van deze bewuste verstoring is het niet mogelijk dit modelmatig mee te nemen in een risicoanalyse. Indien gewenst kunnen deze risico's op een afzonderlijke wijze, mogelijk kwalitatief, worden beschouwd.

Overstroming / inundatie van de tunnel / wateroverlast

Veel tunnels onder waterwegen maken onderdeel uit van een waterkering. Bij het bezwijken van de waterkering is één van de mogelijke gevolgen het volstromen van de tunnel. De mogelijke slachtoffers die dit met zich mee brengt zijn niet meegenomen in het programma, omdat het risico voor automobilisten van dit scenario verwaarloosbaar is. In verreweg de meeste gevallen komt een overstroming of inundatie immers niet plotseling c.q. onverwacht, zodat er voldoende tijd is om maatregelen te treffen. Het ontwerp van de tunnel onder een waterweg is overigens zo uitgevoerd (bijvoorbeeld met kanteldijken) dat het onder

water lopen van de tunnel bij een overstroming of doorbraak van een dijk langs de waterweg wordt voorkomen.

Om te voorkomen dat er wateroverlast optreedt als gevolg van regenwater is een tunnel voorzien van een vloeistofafvoersysteem. Indien er sprake is van een regenbui waarbij desondanks wateroverlast dreigt op te treden (bijvoorbeeld omdat het niveau in de afvoerkelders snel stijgt omdat de pompen het niet kunnen bijhouden) dan wordt de tunnel in de regel preventief afgesloten. Indien het risico bestaat dat dit niet gebeurt (bijvoorbeeld bij een onbewaakte tunnel) dan kan het verhoogde risico desgewenst via een verhoogde ongevalsfrequentie in rekening worden gebracht. Bedenk hierbij wel dat het persoonlijk risico en het groepsrisico op jaarbasis worden berekend. Dit betekent dat de invloed van een enkele forse regenbui op de ongevalsfrequentie gering zal zijn.

Scheepsankers en aanvaring

Afvallende scheepsankers van boten bij tunnels onder waterwegen kunnen schade veroorzaken aan tunnels. Om dit te beperken zijn er eisen gesteld aan de bescherming van de tunnel tegen deze krachten. Één van de mogelijke voorzieningen hiervoor is het aanbrengen van voldoende dekking op het dak van de tunnel. Verder dient een tunnel bij de kruising van een waterkering geen verzwakking op te leveren van de dijk. In de risicoanalyse wordt aanvaringen en de mogelijke consequenties hiervan niet meegenomen.

Natuurrampen

De mogelijke invloed en effect van natuurrampen, o.a. aardbevingen en stormen, zijn niet meegenomen in het model.

3.3 Gevoeligheidsanalyse

Voor onzekere (of mogelijk in de toekomst wijzigende) invoervariabelen dient een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd te worden. Het is projectafhankelijk welke variabelen hierbij beschouwd moeten worden. De keuze hiervoor dient dan ook per project onderbouwd te worden. Enkele variabelen die hierbij aandacht verdienen zijn:

- Verkeerscijfers: accurate vervoerscijfers, inclusief het vervoer van gevaarlijke stoffen voor de huidige situatie (maar met name ook voor de toekomstige situatie) zijn vaak onzeker. Een gebruikelijke prognosehorizon is 15-20 jaar [3].
- Filekans: de kans op file (nu en in de toekomst) kan vanwege de onzekerheid gevarieerd te worden. Zie ook de aanwijzingen in Bijlage D.
- Ongevalskansen: bij onzekerheid over de ongevalsrisico's kunnen deze in een gevoeligheidsanalyse gevarieerd te worden.

- Afwijkende tunnels: Bij afwijkende tunnels, waarbij het tunnelsysteem niet geheel conform de werkelijkheid ingevoerd kan worden in het model, dienen de hiervoor gedane aannames gevarieerd te worden. Nagegaan dient te worden hoe de tunnel in het model (met aangepaste invoerwaarden en defaultwaarden) kan worden gemodelleerd. Het kan dan voorkomen dat er wat boven en onderwaarden worden geschat, waarbij in de gevoeligheidsanalyse wordt nagegaan welke risico's dit oplevert en of nadere detaillering en/of een aangepast model wel noodzakelijk is. Voorbeeld: een tunnel met een (sterk) afwijkend ventilatieconcept kan in eerste instantie conservatief als een tunnel zonder ventilatie worden gemodelleerd. Het effect van de ventilatie wordt daarbij volledig genegeerd en het berekende risico zal hoger uitvallen, dan bij een meer gedetailleerde modellering. Daarnaast kan ook een positievere benadering met langsventilatie worden berekend. Als uit de analyse blijkt dat zowel de berekening zonder ventilatie als met ventilatie geen knelpunten oplevert ten aanzien van het risico, dan is een nadere analyse niet nodig. Leidt echter de conservatieve benadering wel tot knelpunten en de te optimistische analyse niet, dan is een nader onderzoek wel noodzakelijk.

N.B.:

QRA-tunnels biedt wel mogelijkheden om een situatie met dwarsventilatie te benaderen, zie paragraaf 5.2. Ook deze benadering is echter nog enigszins conservatief. Ook in dit geval blijft dus gelden dat men bij knelpunten (overschrijding wettelijke norm) desgewenst door nader onderzoek kan bekijken of er daadwerkelijk sprake is van knelpunten, of dat een betere modellering van de ventilatie zou kunnen aantonen dat er aan de norm wordt voldaan.

4 Hoe werkt QRA-tunnels?

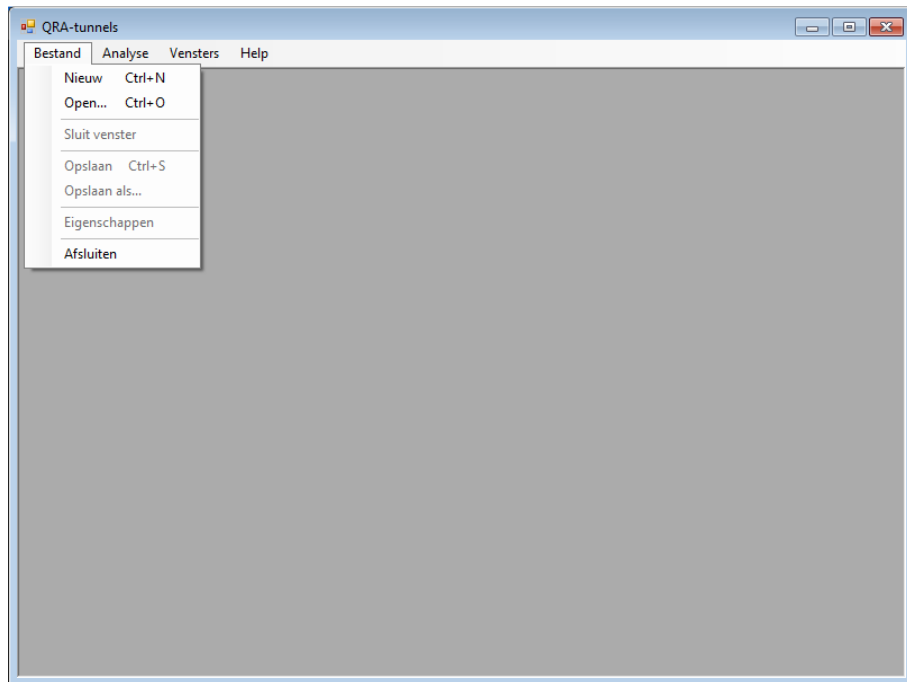
4.1 Opzet computerprogramma

Bij het opstarten van het programma, opent het programma met het volgende scherm:



Hierin is het versienummer van het model gegeven. Na aanslaan van een willekeurige toets, kan de gebruiker een berekening opvragen of resultaten van een eerdere berekening opvragen.

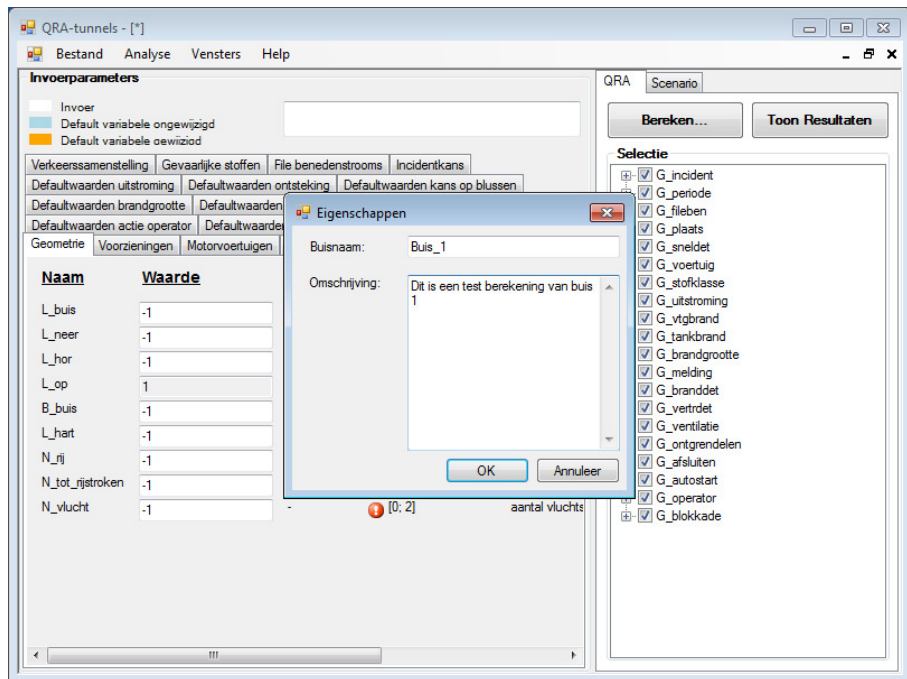
Onder de knop "**Bestand**" kan de gebruiker bij aanvang kiezen om een nieuwe tunnelbuis in te voeren, een reeds eerder gemaakt bestand te openen en aan te passen of de berekeningsresultaten te analyseren. Indien reeds eerder tunnelbestanden zijn ingevoerd en doorgerekend, kunnen via de knop "**Analyse**" de resultaten van deze berekeningen worden geanalyseerd. Dit is verder toegelicht in paragraaf 4.5.



Indien voor een nieuwe tunnelbuis wordt gekozen, dan zullen alle stappen voor het uitvoeren een berekening moeten worden doorlopen:

- Invullen invoervariabelen (gegevens met betrekking tot de tunnelbuis): paragraaf 4.2.
- Controleren of alle defaultwaarden ook in dit geval van toepassing zijn en zonodig aanpassen (en dan later onderbouwen in de rapportage): paragraaf 4.3.
- Uitvoeren van de berekening en genereren van een rapportage, waarbij eventueel een filter kan worden toegepast: paragraaf 4.4
- Analyse van de resultaten (4.5):
 - Combineren van resultaten
 - Optellen van resultaten

Al deze stappen worden in de volgende paragrafen nader toegelicht. Alvorens, na de keuze "**Nieuw**" met het invoeren van de tunnelgegevens (per tab-blad) wordt gestart, zal het scherm "**Eigenschappen**" tevoorschijn komen waarin de buisnaam kan worden ingevuld (zie figuur).



Met name de buisnaam is van belang omdat deze ook bij de presentatie van de resultaten (in de groepsrisicografiek) wordt weergegeven. Ook indien bij een nieuwe berekening gebruikt wordt gemaakt van een eerder ingevoerde tunnelbuis (door hiervan de relevante gegevens aan te passen), is het van belang om dan ook de buisnaam en de omschrijving⁵ aan te passen. De ingevulde buisnaam wordt vervolgens (na "OK") ook weergegeven in het invulveld in het boven, midden in het scherm.

4.2 Invoervariabelen

Invoervariabelen voor de interne veiligheid van een tunnel zijn onder andere de geometrie van de tunnel, de voorzieningen in en de verkeersintensiteit en samenstelling door de tunnel. Al deze invoerwaarden zijn van invloed op het effect en/of de kans van een incident in de tunnel. De waarden van deze variabelen dienen door de gebruiker te worden ingevoerd. In het programma wordt onderscheid gemaakt in invoerwaarden en defaultwaarden. *Invoerwaarden* zijn heel specifiek voor de tunnel en moeten worden ingevuld voor er kan worden gerekend. Bij het openen van een nieuw tunnelbestand zijn in de velden voor invoerwaarden nog geen geldige waarden ingevuld. Zolang dit niet is aangepast door de gebruiker, kan het programma niet rekenen. Ook bij invullen van waarden buiten het domein kan er niet worden gerekend. *Defaultwaarden* zijn meer algemeen, voor Nederland (of zelfs ook daarbuiten) geldende waarden die zijn gebaseerd op statistische gegevens. Deze waarden dienen in principe te worden overgenomen, tenzij daar in dit specifieke geval goede redenen toe zijn. De velden waarin defaultwaarden zijn ingevuld zijn

⁵ De tekst in het vakje "omschrijving" wordt niet meegenomen in de rapportage.

blauw gekleurd. Indien hier een afwijkende waarde wordt ingevuld, wordt het veld rood gekleurd. Tevens wordt dit dan afzonderlijk vermeld in de rapportage. Zowel invoerwaarden als defaultwaarden zijn gesorteerd per thema in tabbladen. Thema's die alleen betrekking hebben op defaultwaarden, worden toegelicht in paragraaf 4.3.

De invoervariabelen hebben betrekking op de volgende thema's en zijn geordend in tabbladen:

- Geometrie
- Voorzieningen
- Motorvoertuigen
- Periode en verkeersintensiteiten
- Verkeerssamenstelling
- Gevaarlijke stoffen
- File benedenstrooms
- Incidentkans

In onderliggende paragrafen worden alle invoerparameters kort beschouwd waarbij een zo duidelijk mogelijke omschrijving aan de gebruiker mee te geven zodat de ingevoerde parameter maar voor één uitleg vatbaar is.

Tabblad Geometrie

L_{buis} : Lengte (gesloten deel) van de tunnel

De lengte (in meters) van het totale gesloten gedeelte van de tunnel welke loopt van tunnelmond tot tunnelmond. Hierbij geldt een minimum invoerwaarde van 80 meter en een maximum invoerwaarde van 20000 m.

L_{neer} : Lengte neergaand deel van de tunnelbuis

De lengte (in meters) van het neergaande deel van de tunnel in de rijrichting. Geadviseerd wordt om hellingen met een hoek groter dan 1,0% aan te merken als neergaand. Hellingen met een hoek tussen de 0,0 en 0,9% mogen gerekend worden als horizontaal. Minimum invoerwaarde is 0 meter en maximum invoerwaarde is de lengte van de tunnel (L_{buis}).

L_{hor} : Lengte horizontale deel van de tunnelbuis

De lengte (in meters) van het deel van de tunnel welke horizontaal loopt of een hoek heeft van 0,9% of kleiner. Minimum invoerwaarde is 0 meter en maximum invoerwaarde is *de totale lengte van de tunnel (L_{buis}) – de lengte van het neergaande deel van de tunnel (L_{neer})*.

L_{op} : Lengte opgaand deel van de tunnelbuis

De lengte (in meters) wordt automatisch berekend door middel van *de totale lengte van de tunnel (L_{buis}) – lengte neergaande deel (L_{neer}) – lengte van het horizontale deel (L_{hor})*

B_{buis} : Breedte van het wegdek (tussen opstaande randen)

De breedte (in meters) tussen de opstaande randen betreffende de binnen/buitenmuur of andere obstakels als stepbarriers of vangrail. Minimum invoerwaarde is 3 m en maximum invoerwaarde 30 m.

De breedte van de tunnelbuis is een parameter die van invloed is op de verspreiding van de vloeistofplas en de warmte en rook.

L_{hart} : Hart-op-hart afstand van de vluchtdeuren

De afstand (in meters) tussen twee in de tunnel gelegen vluchtdeuren. Wanneer een tunnel geen vluchtdeuren heeft dient hier de totale lengte van de tunnelbuis te worden ingevoerd, dit is dan ook gelijk de maximum invoerwaarde. De minimale afstand tussen twee vluchtdeuren bedraagt 30 m.

Modelleertip

Voor het modelleren van een variërende hart-op-hart afstand, zie hoofdstuk 5.

N_{rij} : Aantal rijstroken in de tunnelbuis

Het aantal rijstroken per rijbaan, voor gemotoriseerd verkeer, in de betreffende tunnelbuis. Het minimum aantal rijstroken bedraagt één en het maximum aantal zes.

N_{tot-rijstroken} : totaal aantal rijstroken in de tunnel

Het aantal rijstroken in de gehele tunnel. Hierbij dienen alle tunnelbuizen meegenomen te worden die bij een explosie kunnen bezwijken.

Voorbeeld.

Bij bijvoorbeeld een tunnelcomplex met 2 tunnelbuizen met elk 3 rijstroken moet hier 6 worden ingevuld.

N_{vlucht} : Aantal vluchtstroken in de tunnelbuis

Het aantal vluchtstroken gelegen naast de hoofdrijbanen in de tunnelbuis waarvoor de risicoberekening wordt uitgevoerd. Het minimum aantal vluchtstroken bedraagt nul en het maximum twee.

Tabblad Voorzieningen*A_{oper} : Houdt een operator (in controlekamer) toezicht op de tunnel?*

De aanwezigheid of afwezigheid van een operator (in een controlekamer) is van belang omdat een operator, na detectie van een incident, actie kan ondernemen. De te nemen acties zullen afhangen van de ernst van het incident. Invoerwaarde betreft een *ja* of een *nee*. Als aangegeven is dat er een tunneloperator is, dan wordt impliciet verondersteld dat de tunneloperator beschikt over visuele middelen (CCTV=Closed Circuit Television) om de situatie in de tunnel te kunnen beoordelen.

A_{vent} : Is een langsventilatiesysteem aanwezig?

De enige vorm van ventilatie waarmee in dit model rekening wordt gehouden is langsventilatie. Met langsventilatie kunnen weggebruikers bovenstrooms van een brand worden beschermd tegen rookverspreiding. Invoerwaarde betreft een *ja* of een *nee*.

Modelleertip

Voor het modelleren van een ander systeem dan langsventilatie, zie hoofdstuk 5.

A_{luid} : Is een HF en/of luidsprekersysteem aanwezig?

Een HF en/of luidsprekersysteem is bedoeld om weggebruikers in de tunnel over een incident in de tunnel te informeren (én dus zonodig op te roepen tot vluchten). Invoerwaarde betreft een *ja* of een *nee*.

Abekl : Is hittewerende bekleding aanwezig?

Naast dat hittewerende bekleding van invloed is op het behoud van de tunnelconstructie is hittewerende bekleding ook van enige invloed op hittebelasting en de spreiding van rookgassen. Dit omdat hittewerende bekleding in principe het afkoelen van rookgassen beperkt en daardoor de stratificatie bevordert. Uit de gevoeligheidsanalyse van de CFD-berekeningen blijkt echter dat deze invloed beperkt is. Deze invloed wordt daarom niet doorgerekend in het model. Invoer van deze variabele is wel meegenomen om dat in de toekomst mogelijk ook de schade aan de tunnelconstructie wordt berekend door QRA-tunnels. Hierop zal hittewerende bekleding van invloed zijn. Op dit moment heeft de invoer van de parameter dus nog geen invloed op de uitkomsten. Invoerwaarde betreft een *ja* of een *nee*.

Ablus : Zijn brandblusmiddelen aanwezig?

Met de aanwezigheid van brandblusmiddelen kan een brand in een vroegtijdig stadium worden geblust. In het model is een defaultwaarde voor de bluskans opgenomen, afhankelijk van de aanwezige blusmiddelen dient deze bluskans door de gebruiker te worden aangepast. De opgenomen defaultwaarde heeft betrekking op blussing door weggebruikers. Onder brandblusmiddelen voor weggebruikers wordt o.a. verstaan:

- CO-blussers
- Poederblussers
- Brandslanghaspel

Indien andere blusmiddelen aanwezig zijn (bijvoorbeeld automatische blussystemen) dient de risicoanalist dus zelf de defaultwaarde aan te passen. Zie ook toelichting in hoofdstuk 5.

Invoerwaarde betreft een *ja* of een *nee*.

Acomm : Is alarmering door weggebruikers mogelijk (noodtelefoon aanwezig en/of mobiele telefonie mogelijk)?

Wanneer alle tunneltechnische installaties naar behoren werken wordt aangenomen dat, voordat een weggebruiker de hulppost kan bereiken, het incident wordt gedetecteerd. Indien deze detectiesystemen echter falen (of niet aanwezig zijn) dan kan de weggebruiker de operator alsnog alarmeren. In dat geval zal de reactietijd van de operator wel aanzienlijk langzamer zijn en zullen de verschillende systemen (zoals ventilatie) later worden ingeschakeld. Invoerwaarde betreft een *ja* of een *nee*.

Asnel : Is een snelheidsdetectiesysteem aanwezig?

Het gaat hierbij om een snelheidsonderschrijdingssysteem of een stilstanddetectiesysteem. Met de aanwezigheid van één van deze systemen wordt de detectie van een niet normale situatie bevordert waardoor snel ingrijpen mogelijk is. Het snel detecteren en het hiermee voorkomen van file heeft een positieve invloed op het veiligheidsniveau in de tunnel. Invoerwaarde betreft een *ja* of een *nee*.

Abrand_temp : Is een branddetectie met temperatuurmeting aanwezig?

Invoerwaarde *ja/nee*

Abrand_CO : Is een branddetectie met CO-meting aanwezig?

Invoerwaarde *ja/nee*

Abrand_CO : Is een branddetectie met zichtmeting aanwezig?

Invoerwaarde ja/nee

In een tunnel kunnen meerdere branddetectiesystemen aanwezig zijn. In de modellering wordt onderscheid gemaakt tussen:

- Zichtmeting (het meest snelle systeem)
- CO-meting (het gezien de lage dichtheid meest langzame systeem)
- Temperatuurmeting
- Geen branddetectie aanwezig

Wanneer meerdere systemen onderdeel zal het model de tijden van het snelste systeem worden gebruikt. De snelheid van de detectie is van invloed op de snelheid van de reactie van de operator en het inschakelen van systemen zoals ventilatie en afsluiten tunnel. Over het algemeen is snelheidsdetectie het snelst, maar dit zal echter bij aanwezigheid van een file benedenstrooms de operator niet meer alarmeren.

Hzicht : Hart-op-hart afstand van zichtmeting.

De afstand (in meters) tussen twee 'ogen' van het zichtmeetsysteem. De minimum invoerwaarde is 0 m en de maximum invoerwaarde is 10000m. Wanneer er geen zichtmeting in de tunnel aanwezig is de invoerwaarde niet relevant en kan 0 worden ingevuld.

Acalam : Beschikt de operator over een calamiteitenknop?

In Nederland is het gebruikelijk dat de operator over een calamiteitenknop beschikt om, bij zeer ernstige incidenten, een aantal commando's gelijktijdig te geven. Het direct starten van de ventilatie, het afsluiten van de verkeersbuis en het ontgrendelen van de vluchtdeuren horen daarbij. Invoerwaarde betreft een *ja* of een *nee*.

Als $A_{calam} = nee$ dan geldt natuurlijk ook dat $C_{calvent} = nee$, $C_{calsluit} = nee$ en $C_{caldeur} = nee$.

Asluit : Is het afsluiten van de tunnelbuis mogelijk?

Omdat het voor het model van belang is hoeveel mensen zich (bovenstrooms) in de tunnel bevinden na een incident bepaalt het model de tijd nodig tussen opstartsignaal en daadwerkelijk sluiten.

Om stilstaand verkeer en daarmee onveilige situaties in de tunnel te voorkomen kan de tunneloperator de tunnel afsluiten door middel van:

- Matrixborden (rode kruizen)
- Verkeerslichten (alles op rood)
- Verkeerslichten en slagboom (alles op rood en slagboom neer)
- Geen mogelijkheid tot (automatisch) afsluiten. (handmatig de tunnel afsluiten is altijd mogelijk)

Wanneer meerdere systemen aanwezig zijn dient verkeerslicht en slagbomen (zijnde de snelste en effectiefste methode) te worden genomen.

Tijdsduur tot daadwerkelijk afsluiten tunnelbuis na opstartsignaal
Bij aanwezigheid matrixborden, 5 minuten
Bij aanwezigheid verkeerslichten, 3 minuten
Bij aanwezigheid verkeerlicht en slagboom, 1 minuut
Alle overige maatregelen, 60 minuten

Lafsluit : De afstand tussen de plaats waar de tunnelbuis wordt afgesloten en de ingang van de tunnelbuis.

De afstand (in meters) tussen de slagbomen en het daadwerkelijk gesloten deel van de tunnel. Minimum invoerwaarde is 0 m en maximum invoerwaarde 10000 m.

Adeur : Zijn er vluchtdeuren in de verkeersbuis, en zo ja, welk type?

Vluchtdeuren kunnen vergrendeld of onvergrendeld zijn. Wanneer de deuren onvergrendeld zijn kunnen de deuren direct worden geopend. Wanneer de deuren vergrendeld zijn moeten deze eerst ontgrendeld worden (automatisch na detectie of na handmatig activeren calamiteitenknop) voordat ze kunnen worden geopend. De reden om te vergrendelen kan zijn om te voorkomen dat vluchtende weggebruikers direct in de naastgelegen tunnelbuizen uitkomen. Het verkeer in deze buis moet dan ook eerst worden stilgezet of naar de buitenste rijstrook worden geleid. Binnen het model zijn drie mogelijkheden, te weten:

- Vergrendeld
- Altijd ontgrendeld
- Geen vluchtdeuren aanwezig.

T_{verontgr} : Tijdsvertraging bij het ontgrendelen van de vluchtdeuren

Wanneer de vluchtdeuren direct toegang bieden tot de naastgelegen tunnelbuis, zal er in veel gevallen een tijdvertraging op de vluchtdeuren aanwezig zijn. Hiermee wordt in de niet-incidentbuis tijd gecreëerd om de rijstrook vrij te maken. Hoe groter deze vertraging hoe langer mensen in de incidentbuis moeten blijven. De tijdsvertraging is het moment van indrukken van de calamiteitenknop tot het moment dat de deur ontgrendeld is.

De invoer geschiedt in minuten en kent een minimum invoer van 0 minuten en een maximum van 5 minuten.

Het model zal in de volgende gevallen intern rekenen met de volgende waarden:

Wanneer parameter *A_{deur}* is *nee*, dan is de waarde voor het model niet relevant en kan *T_{veront}* is 5 worden ingevuld.

Wanneer parameter *A_{deur}* is *altijd ontgrendeld*, dan geldt *T_{veront}* is 0

Dit wordt echter niet automatisch ingevuld in het invulscherm.

K_{vlucht} : Wand waarin de vluchtdeuren zijn aangebracht

Zijn de vluchtdeuren (indien aanwezig) aangebracht in de middenwand of in de buitenwand. Deze waarde heeft vooralsnog geen invloed op het vluchtproces en de berekende resultaten.

C_{autventsnel} : Wordt ventilatiesysteem aangestuurd door snelheidsdetectie?

Is de tunneltechnische installatie van de tunnel zo ontworpen/ingesteld dat bij de detectie van een snelheidsonderschrijding het ventilatiesysteem automatisch, dus zonder tussenkomst van een operator, wordt opgestart? Invoerwaarde betreft *ja* of *nee*.

Het model zal in de volgende gevallen intern rekenen met de volgende waarden:

Wanneer *A_{vent}* = *nee*, dan *C_{autventsnel}* = *nee*.

Wanneer *A_{snel}* = *nee*, dan *C_{autventsnel}* = *nee*.

Dit wordt echter niet automatisch ingevuld in het invulscherm.

Modelleertip

In de meeste Nederlandse tunnels is het niet gebruikelijk het ventilatiesysteem te koppelen aan de snelheidsdetectie.

Cautventbrand : Wordt het ventilatiesysteem aangestuurd door branddetectie?

Door het langsventilatiesysteem te koppelen aan de branddetectie, dus zonder tussenkomst operator, wordt het veiligheidsniveau in de tunnel voor de weggebruikers verhoogd.

Invoerwaarde betreft *ja* of *nee*.

Het model zal in de volgende gevallen intern rekenen met de volgende waarden:

Wanneer $A_{vent} = nee$, dan $C_{autventbrand} = nee$.

Wanneer $A_{brand} = nee$, dan $C_{autventbrand} = nee$.

Dit wordt echter niet automatisch ingevuld in het invulscherm.

Modelleertip

In de meeste Nederlandse tunnels is het wel gebruikelijk het ventilatiesysteem te koppelen aan de branddetectie.

Cautdeursnel : Worden vluchtdeuren ontgrendeld bij snelheidsdetectie?

Door het automatisch ontgrendelen van de vluchtdeuren (wanneer $A_{deur} = vergrendeld$) op het moment dat er een snelheidsonderschrijding wordt gedetecteerd wordt er een snelle(re) vlucht gegarandeerd.

Invoerwaarde betreft *ja* of *nee*.

Het model zal in de volgende gevallen intern rekenen met de volgende waarden:

Wanneer $A_{deur} = nee$, dan $C_{autdeursnel} = nee$.

Wanneer $A_{deur} = altijd\ ontgrendelt$, dan $C_{autdeursnel} = nee$.

Wanneer $A_{snel} = nee$, dan $C_{autdeursnel} = nee$.

Dit wordt echter niet automatisch ingevuld in het invulscherm.

Cautdeurbrand : Worden vluchtdeuren ontgrendeld bij branddetectie?

Door het automatisch ontgrendelen van de vluchtdeuren (wanneer $A_{deur} = vergrendeld$) op het moment dat er een branddetectie plaatsvindt, wordt er een snelle(re) vlucht gegarandeerd.

Invoerwaarde betreft *ja* of *nee*.

Het model zal in de volgende gevallen intern rekenen met de volgende waarden:

Wanneer $A_{deur} = nee$, dan $C_{autdeurbrand} = nee$.

Wanneer $A_{deur} = altijd\ ontgrendelt$, dan $C_{autdeurbrand} = nee$.

Wanneer $A_{brand} = nee$, dan $C_{autdeurbrand} = nee$.

Dit wordt echter niet automatisch ingevuld in het invulscherm.

Ccalvent : Start ventilatie bij gebruik calamiteitenknop?

Het starten van de ventilatie als één van de acties welke wordt opgestart na het indrukken van de calamiteitenknop (wanneer $A_{calam} = ja$) zorgt voor een snelle manier van het opstarten van de interne hulpverlening in de tunnel en verhoogt hiermee het veiligheidsniveau.

Wanneer $C_{calvent}$ onderdeel is van de calamiteitenknop betreft de invoerwaarde *ja*, zoniet dan is de invoerwaarde *nee*.

Het model zal in de volgende gevallen intern rekenen met de volgende waarden:

Wanneer $A_{calam} = nee$, dan $C_{calvent} = nee$.

Wanneer $A_{vent} = nee$, dan $C_{calvent} = nee$.

Dit wordt echter niet automatisch ingevuld in het invulscherm.

C_{calsluit} : Wordt de verkeersbuis afgesloten bij gebruik calamiteitenknop?

Het afsluiten van de incidentbuis als één van de acties welke wordt opgestart na het indrukken van de calamiteitenknop (wanneer $A_{calam} = ja$) zorgt voor een snelle manier van het opstarten van de interne hulpverlening in de tunnel en verhoogt hiermee het veiligheidsniveau.

Wanneer $C_{calsluit}$ onderdeel is van de calamiteitenknop betreft de invoerwaarde *ja*, zoniet dan is de invoerwaarde *nee*.

Het model zal in de volgende gevallen intern rekenen met de volgende waarden:

Wanneer $A_{calam} = nee$, dan $C_{calsluit} = nee$.

Dit wordt echter niet automatisch ingevuld in het invulscherm.

Modelleertip

In de VRC wordt het afsluiten van de tunnel bij gebruik van de calamiteitenknop voorgeschreven.

C_{caldeur} : Worden vluchtdeuren ontgrendeld bij gebruik calamiteitenknop?

Het ontgrendelen van de vluchtdeuren (wanneer $A_{deur} = vergrendeld$) als één van de acties welke wordt opgestart na het indrukken van de calamiteitenknop (wanneer $A_{calam} = ja$) zorgt voor een snelle manier van het opstarten van de interne hulpverlening in de tunnel en verhoogt hiermee het veiligheidsniveau.

Wanneer $C_{caldeur}$ onderdeel is van de calamiteitenknop betreft de invoerwaarde *ja*, zoniet dan is de invoerwaarde *nee*.

Het model zal in de volgende gevallen intern rekenen met de volgende waarden:

Wanneer $A_{calam} = nee$, dan $C_{caldeur} = nee$.

Wanneer $A_{deur} = nee$, dan $C_{caldeur} = nee$.

Dit wordt echter niet automatisch ingevuld in het invulscherm.

C_{riool} : Capaciteit van de riolering

De aanwezigheid en bijbehorende capaciteit (in m³/min) van het riool is van belang voor het effect van de plasgrootte bij vloeistofuitstromingen. Bij uitstromingen zal echter altijd een deel van de uitstroming als plas in de tunnel achterblijven. De vloeistof zal immers vanaf de incidentlocatie eerst naar de zijkant van de tunnelbuis moeten stromen, voordat de vloeistof het riool in kan lopen. Daarbij zal de plasgrootte op een opgaande of neergaande helling groter zijn dan op een horizontaal deel. Bij instantane uitstromingen (het in één keer vrijkomen van de gehele inhoud van de tankwagen) zal het effect van de riolering op de plasgrootte véél beperkter zijn dan bij uitstromingen uit een gat. De vloeistof zal zich namelijk met een zo grote snelheid in de tunnelbuis verspreiden dat er maar weinig vloeistof direct de riolering in zal stromen. Minimum capaciteit bedraagt 0 m³/min, maximum capaciteit bedraagt 15 m³/min. De rioolcapaciteit is gebruikt bij het bepalen van de plasgrootte van de verschillende uitstroombesnoeiingen. De berekeningen zijn gebaseerd op een rioolcapaciteit van 4 m³/min. Deze waarde is ook als default ingevuld. Indien de werkelijke rioolcapaciteit hier sterk van afwijkt dan dient nieuwe plasberekeningen te worden gedaan. Zie het Achtergronddocument [1] voor de uitwerking voor de plasgrootteberekening.

Modelleertip

In de VRC wordt een rioolcapaciteit van minimaal 4 m³/min vereist. Hier zijn ook de default-plasgroottes op gebaseerd. Indien de rioolcapaciteit hier sterk van afwijkt dienen in het tabblad "[Defaultwaarden uitstroming](#)", Hier dient de lengte van de plas te worden ingevuld.

$T_{snelaut}$: Tijdsduur tussen snelheidsdetectie en automatisch opstarten

Hoe minder tijd er zit tussen de een snelheidsonderschrijdingsdetectie en het automatisch opstarten van de veiligheidstechnische maatregelen, hoe sneller de interne hulpverlening gestart wordt.

Minimum tijdsduur bedraagt 0 minuten, maximale tijdsduur 5 minuten.

Het model zal in de volgende gevallen intern rekenen met de volgende waarden:

Wanneer $A_{snel} = nee$, dan $T_{snelaut} = 0$

Bij onvoldoende informatie aanhouden dat $T_{snelaut} = 1$

Modelleertip

In veel gevallen is er een vertragingstijd ingebouwd om de tunneloperator de kans te geven een vals alarm vroegtijdig te onderdrukken. Ook het niet hebben van loos alarm verhoogt de veiligheid.

Tabblad Motorvoertuigen

V_{auto} : Gemiddelde snelheid van personenauto's

De gemiddelde snelheid (in km/uur) van personenauto's in de tunnel. Minimum invoerwaarde is 30 km/uur, maximum invoerwaarde is 200 km/uur (in principe kan het model met elke snelheid rekenen en is een willekeurige hoge begrenzing gekozen). De snelheid is van invloed op het aantal voertuigen dat nog (binnen een bepaald tijdsbestek) aansluit in de file achter het ongeval.

Modelleertip	Maximum snelheid
Wegtype	
Provinciale weg (N-weg)	80 km/h
Rijksweg (A-weg)	Maximum toegestane snelheid

De ingevoerde waarde is van invloed op het aantal aanwezige voertuigen in de tunnel. De mogelijke invloed op de incidentkans of de vervolgcans op uitstroming bij een ongeval met gevaarlijke stoffen dient door de gebruiker zelf te worden aangepast, door de bijbehorende defaultwaarde aan te passen.

V_{bus} : Gemiddelde snelheid van bussen

De gemiddelde snelheid (in km/uur) van bussen in de tunnel. Minimum invoerwaarde is 30 km/uur, maximum invoerwaarde is 100 km/uur.

V_{vracht} : Gemiddelde snelheid van vrachtauto's

De gemiddelde snelheid (in km/uur) van vrachtwagens in de tunnel. Minimum invoerwaarde is 30 km/uur, maximum invoerwaarde is 100 km/uur.

N_{auto} : Gemiddeld aantal inzittenden in een personenauto

Het gemiddeld aantal inzittende in een personenauto varieert tussen de 1 en 3 personen. Wanneer geen specifieke waarde bekend is wordt het gemiddelde van 1,5 aangehouden. De waarde van 1,5 is als gemiddelde in Nederland aan de conservatieve kant. Deze defaultwaarde is reeds ingevuld.

N_{bus} : Gemiddeld aantal inzittende in een bus

Het gemiddeld aantal inzittenden in een bus kan door de gebruiker van het model worden gewijzigd. Hiervoor is een defaultwaarde ingevuld, zijnde $N_{bus} = 22$.

N_{vracht} : Gemiddeld aantal inzittenden in een vrachtauto

Het gemiddeld aantal inzittenden in een vrachtwagen is een defaultwaarde, deze kan desgewenst door de gebruiker van het model worden gewijzigd. De ingevulde defaultwaarde bedraagt $N_{vracht} = 1$.

Daarnaast zijn in dit tabblad nog een aantal defaultwaarden meegenomen die van belang zijn bij het berekenen van de gevolgen. Dit betreft:

- de fractie alleen reizende, niet zelfredzame personen. Hier wordt bedoeld op personen die niet in staat worden geacht om zelf de auto te verlaten en de vluchten en ook niet door meereizenden worden geholpen. Van deze personen wordt in het model aangenomen dat ze niet vluchten en worden blootgesteld aan de gevaren van de incidenten (zoals hitte, rook, toxische gassen) gedurende de gehele rekestijd van het model (= is een uur).
- L_{auto} en L_{vracht} : deze defaultwaarden zijn van belang om het aantal voertuigen in een file (en daarmee het aantal aanwezigen en potentiële slachtoffers in een file) te berekenen.

Tabblad Periode en verkeersintensiteiten

T_{spits} : Gemiddeld aantal uren 'spits' per etmaal in de tunnelbuis

Onder spits wordt verstaan de periode (in uren) per etmaal waarin er verhoudingsgewijs zeer veel verkeer door de tunnelbuis gaat. In het model is aangenomen dat 'spits' op alle dagen optreedt (dus ook in het weekend) en daarom dient een correctie te worden toegepast indien er in het weekend geen spits is. Het minimum aantal uren spits bedraagt 0 uur, het maximum aantal uren spits is 12 uur.

Modelleertip

Als het in de beschouwde tunnelbuis 3 uur per werkdag spits is, maar er is géén spits in het weekend, dan is aantal uren per etmaal dat het spits is: $3 \text{ (uur)} \times 5 \text{ (dagen)} / 7 \text{ (dagen)} = 2,14 \text{ uur}$

T_{nacht} : Gemiddeld aantal uren 'nacht' per etmaal in de tunnelbuis

Onder nacht wordt verstaan de periode (in uren) per etmaal waarin er verhoudingsgewijs zeer weinig verkeer door de tunnelbuis gaat. Het minimum aantal uren nacht bedraagt 0 uur, het maximum aantal uren nacht 12 uur.

T_{dag} : Het aantal uren dat het 'dag' (niets spits of nacht) is

In de dagperiode rijdt er een gemiddelde hoeveelheid verkeer door de tunnelbuis. Het aantal uren 'dag' wordt automatisch berekend door middel van *het totaal aantal uren (24) – het aantal uren 'spits' (T_{spits}) – het aantal uren 'nacht' (T_{nacht})*.

I_{buis} : Verkeersintensiteit per jaar in de tunnelbuis

Het totaal aantal motorvoertuigen (mvt)(dus personenauto's, bussen en vrachtwagen) wat per jaar door de tunnelbuis gaat. De minimum intensiteit bedraagt 10.000 mvt en de maximale intensiteit 1.000.000.000 mvt.

I_{max} : Maximale verkeersintensiteit per rijstrook

Er is vastgesteld dat er, per rijstrook, een maximale verkeersintensiteit van 2300 mvt mogelijk is. $I_{max} = 2300$ betreft een defaultwaarde en kan desgewenst door de gebruiker van het model worden gewijzigd.

I_{spitsuur} : Gemiddelde verkeersintensiteit in de buis per spitsuur

Het gemiddeld aantal motorvoertuigen wat zich per uur in de spitsuren door de tunnel beweegt.

I_{spits} : Verkeersintensiteit tijdens de 'spits' per jaar

De totale verkeersintensiteit tijdens de 'spits' per jaar wordt berekend door middel van de gemiddelde verkeersintensiteit in de spits [*I_{spitsuur}*] x het aantal uren 'spits' [*I_{spits}*] x 365 dagen

I_{nachtuur} : Gemiddelde verkeersintensiteit in de buis per nachtuur

Het gemiddeld aantal motorvoertuigen wat zich per uur in de nachturen door de tunnel beweegt.

I_{nacht} : Verkeersintensiteit tijdens de 'nacht' per jaar

De totale verkeersintensiteit tijdens de 'nacht' per jaar wordt berekend door middel van de gemiddelde verkeersintensiteit in de nacht [*I_{nachtuur}*] x het aantal uren 'nacht' [*I_{nacht}*] x 365 dagen

I_{dag} : Verkeersintensiteit tijdens de 'dag' per jaar

De totale verkeersintensiteit tijdens de 'dag' per jaar wordt berekend door middel van de totale verkeersintensiteit in de tunnelbuis [*I_{buis}*] – de totale verkeersintensiteit in de 'nacht' [*I_{nacht}*] – de totale verkeersintensiteit in de 'spits' [*I_{spits}*]

I_{daguur} : Gemiddelde verkeersintensiteit per 'daguur'

De gemiddelde verkeersintensiteit per 'daguur' wordt berekend door middel van de verkeersintensiteit tijdens de 'dag' [*I_{dag}*] / 365 dagen / het aantal uren dat het per etmaal 'dag' is. [*T_{dag}*]

Tabblad Verkeerssamenstelling

A_{auto,s} : Fractie personenauto's (of motor) tijdens de 'spits'

Het aantal personenauto's (of motors) wat zich tijdens de 'spits' door een tunnelbuis begeeft als fractie van het totale verkeer tijdens de spits.

Modelleertip

Indien geen tunnelspecifieke gegevens voorhanden zijn dient een inschatting worden gemaakt aan de hand van telgegevens of verkeersstudies van vergelijkbare trajecten rondom de tunnel.

Enige ervaringsgegevens voor Nederland:

- Het over een week gemiddelde percentage zwaar verkeer in Nederland is ca. 15%, in de buurt van industrieterreinen is het percentage vrachtverkeer hoger dan op andere wegen;
- op werkdagen is het percentage vrachtverkeer gemiddeld 17%, waarbij geldt: tijdens de 'spits' circa 8%, tijdens de 'dag' 12-15% en tijdens de 'nacht' 25-30%;
- Tijdens het weekend is het percentage vrachtverkeer circa 6%.
- Voor het percentage bussen wordt veelal ca. 1% gehanteerd

A_{auto,d} : Fractie personenauto's (of motor) tijdens de 'dag'

Het aantal personenauto's (of motors) wat zich tijdens de 'dag' door een tunnelbuis begeeft als fractie van het totale verkeer tijdens de dag.

A_{auto,n} : Fractie personenauto's (of motor) tijdens de 'nacht'

Het aantal personenauto's (of motors) wat zich tijdens de 'nacht' door een tunnelbuis begeeft als fractie van het totale verkeer tijdens de nacht.

A_{bus,s} : Fractie bussen tijdens de 'spits'

Het aantal bussen wat zich tijdens de 'spits' door een tunnelbuis begeeft als fractie van het totale verkeer tijdens de spits.

Modelleertip

Indien geen tunnelspecifieke gegevens voorhanden zijn wordt aanbevolen om voor de fractie bussen 0,01 aan te houden.

A_{bus,d} : Fractie bussen tijdens de 'dag'

Het aantal bussen wat zich tijdens de 'dag' door een tunnelbuis begeeft als fractie van het totale verkeer tijdens de dag.

A_{bus,n} : Fractie bussen tijdens de 'nacht'

Het aantal bussen wat zich tijdens de 'nacht' door een tunnelbuis begeeft als fractie van het totale verkeer tijdens de nacht.

A_{vracht,s} : Fractie vrachtauto's tijdens de 'spits'

De fractie vrachtauto's tijdens de 'spits' wordt berekend door middel van $1 - \text{fractie bussen in de 'spits' } [A_{bus,s}] - \text{fractie auto's in de 'spits' } [A_{auto,s}]$

A_{vracht,d} : Fractie vrachtauto's tijdens de 'dag'

De fractie vrachtauto's tijdens de 'dag' wordt berekend door middel van $1 - \text{fractie bussen in de 'spits' } [A_{bus,d}] - \text{fractie auto's in de 'spits' } [A_{auto,d}]$

A_{vracht,n} : Fractie vrachtauto's tijdens de 'nacht'

De fractie vrachtauto's tijdens de 'dag' wordt berekend door middel van $1 - \text{fractie bussen in de 'spits' } [A_{bus,n}] - \text{fractie auto's in de 'spits' } [A_{auto,n}]$

I_{vracht} : Totaal aantal vrachtauto's per jaar in de tunnelbuis

Het totaal aantal vrachtauto's per jaar in de tunnelbuis wordt berekend door middel van de fractie vrachtauto's tijdens de 'spits' x verkeersintensiteit tijdens de 'spits' + de fractie vrachtauto's tijdens de 'dag' x verkeersintensiteit tijdens de 'dag' + de fractie vrachtauto's tijdens de 'nachts' x verkeersintensiteit tijdens de 'nacht'

Tabblad Gevaarlijke stoffen

Voor het totaal aantal transporten met gevaarlijke stoffen geldt dat dit altijd kleiner is dan het totale vrachtverkeer. Om te zorgen dat de invoer met elkaar overeenstemt is het maximaal aantal transporten per stofklasse beperkt tot een percentage van het totale vrachtverkeer.

I_{expl} : Aantal vrachtwagens geladen met explosieven (E) per jaar in de tunnelbuis

Bij tellingen die worden uitgevoerd om het transport van gevaarlijke stoffen te onderzoeken worden vrachtwagens geladen met explosieven niet meegeteld. (telling alleen gericht op bulk-transport). Het aantal transporten zal dan ook bepaald moeten worden aan de hand van omgevings specifieke informatie over liggen bedrijven.

Invoerwaarde tussen 0 en $0,1 \cdot I_{vracht}$ volle druktankwagens per jaar per tunnelbuis.

I_{LF1} : Aantal (volle) tankwagens met stofcategorie LF1 (brandbare vloeistof gevaarsklasse 1) per jaar in de tunnelbuis.

Invoerwaarde tussen 0 en $0,3 \cdot I_{vracht}$ volle tankwagens per jaar per tunnelbuis.

I_{LF2} : Aantal (volle) tankwagens met stofcategorie LF2 (brandbare vloeistof gevaarsklasse 2) per jaar in de tunnelbuis.

Invoerwaarde tussen 0 en $0,3 \cdot I_{vracht}$ tankwagens per jaar per tunnelbuis.

I_{LT} : Aantal (volle) tankwagens met toxische vloeistof (LT) per jaar in de tunnelbuis

Invoerwaarde tussen 0 en $0,1 \cdot I_{vracht}$ volle tankwagens per jaar per tunnelbuis.

I_{GF} : Aantal (volle) druktankwagens met brandbaar tot vloeistof verdicht gas (GF) per jaar in de tunnelbuis

Invoerwaarde tussen 0 en $0,1 \cdot I_{vracht}$ volle druktankwagens per jaar per tunnelbuis.

I_{GT} : Aantal (volle) druktankwagens met toxische tot vloeistof verdicht gas (GT) per jaar in de tunnelbuis

Invoerwaarde tussen 0 en $0,1 \cdot I_{vracht}$ volle druktankwagens per jaar per tunnelbuis.

Bij het invullen van de hoeveelheden gevaarlijke stoffen is het belangrijk om te weten welke tunnelcategorie van toepassing is voor de te beschouwen tunnel.

Onderstaande tunnelcategorieën worden vanaf 1 januari 2010 gebruikt:

Categorie A - geen beperkingen voor het vervoer van gevaarlijke stoffen;

Categorie B - beperkingen voor gevaarlijke goederen die aanleiding kunnen geven tot een zeer grote explosie;

Categorie C - beperkingen voor gevaarlijke goederen die aanleiding kunnen geven tot een zeer grote explosie, een grote explosie of het vrijkomen van een grote hoeveelheid giftige stoffen;

Categorie D - beperkingen voor gevaarlijke goederen, die aanleiding kunnen geven tot een zeer grote explosie, een grote explosie, het vrijkomen van een grote hoeveelheid giftige stoffen of een grote brand;

Categorie E - beperkingen voor alle gevaarlijke stoffen

In bijlage E is een overzicht gegeven van de top-tien meest vervoerde stoffen (gemeten op een 5-tal tunneltrajecten met relatief veel vervoer gevaarlijke stoffen) die al dan niet in de verschillende tunnelcategorieën mogen worden vervoerd. Kort samengevat komt het er (gerelateerd aan de invoervakken in QRA-tunnels) op neer dat er geen GF en GT in de tunnelcategorieën C, D en E mogen worden vervoerd. In categorie D en E mogen ook geen LF1 en LF2 worden vervoerd. Van de verschillende stoffen die binnen de categorie LT vallen geldt dat een nadere analyse van de verschillende stoffen nodig is, sommigen mogen niet in D en E worden vervoerd, anderen wel.

Tabblad File benedenstrooms

N_{spits} : Het aantal keren (per etmaal) dat er tijdens de periode 'spits' (nagenoeg) stilstaand verkeer in de buis komt te staan.

Over het algemeen dient een waarde groter dan 0 te worden ingevoerd; er is immers altijd een kans dat er zich benedenstrooms van de tunnelbuis een ongeval

voordoet waarbij er een stilstaande file ontstaat. Indien er afdoende maatregelen zijn genomen om te voorkomen dat de staart van de file in de tunnelbuis komt te staan zou deze waarde (vrijwel) 0 kunnen zijn. In het rekenmodel is een spitsperiode elk etmaal aanwezig. Bij de invoer dient hier rekening mee te worden gehouden.

Modelleertip (zie ook achtergronddocument 3.7)

Voorbeeld 1: Bij de beschouwde tunnelbuis treedt er elke werkdag in de spitsperiode om 07.00 uur (nagenoeg) stilstaand verkeer op benedenstrooms van de tunnel ten gevolge van een afslag kort na de tunnel. De staart van de file komt hierbij in de tunnelbuis te staan. Om 08.00 uur lost de file op. In het weekend is er geen stilstaand verkeer. De invoerwaarde voor N_{spits} dient in dit geval $5(\text{werkdagen per week})/7(\text{dagen per week}) = 0,714$ te zijn of: $260(\text{werkdagen per jaar})/365(\text{dagen per jaar}) = 0,712$. Indien het probleem zich echter 2x per werkdag tijdens de spits manifesteert (bijvoorbeeld om 08.30 uur ontstaat er opnieuw stilstaand verkeer) dan dient de invoerwaarde voor N_{spits} $2 \cdot 5/7 = 1,428$ te zijn.

Voorbeeld 2: Bij de beschouwde tunnelbuis treedt er benedenstrooms van de tunnel alleen filevorming op bij ernstige ongevallen. Voor het model is deze filevorming alleen van belang indien dit leidt tot een nagenoeg stilstaande file in de tunnelbuis, de kans hierop dient te worden ingeschat. Omdat voldoende betrouwbare gegevens hiervoor veelal ontbreken zou men bijvoorbeeld als volgt te werk kunnen gaan:

- Bepaal het invloedsgebied benedenstrooms van de tunnelbuis waarvoor geldt dat een incident tot filevorming tot in de tunnel leidt. In dit voorbeeld gaan we uit van 10 km.
- Maak voor het beschouwde wegvak een schatting voor de kans op nagenoeg stilstaand verkeer op basis van de kans op een UMS-ongeval.
- Het aantal keren (per etmaal) dat er (nagenoeg) stilstaand verkeer benedenstrooms van de tunnel ontstaat (wat zonder maatregelen ook leidt tot een file in de tunnel) wordt dan:
Voor de 'spits': $N_{spits} = F_{UMS,hor} \cdot l_0$ (lengte invloedsgebied) \cdot $I_{spitsuur} \cdot T_{spits}$.

N_{dag} : *Het aantal keren (per etmaal) dat er tijdens de periode 'dag' (nagenoeg) stilstaand verkeer in de buis komt te staan.*

- Het aantal keren (per etmaal) tijdens de periode 'dag' dat er (nagenoeg) stilstaand verkeer benedenstrooms van de tunnelbuis ontstaat.

N_{nacht} : *Het aantal keren (per etmaal) dat er tijdens de periode 'nacht' (nagenoeg) stilstaand verkeer in de buis komt te staan.*

- Het aantal keren (per etmaal) tijdens de periode 'nacht' dat er (nagenoeg) stilstaand verkeer benedenstrooms van de tunnelbuis ontstaat.

$T_{filemax}$: *Maximale tijdsduur voor de opbouw van een benedenstroomse file in de tunnelbuis*

Hier kan een waarde voor de maximale tijdsduur (in minuten) voor de opbouw van een benedenstroomse file worden ingevoerd in het geval maatregelen zijn getroffen om het groeien van een benedenstroomse tot in de tunnel te beperken. Minimum invoer is 0 min, maximum 60 min.

$N_{filerij}$: *Aantal rijstroken waarover een benedenstroomse file zich kan opbouwen in de tunnelbuis*

Zonder maatregelen zal $N_{filerij}$ in principe gelijk zijn aan N_{rij} ; het is echter mogelijk (door middel van het afkruisen van rijstroken) de fileopbouw te laten plaatsvinden over minder rijstroken. Minimum invoer is 1 rijstrook, maximum is gelijk aan N_{rij} .

Tabblad Incidentkans

$F_{pech,neer}$; $F_{pech,hor}$; $F_{pech,op}$: Kans op pech op neergaande, horizontale en opgaande deel

Voor de kans op pech dient voor bestaande tunnels zoveel mogelijk gebruik te worden gemaakt van tunnelspecifieke statistische gegevens. Voor nieuwe (nog te bouwen) tunnels kan gebruik worden gemaakt van gegevens van vergelijkbare tunnels.

Tevens geldt dat een pechgeval zich circa 5 maal meer voordoet dan UMS [1].

$F_{UMS,neer}$; $F_{UMS,hor}$; $F_{UMS,op}$: Kans op UMS⁶ op neergaande, horizontale en opgaande deel

Voor de kans op een ongeval UMS dient voor bestaande tunnels zoveel mogelijk gebruik te worden gemaakt van tunnelspecifieke statistische gegevens. Voor nieuwe (nog te bouwen) tunnels kan gebruik worden gemaakt van gegevens van vergelijkbare tunnels.

Tevens geldt voor UMS dat dit in tunnels gemiddeld circa 10 maal vaker voorkomt dan letselongevallen[1].

$F_{letsel,neer}$; $F_{letsel,hor}$; $F_{letsel,op}$: Kans op letselongeval op neergaande, horizontale en opgaande deel

Voor de kans op een letselongeval voor bestaande tunnels dient zoveel mogelijk gebruik te worden gemaakt van tunnelspecifieke statistische gegevens. Voor nieuwe (nog te bouwen) tunnels kan gebruik worden gemaakt van gegevens van vergelijkbare tunnels. De kans op een letselongeval dient in principe te worden bepaald op basis van de ongevalselectie van alle letselongevallen met motorvoertuigen, *exclusief* brommers, fietsers en voetgangers. Alleen bij tunnels waarin ook brommers, fietsers en/of voetgangers zijn toegestaan kan een andere kans worden toegepast. Hierbij moet dan wel worden bedacht dat aanrijdingen met langzaam verkeer over het algemeen geen uitstroming van gevaarlijke stoffen plaats vindt. De vervolgcans voor de uitstroming van gevaarlijke stoffen zal hier dan ook op aangepast moeten worden (zie tabblad "[Defaultwaarden uitstroming](#)").

In bijlage D is een handreiking opgenomen voor het bepalen van de kans op een letselongeval bij verschillende tunnelconfiguraties.

$F_{brand, auto}$: Kans op brand van personenauto's

Aanbevolen wordt om voor de kans op brand in Nederland voor zowel personenauto's, bussen als vrachtauto's $2 \cdot 10^{-8}$ per mvtkm aan te houden.

$F_{brand, bus}$: Kans op brand van bussen

Aanbevolen wordt om voor de kans op brand in Nederland voor zowel personenauto's, bussen als vrachtauto's $2 \cdot 10^{-8}$ per mvtkm aan te houden.

⁶ UMS = Uitsluitend Materiële Schade

Fbrand, vracht : Kans op brand van vrachtauto's

Citaat uit [1]: "Op basis van 145 branden in vracht- of tankauto's in 1984 is een kans op brand van een vrachtauto afgeleid in de orde van $2,3 \cdot 10^{-8}$ per voertuigkilometer. 30% van deze branden resulteerde in een schadebedrag van fl.10.000 of meer ($= > \text{€ } 4.500$) en 70% in een schadebedrag van minder dan fl.10.000. Onderzoek in het buitenland (onder andere in de Alpenlanden) laat zien dat de kans op een brand in zwaar verkeer groter is dan de kans op een brand in het overige verkeer. Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze hogere kans op brand in zwaar verkeer veelal veroorzaakt wordt door het oververhitten van de motor bij het klimmen of het oververhitten van de remmen bij het dalen op lange en/of steile hellingen. In Frankrijk blijkt dat 60 á 70% van de vrachtautobranden in tunnels wordt veroorzaakt door oververhitte remmen. Daar dergelijke lange en/of steile hellingen niet voorkomen in Nederland is er vooralsnog geen reden om voor de Nederlandse situatie uit te gaan van een hogere kans op brand voor zwaar verkeer. Aanbevolen wordt om voor de kans op brand in Nederland voor zowel personenauto's, bussen als vrachtauto's $2 \cdot 10^{-8}$ per mvtkm aan te houden".

4.3 Defaultwaarden

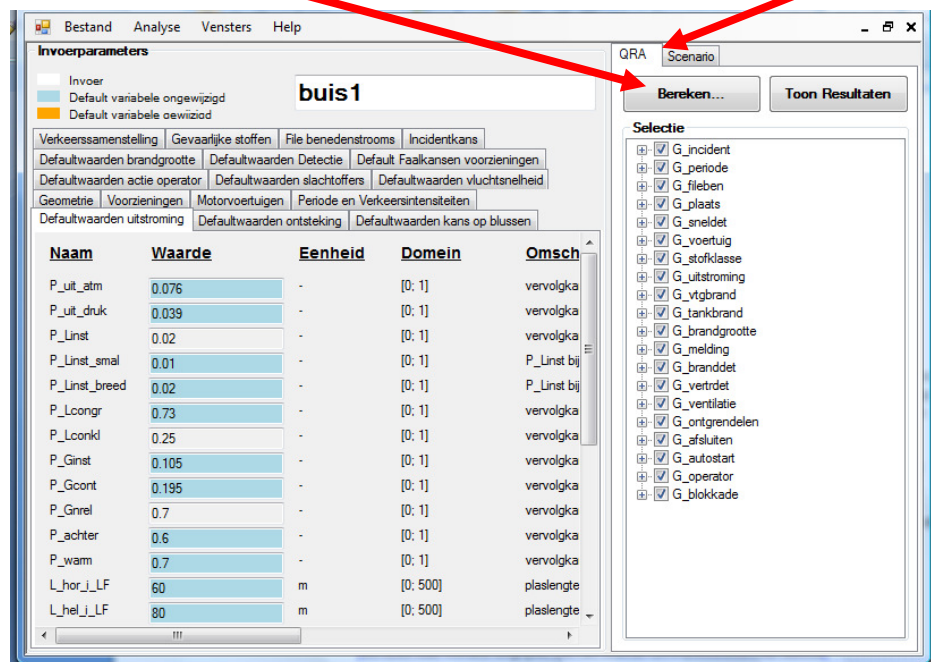
Het programma QRA-tunnels hanteert meerdere defaultwaarden waarmee het programma rekent om te komen tot de resultaten. Deze defaultwaarden kunnen indien noodzakelijk handmatig worden gewijzigd. Bij het wijzigen van deze waarden wordt expliciet in de uitkomsten aangeven welke aanpassingen zijn meegenomen. Een uitgebreide toelichting van de onderliggende redenering van de gebruikte defaultwaarden is gegeven in het achtergronddocument. In deze handleiding wordt volstaan met een korte opsomming op de defaultwaarde. In het model zijn de defaultwaarden per tabblad gegroepeerd naar functie/thema. De volgende groepen worden onderscheiden:

- Uitstroming
- Ontsteking
- Kans op blussen
- Brandgrootte
- Detectie
- Faalkansen Voorzieningen
- Actie operator
- Slachtoffers
- Vluchtsnelheid

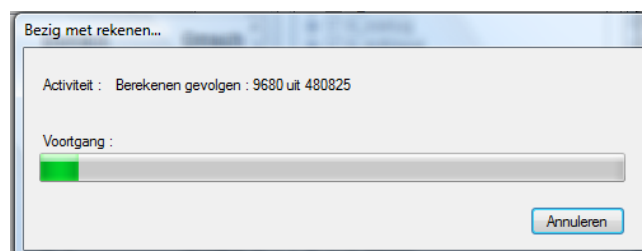
Een volledig overzicht van alle defaultwaarden wordt gegeven in Bijlage C. Toelichting op de achtergrond van de defaultwaarden is gegeven in het Achtergronddocument [1].

4.4 Berekening van het risico – QRA-module

Nadat alle invoerwaarden zijn ingevuld en de defaultwaarden zijn gecontroleerd en zonodig aangepast kan de berekening worden gestart, door simpelweg op de knop Bereken (rechts boven) te drukken. Hierbij dient dan wel het tabblad van de QRA-module voor te staan, zie figuur:



De berekening wordt dan gestart en middels een schermje wordt de voortgang van de berekening aangegeven. Als eerste wordt uitgerekend hoeveel scenario's moeten worden doorgerekend (alleen scenario's met kans > 0), vervolgens wordt met een tellertje het aantal doorlopen scenario's getoond.



Indien een bestaande file wordt geopend kan ook direct naar de rekenresultaten van de eerdere berekening worden gesprongen via de knop Toon resultaten (ook rechtsboven).

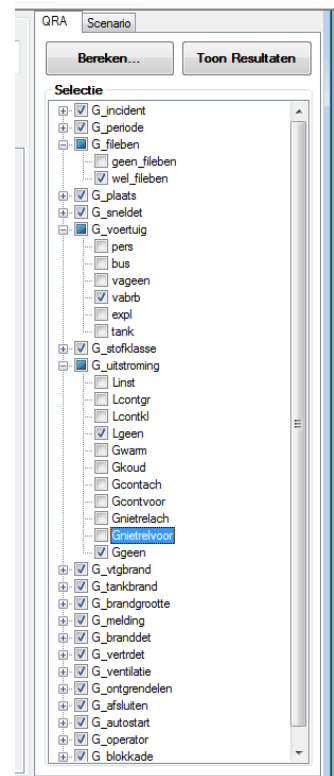
4.4.1 Filter

Het filter kan worden toegepast met het scherm "[Selectie](#)".

Hierbij kan in het invoerscherm worden aan gegeven welke scenario's wel of juist niet moeten worden meegenomen in de berekening. Deze optie is vooral van belang om de bijdrage van specifieke scenario's aan het risico te analyseren. Bij deze optie wordt de berekening net zo uitgevoerd als zonder filter waarbij alleen de kansen en gevolgen van de niet aangevinkte scenario's in de risicopresentatie worden weggelaten. Kans en gevolg van de wel aangevinkte scenario's blijven zoals het was. Een korte toelichting van de gebruikte afkortingen in dit venster en toelichting van de takken is gegeven bijlage E. Een uitgebreide toelichting per gebeurtenis is gegeven in het achtergronddocument.

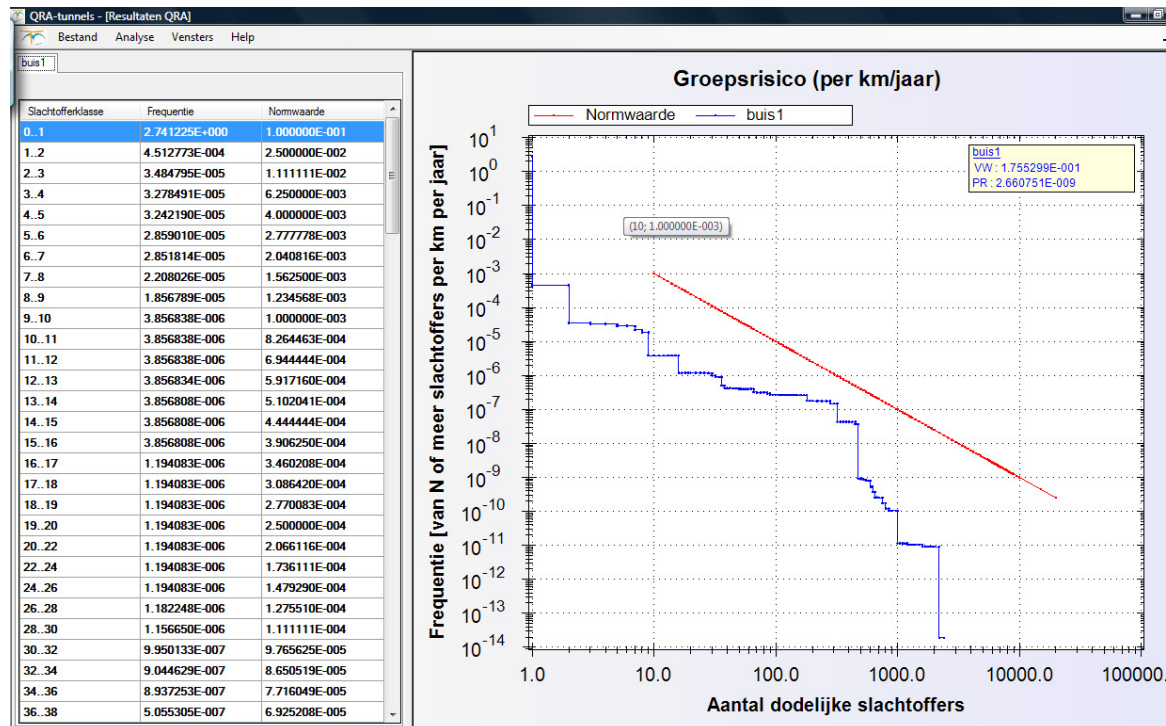
In de berekende groepsrisicocurve wordt met grote letters GEFILTERD vermeld, zodat het voor de gebruiker duidelijk is dat het een presentatie van een onvolledige set scenario's betreft.

Let op: In de rapportage wordt niet vermeld welk filter is toegepast. De analist zal dit zelf moeten noteren, bijvoorbeeld door dit in de naam v.d. buis en in de omschrijving aan te geven (onder Bestand-Eigenschappen). Ook kan een screendump van het scherm worden gemaakt, waarin is te zien welke takken zijn uitgezet. In dit voorbeeld is een filter toegepast waarbij het risico wordt berekend waarbij alleen de invloed van de vrachtwagenbranden met brandbare materialen in combinatie met een file benedenstrooms van het ongeval zijn meegenomen. De andere voertuigtypen en de uitstromingen van gevaarlijke stoffen zijn uitgezet. Ook de ongevallen zonder benedenstroomse file zijn uitgezet.



4.5 Analyse

Op het moment dat de berekening is voltooid wordt meteen het berekeningsresultaat getoond. In een scherm wordt de groepsrisicocurve gegeven. Hierbij worden ook het berekende persoonlijk risico en de verwachtingswaarde gegeven. Links wordt de tabel behorende bij de groepsrisicografiek gegeven, zie onderstaand voorbeeld.



In de output van het model wordt zowel een grafiek als een tabel getoond. Gekozen is voor een weergave in slachtofferklassen (in de tabel) om het aantal punten in de tabel enigszins beperkt te houden. Zonder slachtofferklassen is kan het aantal waargenomen slachtoffers op de x-as in principe gelijk zijn aan het aantal beschouwde scenario's, wat in bepaalde gevallen boven een half miljoen ligt. De breedte van de slachtofferklasse is enigszins arbitrair: de breedte van de klasse is in de ordegrrootte van 10% de ondergrens van de klasse, waarbij bij grotere aantallen is afgerond op ronde getallen.

In zowel de grafiek als de tabel wordt in, bijvoorbeeld, de slachtofferklassen 20-22 slachtoffers de frequentie van voorkomen van scenario's met **20 of meer** slachtoffers getoond. In de grafiek uit zich dit door bij 20 to 22 slachtoffers dezelfde frequentie (die van 20 of meer) slachtoffers weer te geven.

Zodra berekeningsresultaten beschikbaar zijn kunnen de volgende stappen worden genomen:

- Rapportage
- Combineren van resultaten
- Optellen van resultaten

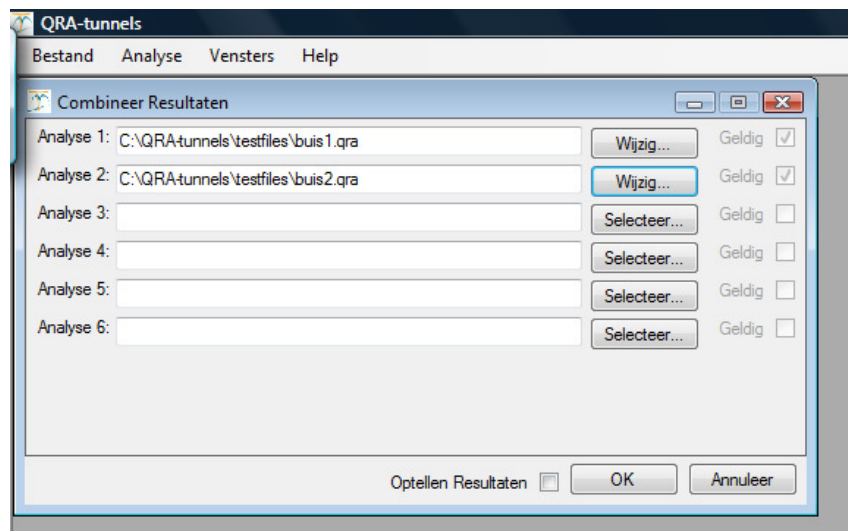
Het opnieuw aanpassen van invoer kan pas als het resultatenscherf is weggeklikt. Zodra een van de invoergegevens wordt gewijzigd worden de resultaten gewist en kunnen de (vorige) resultaten niet meer worden getoond (tenzij deze onder een andere naam zijn opgeslagen). Er moet dan eerst weer een nieuwe berekening worden gemaakt.

4.5.1 Rapportage

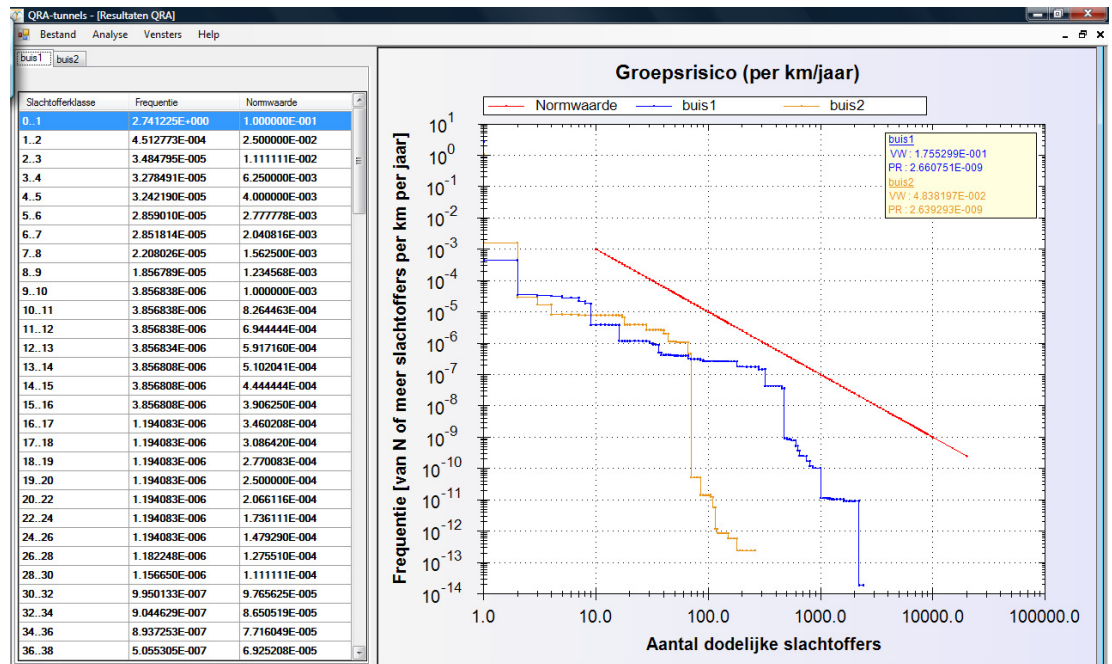
Genereer rapportage werkt alleen als er een berekening is geopend. Er wordt een htm-bestand gemaakt waarin de resultaten en de gebruikte invoerwaarden en defaultwaarden zijn vermeld. Daar waar afgeweken wordt van de defaultwaarden wordt dit expliciet vermeld. De rapportage is sober van opzet en layout. De risicoanalist kan echter desgewenst de inhoud kopiëren naar een bijlage van de rapportage die veelal over de risicoanalyse wordt gemaakt en de opmaak aanpassen. De rapportage kan worden gemaakt via de commando's: "[Analyse](#)" – "[Genereer rapportage QRA](#)".

4.5.2 Vergelijken van resultaten

Met behulp van deze optie kunnen meerdere grafieken in een plaatje naast elkaar worden gezet. Deze optie is te vinden onder het menu-item "[Analyse](#)", submenu "[Combineer resultaten QRA](#)". Bij het aanroepen van deze optie is het noodzakelijk dat er op dat moment geen berekeningsfile geopend is. Via het schermje "[Combineer resultaten](#)" (zie figuur) kan worden aangegeven welke berekeningsresultaten men wil vergelijken.



Na het indrukken de knop "**OK**", zal een grafiek worden getoond waarin de groepsrisicoresultaten van de geselecteerde berekeningen in een figuur worden getoond.

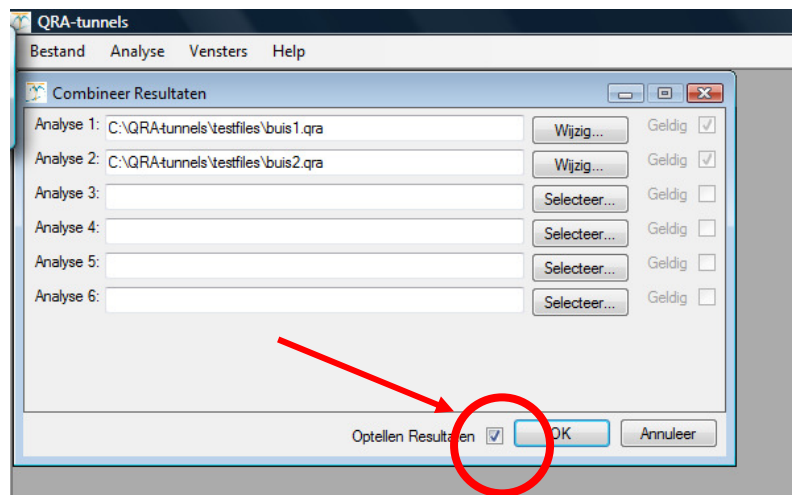


Hiervan kan vervolgens een rapportage worden gemaakt (via menu "Analyse").

4.5.3 Optellen van resultaten

Het programma berekent het risico van één tunnelbuis. Met behulp van de optie Optellen van resultaten kunnen de risico's van de verschillende tunnelbuizen uit een tunnelsysteem bij elkaar op worden geteld. Dit is niet noodzakelijk voor het toetsen aan de wettelijke norm (die immers geldt per tunnelbuis), maar dit kan gewenst zijn in verband met het verkrijgen van inzicht.

Deze optie wordt op dezelfde wijze benaderd als "vergelijken van resultaten" (via Analyse, combineer resultaten). In dit geval wordt echter het vakje "optellen resultaten" aangevinkt.

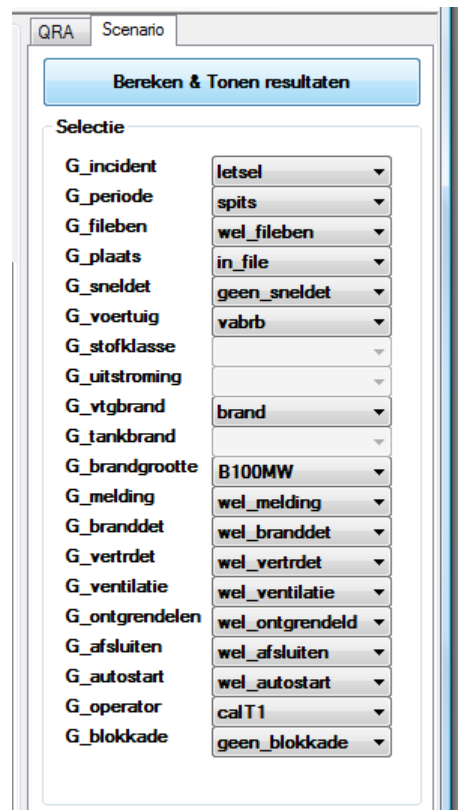


Vervolgens wordt de fN-curve van het opgetelde risico getoond.

4.6 Scenario-module

Naast het uitvoeren van een QRA kan met de tool ook de uitkomst van een enkel scenario worden getoond. Deze optie geeft nader inzicht in de werking van het programma en inzicht in het aantal slachtoffers dat per scenario kan vallen en de factoren die daarop van invloed zijn.

De invoer voor de scenario-module is uiteraard dezelfde als voor de qra-module. De scenario-module wordt aangeroepen door rechts in het scherm het tabblad "**Scenario**" naar voren te halen. Het scherm aan de rechterkant verandert dan ook meteen. Men krijgt bij elke tak in de gebeurtenissenboom een keuzemogelijkheid, waarbij steeds uit een van de mogelijkheden kan worden gekozen. In bepaalde gevallen worden bepaalde vervolgmogelijkheden al uitgeschakeld afhankelijk van eerdere keuzes. Bijvoorbeeld: de takken G_stofklasse en G-uitstroming en G_tankbrand worden alleen getoond als in de tak G_voertuig voor tank is gekozen. Door op de knop "Bereken & Tonen resultaten" wordt het geselecteerde scenario doorgerekend. Een korte toelichting van de gebruikte afkortingen in dit venster en toelichting van de takken is gegeven bijlage F.



Parameter	Keuze
G_incident	letsel
G_periode	spits
G_fileben	wel_fileben
G_plaats	in_file
G_sneldet	geen_sneldet
G_voertuig	vabrb
G_stofklasse	
G_uitstroming	
G_vtbrand	brand
G_tankbrand	
G_brandgrootte	B100MW
G_melding	wel_melding
G_branddet	wel_branddet
G_vertrdet	wel_vertrdet
G_ventilatie	wel_ventilatie
G_ontgrendelen	wel_ontgrendeld
G_afsluiten	wel_afsluiten
G_autostart	wel_autostart
G_operator	calT1
G_blokkade	geen_blokkade

In het scherm wat dan voorkomt (met de resultaten) wordt als eerste de naam van de doorgerekende tunnelbuis, plus de toelichting die eerder in het vakje "**Eigenschappen**" is ingevuld. Vervolgens volgt een tabel waarin is aangegeven welk scenario is geselecteerd en wat de vervolgcans op elk van deze takken is. Onder de tabel is de kans per voertuigkm, per km per jaar en per jaar gegeven (gebaseerd op het aantal transporten in de beschouwde tunnelbuis). Onder deze tabel volgt het aantal berekende slachtoffers, gevolgd door diverse tussenwaarden die voor het berekenen van het aantal slachtoffers van belang is. Onder de resultaten worden in de rapportage de gebruikte invoerwaarden en defaultwaarden gegeven. Hieronder is het resultaat van een doorgerekend scenario gegeven met een korte toelichting. Voor een meer uitgebreide toelichting van de verschillende tussenvariabelen en de hier aangekoppelde rekenregels wordt verwezen naar het achtergronddocument. De toelichting is in cursief aan de rapportage toegevoegd.

Voorbeeld berekend scenario met scenario-module**Geselecteerd scenario**

Gebeurtenis	Tak	kans
G_incident	letsel	1,000000E-007
G_periode	spits	4,004571E-001
G_fileben	wel_fileben	3,875488E-003
G_plaats	in_file	1,000000E+000
G_sneldet	geen_sneldet*	1,000000E+000
G_voertuig	vabrb	6,974164E-002
G_stofklasse		n.v.t.
G_uitstroming		n.v.t.
G_vtgbrand	brand	2,000000E-002
G_tankbrand		n.v.t.
G_brandgrootte	B100MW	4,208191E-001
G_melding	wel_melding	9,000000E-001
G_branddet	wel_branddet	9,500000E-001
G_vertrdet	wel_vertrdet	9,000000E-001
G_ventilatie	wel_ventilatie	9,800000E-001
G_ontgrendelen	wel_ontgrendeld	1,000000E+000
G_afsluiten	wel_afsluiten	9,990000E-001
G_autostart	wel_autostart	9,990000E-001
G_operator	calT1	8,100000E-001
G_blokkade	geen_blokkade	1,000000E+000

* Bij een ongeval met benedenstrooms file is G_plaats per definitie altijd in in_file. In het model is aangenomen dat de snelheidsdetectie dan geen toegevoegde waarde meer heeft en in_file daarom alleen maar combineert met geen-sneldet.

Kans per voertuig per kilometer	5.5532956885135E-14
Kans per km per jaar	9.71826745489862E-07
Kans per jaar*	1.94365349097972E-06

* Dit betreft in feite de frequentie waarbij het geselecteerde scenario in de beschouwde tunnelbuis plaats vindt op jaarbasis. Dit getal kan in principe ook groter zijn dan één.

Aantal slachtoffers

Naam	Waarde	Eenheid	Omschrijving
E_totaal	3,8	-	Totaal aantal slachtoffers
E_direct	0,04	-	Aantal slachtoffers in voertuig
E_extra	0,12	-	Aantal extra doden onder beknelden
E_kkkg	3,65	-	Doden ten gevolge van blootstelling brand/GS

Ter illustratie wordt aangegeven:

- *hoeveel slachtoffers er direct (ten gevolge van de aanrijding) overlijden: E_direct; hiervoor is een landelijk gemiddelde genomen*
- *E_extra: gewonden die bekneld zijn in het voertuig en door de brand niet tijdig kunnen worden bevrijd en overlijden (ook een gemiddelde).*
- *E_kkkg: het aantal doden dat door de brand (rookinhalatie, warmte) overlijdt*

Variabelen die gevolgen bepalen

Naam	Waarde	Eenheid	Omschrijving
L_filebov	1351	m	Lengte bovenstroomse file
L_fileben	1000	m	Lengte benedenstroomse file
D_file	0,61	mensen/m	Aantal aanwezigen per meter file
D_rij	n.v.t.	mensen/m	Aantal aanwezigen per meter bij rijdend verkeer
T_vent	4	min	Tijdstip waarop ventilatie is gestart
T_ontgr	0	min	Tijdstip waarop deuren zijn ontgrendeld
T_instructie	5,17	min	Tijdstip waarop vluchtinstructie is gegeven
T_afsluit	5,67	min	Tijdstip waarop tunnel is afgesloten

De tijden T_vent, T_ontgr, T_instructie, T_afsluit worden bepaald door aanwezigheid voorzieningen, de snelheid van deze detectiemiddelen en de reactietijd van de operator.

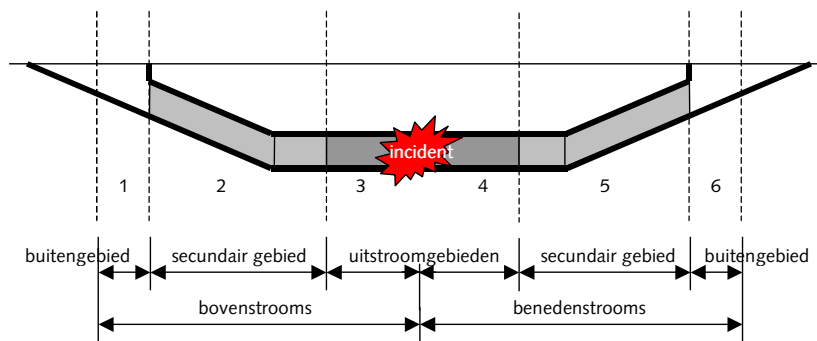
Indien $T_{vent} \geq 4$ minuten dan wordt er in het model vanuit gegaan dat dit onvoldoende snel is voor snelle branden en wordt voor die branden gerekend alsof er geen ventilatie. Daarom wordt in dit geval (zie verder op) ook uitgerekend wat de blootstelling aan rook en warmte bovenstrooms is.

Lengte schadegebieden

Naam	Waarde	Eenheid	Omschrijving
L_1	0	m	L1
L_2	1000	m	L2

L_3	0 m	L3
L_4	0 m	L4
L_5	1000 m	L5
L_6	0 m	L6

De tunnel wordt ingedeeld in een 6-tal gebieden. Dit wordt hieronder geïllustreerd:



(figuur 6.3 uit het achtergronddocument [1])

Aanwezigen per meter in deelgebieden

Naam	Waarde	Eenheid	Omschrijving
D_1	0,61	mensen/m	Dichtheid in deel 1
D_2	0,61	mensen/m	Dichtheid in deel 2
D_3	0,61	mensen/m	Dichtheid in deel 3
D_4	0,61	mensen/m	Dichtheid in deel 4
D_5	0,61	mensen/m	Dichtheid in deel 5
D_6	0,61	mensen/m	Dichtheid in deel 6
D_nevenbuis	n.v.t.	mensen/m	Dichtheid in nevenbuizen per rijstrook

Overlijdenskans

Naam	Waarde	Eenheid	Omschrijving
p_1	0E+00	-	P1
p_2	3E-03	-	P2
p_3	0E+00	-	P3
p_4	0E+00	-	P4
p_5	3E-03	-	P5
p_6	0E+00	-	P6
P_nevenbuis	n.v.t.	-	Overlijdenskans in naastgelegen verkeersbuis of

			-buizen
--	--	--	---------

In bovenstaande tabel wordt de overlijdenskans per gebied berekend. Hieruit blijkt dat de overlijdenskans zowel bovenstrooms als benedenstrooms 0,003 is. Dit komt overeen met de fractie niet-zelfredzame personen. Blijkbaar (zie ook resultaten hieronder) zijn alle overige mensen in staat om tijdig te vluchten.

Brandscenario bovenstrooms

Indien de ventilatie wel tijdig is ingeschakeld, zullen er bij brand bovenstrooms, buiten het uitstroomgebied en directe warmtestralingsgebied geen slachtoffers vallen en worden onderstaande waarden niet berekend. Omdat in dit voorbeeld de ventilatie bij dit scenario niet tijdig is ingeschakeld is er gerekend zonder ventilatie, waardoor er een overlijdenskans bovenstrooms wordt uitgerekend. De overlijdenskans in het bovenstroomse warmtestralingsgebied (L3) wordt daarom niet apart berekend maar samengevoegd met L2.

t_vlucht_L2	Tijdstip waarop men begint te vluchten als functie van de afstand tot de brand	
-------------	--	--

Args	Waarde	Eenheid
x=25	0,85	min
x=100	2,27	min

Hieruit blijkt dat de mensen dicht bij de brand al beginnen te vluchten door het waarnemen van de rook, ruim voordat de evacuatie-instructie is gegeven.

t_hinder_L2	Tijdstip waarop men hinder ondervindt van rook bij het vluchten als functie van de afstand tot de brand	
-------------	---	--

Args	Waarde	Eenheid
x=25	1,7	min
x=100	3,06	min

t_temp_dood_L2	Tijdstip waarop men overlijdt door te hoge temperatuurdoosis als functie van de afstand tot de brand	
----------------	--	--

Args	Waarde	Eenheid
x=50	4,51	min
x=25	3,37	min
x=100	7,87	min

De waarde voor x=50 wordt gebruikt om na te gaan of niet-zelfredzame personen overlijden. Indien blijkt dat men op x=50 binnen 60 minuten overlijdt, wordt er (ter vereenvoudiging) van uitgegaan dat alle niet-zelfredzame personen overlijden.

t_co_dood_L2	Tijdstip waarop men overlijdt door te hoge rookgasdosis als functie van de afstand tot de brand
--------------	---

Args	Waarde	Eenheid
x=50	6,11	min
x=25	5,26	min
x=100	8,11	min

Omdat men op $x=25$ minuten dus 3,37 minuten de tijd heeft om te vluchten, en men na 0,85 minuten begonnen is met vluchten, is er dus voldoende tijd om de dichtstbijzijnde vluchtdeur (in dit voorbeeld om de 100 meter, dus op maximaal 50 meter afstand) te bereiken. Hierdoor vallen er geen slachtoffers onder de zelfredzame personen.

Naam	Waarde	Eenheid	Omschrijving
L_2_dood_tot_deur1	0	m	Deel bovenstrooms tot eerste vluchtdeur waar mensen overlijden

Dit heeft alleen betrekking op de zelfredzame personen.

L_2_j_dood_vanaf_deur1	Deel bovenstrooms vanaf eerste vluchtdeur waar mensen overlijden
------------------------	--

Args	Waarde	Eenheid
j=1	0	m

L_2_j_dood	Deel bovenstrooms vanaf eerste vluchtdeur waar mensen overlijden, als er geen vluchtdeuren beschikbaar zijn
------------	---

n.v.t.

Brandscenario benedenstrooms (zie toelichting bij benedenstrooms)

t_vlucht_L5	Tijdstip waarop men begint te vluchten als functie van de afstand tot de brand
-------------	--

Args	Waarde	Eenheid
x=25	0,56	min
x=100	1,01	min

t_hinder_L5	Tijdstip waarop men hinder ondervindt van rook bij het vluchten als functie van de afstand tot de brand
-------------	---

Args	Waarde	Eenheid
x=25	0,98	min
x=100	1,29	min

t_temp_dood_L5	Tijdstip waarop men overlijdt door te hoge temperaturodosering als functie van de afstand tot de brand
----------------	--

Args	Waarde	Eenheid
x=50	2,63	min
x=25	2,46	min
x=100	3,15	min

t_co_dood_L5	Tijdstip waarop men overlijdt door te hoge rookgasdosering als functie van de afstand tot de brand
--------------	--

Args	Waarde	Eenheid
x=50	5,45	min
x=25	4,9	min
x=100	7,04	min

Naam	Waarde	Eenheid	Omschrijving
L_5_dood_tot_deur1	0	m	Deel benedenstrooms tot eerste vluchtdeur waar mensen overlijden

L_5_j_dood_vanaf_deur1	Deel benedenstrooms vanaf eerste vluchtdeur waar mensen overlijden
------------------------	--

Args	Waarde	Eenheid
j=1	0	m

L_5_j_dood	Deel benedenstrooms vanaf eerste vluchtdeur waar mensen overlijden, als er geen vluchtdeuren beschikbaar zijn
------------	---

n.v.t.

Einde voorbeeld.

5 Aanpak QRA bij "afwijkende" tunnels

5.1 Aanpak

QRA-tunnels is geënt op de meest voorkomende Nederlandse tunnelconfiguratie en gebruik (rechthoekige tunnels met eenrichtingsverkeer per tunnelbuis en langsventilatie). Deze tunnels kunnen zonder verdere aanpassingen in de modellering worden doorgerekend. Daarnaast zijn er in Nederland ook tunnels die hier in meerdere of mindere mate van afwijken. Voor deze tunnels moet de volgende aanpak worden gevolgd bij het uitvoeren van de QRA:

1. Modelleer de tunnel zo passend mogelijk in QRA-tunnels. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de modelleertips in paragraaf 5.2. Zorg er daarbij voor dat de modellering conservatief is, zodat er sprake is van geen sprake is van een onderschatting van de risico's.
2. Toets de (conservatieve) uitkomsten van de berekeningen met QRA-tunnels aan de wettelijke norm. Als dan aan de norm wordt voldaan, is daarmee feitelijk aangetoond dat de tunnel voldoet aan de wettelijke veiligheidseisen. Nadere analyses zijn dan niet nodig in het kader van de toetsing aan de norm.
3. Als er met de conservatieve modellering niet aan de wettelijke norm wordt voldaan, dan moet de risicoanalist een inschatting maken of met een meer nauwkeurige modellering wel aan de norm zou kunnen worden voldaan. De informatie in het Achtergronddocument [1] zou hierbij kunnen helpen.
4. Als het naar het oordeel van de risicoanalist inderdaad de moeite waard is om de tunnel nauwkeuriger te modelleren, om aan te tonen dat met de geplande veiligheidsvoorzieningen wel degelijk aan de norm zal worden voldaan, dan treedt hij via de tunnelbeheerder in contact met de beheerder van QRA-tunnels, ten behoeve van nader overleg. (N.B.: het initiatief voor dit overleg ligt dus bij de tunnelbeheerder).
5. De risicoanalist overlegt vervolgens met de beheerder van QRA-tunnels over de wijze waarop de tunnel, het gebruik of specifieke scenario's in de tunnel zouden moeten worden gemodelleerd. Dit kan betekenen dat de beheerder van QRA-tunnels het model zodanig aanpast (of laat aanpassen), dat de kenmerken van de betreffende tunnel beter worden gemodelleerd ("maatwerkmodel"). Uiteraard worden daarbij de letselschademodelen niet aangepast. De specifieke eigenschappen van de tunnel hebben immers geen gevolgen voor de "kwetsbaarheid" van de slachtoffers. Een dergelijk maatwerkmodel geldt alleen voor de betreffende tunnel en moet door de beheerder van QRA-tunnels worden goedgekeurd.
6. Indien met de aangepaste modellering alsnog wordt aangetoond dat de tunnel aan de wettelijke norm voldoet, dan zijn geen aanvullende veiligheidsvoorzieningen benodigd. Indien nog steeds niet aan de norm wordt voldaan, dan kan het aangepaste model worden gebruikt om te toetsen of met bepaalde aanvullende voorzieningen wel aan de norm wordt voldaan.

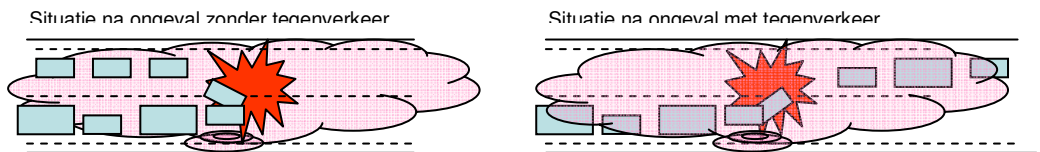
In paragraaf 5.3 wordt aan de hand van een voorbeeld aangegeven hoe een "afwijkende" tunnel is gemodelleerd en welke aanvullende analyses hierbij eventueel zinvol worden geacht.

5.2 Modelleertips

Tweerichtingsverkeer

In principe wordt uit gegaan van eenrichtingsverkeer. Indien sprake is van twee richtingsverkeer zou dit kunnen worden benaderd door de volgende parameters aan te passen: ongevalsfrequenties en aanwezigheid ventilatie. Voor de ongevalsfrequentie is het van belang om daarbij gebruik te maken van de beschikbare tunnelspecifieke data. In tunnels met 2 richtingsverkeer is over het algemeen geen langsventilatie aanwezig (omdat anders de rook- en warmte altijd naar een van beide rijrichtingen wordt geblazen).

Een tunnel met 2 rijstroken (in elke richting 1) kan dan worden gemodelleerd als een tunnel met 2 rijstroken met de vervoersintensiteiten van beide richtingen bij elkaar opgeteld, zonder ventilatie. In het model zal er een file op beide rijstroken achter het incident staan, terwijl er in werkelijkheid aan beide kanten een file over een rijstrook staat. Aangezien er echter geen ventilatie is, zijn de gevolgen hiervan echter vergelijkbaar (zie onderstaande figuur).



Een dergelijke modellering is in het verleden al eerder toegepast voor de Kaagbaantunnel (niet-openbare tunnel op het Schiphol-terrein met voornamelijk transporten van bagage en brandstof van en naar de vliegtuigen).

Hart-op-hart afstand van de vluchtdeuren [L_{hart}]

Wanneer de vluchtdeuren niet op gelijke afstand van elkaar liggen is het aan de gebruiker om te kiezen om de langste (en dus meest conservatieve) afstand, de gemiddelde of de kortste afstand in te voeren. Uitgangspunt is dat voor de toetsing aan de norm steeds conservatieve keuzes worden gedaan. In dit geval moet dus in ieder geval de langste afstand worden meegenomen. In het kader van de gevoeligheidsanalyses kunnen ook andere waarden worden toegepast.

Aantal rijstroken in de tunnelbuis [N_{rij}]

Wanneer er variatie optreedt met betrekking tot de geometrie binnen de tunnelbuis is het aan de gebruiker om te kiezen met welke invoerparameter gerekend wordt. Uitgangspunt is dat voor de toetsing aan de norm steeds conservatieve keuzes worden gedaan. In dit geval moet dus in ieder geval het maximale aantal rijstroken worden meegenomen. In het kader van de gevoeligheidsanalyses kunnen ook andere waarden worden toegepast. Hierbij kan ook worden gedacht aan het doen van meerdere berekeningen met de verschillende vluchtdeurafstanden en van deze berekeningen het gewogen gemiddelde te bepalen.

Aandachtspunt bij deze situatie zijn ook de toe te passen ongevalsfrequentie. Zie hiervoor de Handleiding Incidentkansen in de bijlage.

Ventilatiesysteem, anders dan langsventilatie [A_{vent}]

Het is niet mogelijk om een ander ventilatieregime dan langsventilatie mee te nemen. Er kan alleen worden gekozen tussen wel en geen ventilatie.

Een tunnel met een afwijkend ventilatieconcept kan in eerste instantie conservatief als een tunnel zonder ventilatie worden gemodelleerd. Het effect van de ventilatie wordt daarbij volledig genegeerd en het berekende risico zal hoger uitvallen, dan bij een meer gedetailleerde modellering. Daarnaast kan ook een positievere benadering met langsventilatie worden berekend. Als uit de analyse blijkt dat zowel de berekening zonder ventilatie als met ventilatie geen knelpunten oplevert ten aanzien van het risico, dan is een nadere analyse niet nodig. Leidt echter de conservatieve benadering wel tot knelpunten en de te optimistische analyse niet, dan is een nader onderzoek wel noodzakelijk, waarbij wordt bekeken of een betere modellering van de effecten van de ventilatie zou kunnen aantonen dat toch aan de wettelijke norm wordt voldaan.

In principe kan het model wel worden aangepast voor een ander ventilatieregime, maar hiervoor zouden dan nieuwe CFD-resultaten in de rekenkern moeten worden ingevoerd. Dit kan alleen via de beheerder en er zou dan een andere versie van het model moeten worden gemaakt.

Het model biedt wel mogelijkheden om een situatie met dwarsventilatie te benaderen, door een situatie zonder langventilatie te kiezen en de scenario's met de kleinere branden (tot 50 MW) uit te zetten, zodat deze niet worden meegerekend in de fN-curve. Er kan namelijk worden aangenomen dat dwarsventilatie bij kleinere branden zodanig effectief werkt dat er geen slachtoffers vallen door rook. Bij grotere branden (50 MW of meer) zal de capaciteit van de dwarsventilatie normaal gesproken te kort schieten om de rook adequaat af te voeren, zodat voor die scenario's een modellering zonder ventilatie adequaat is.

De hier beschreven benadering van dwarsventilatie zal een redelijk beeld geven van de werkelijke situatie (zie ook het uitgewerkte voorbeeld in paragraaf 5.3), maar is nog steeds aan de conservatieve kant, aangezien de effecten van de ventilatie bij de grotere branden nog steeds niet worden meegerekend. Indien er ook met deze benadering nog sprake is van knelpunten met betrekking tot het risico, dan is het wellicht nog steeds zinvol een nadere analyse uit te voeren met betrekking tot (een betere modellering van) de effecten van de ventilatie.

Aanwezigheid van bochten in de tunnelbuis

Er wordt bij de modelering van de gevolgen geen rekening gehouden met bochten in de tunnel. Hiervoor zouden dan specifieke CFD-berekeningen moeten worden gemaakt en deze zouden dan moeten worden ingevuld in de rekenkern. Dit kan alleen via de beheerder en er zou dan een andere versie van het model moeten worden gemaakt. Een eventuele invloed op de ongevalsfrequentie kan wel worden ingevuld (zie bijlage D).

Langzaam verkeer in de tunnelbuis

In het model kunnen alleen auto's, bussen en vrachtverkeer worden ingevuld. In het uitzonderlijke geval dat er ook langzaam verkeer (fietsers of voetgangers) in de tunnel zijn toegestaan, dan kan dit het beste worden benaderd door het aantal fietsers/voetgangers op te tellen bij de auto's en eventueel het gemiddeld aantal inzittenden te corrigeren.

Wellicht is ook de ongevalskans van langzaam verkeer hoger. Een ongeval met langzaam verkeer zal echter in de meeste gevallen niet tot een brand leiden, ook de kans op uitstroming (bij aanrijding tussen langzaam verkeer en een tankwagen) is verwaarloosbaar. Om een goed beeld van het groepsrisico te verkrijgen is het daarom het beste om van dezelfde ongevalsfrequentie als voor het snel verkeer uit te gaan. Om een indruk te krijgen om het maximale effect op het persoonlijke risico is ook nog een berekening met de ongevalsfrequentie voor het gecombineerde verkeer raadzaam. In die berekening zal met name het groepsrisico overschat worden (tenzij ook de brandkans en de uitstromingskans van gevaarlijke stoffen gecorrigeerd wordt).

In- en uitvoegende verkeersstromen in de tunnelbuis

Zie ook wisselende aantallen rijstroken. Indien dit tevens invloed heeft op de ongevalsfrequentie, dient de invoerwaarde hiervan door de gebruiker worden aangepast (zie bijlage D).

Aanwezigheid van actieve blussystemen

In het model wordt rekening gehouden met de kans op snelle blussing door blusmiddelen voor de weggebruiker, zodat de brand niet escaleert. De aanwezigheid van een actief blussysteem kan in rekening worden gebracht door een verhoging van deze bluskans, afhankelijk van de effectiviteit en betrouwbaarheid van het betreffende systeem. Dit kan in het tabblad "[defaultwaarden kans op blussen](#)". Voor een effectief blussysteem zou bijvoorbeeld voor langzaam ontwikkelende branden een bluskans van 0,95 en voor snelle voertuigbranden van 0,9. Voor plasbranden is uit proeven met watermistssystemen gebleken dat bij deze branden de leefbaarheidscondities de eerste minuten niet door het WMS worden verbeterd, waardoor aanwezigen nog wel overlijden. Omdat QRA-tunnels primair het aantal slachtoffers berekend en nog niet gericht is op het beperken van de materiële schade, dient daarom voor branden met gevaarlijke stoffen (LF en GF) nog een bluskans van 0 te worden ingevuld. In het model wordt nu nog niets met de bluskans bij gevaarlijke stoffen gedaan omdat dit geen invloed zal hebben op de leefomstandigheden. Een automatisch blussysteem heeft mogelijk wel effect op de materiële schade (schade aan de tunnelconstructie). Deze bluskans is daarom alvast opgenomen voor een toekomstig schademodel.

Invoerparameters				
<input type="checkbox"/> Invoer	buis1			
<input type="checkbox"/> Default variabele ongewijzigd				
<input type="checkbox"/> Default variabele gewijzigd				
Geometrie Voorzieningen Motorvoertuigen Periode en Verkeersintensiteiten Verkeerssamenstelling Gevaarlijke stoffen File benedenstrooms Incidentkans Default Faalkansen voorzieningen Defaultwaarden actie operator Defaultwaarden slachtoffers Defaultwaarden vluchtsnelheid Defaultwaarden uitstroming Defaultwaarden ontsteking Defaultwaarden kans op blussen Defaultwaarden brandgrootte Defaultwaarden Detectie				
Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
P_blus_auto	0.95	-	[0; 1]	kans op blussen van een langzame (pech) brand met een personenauto
P_blus_vracht	0.95	-	[0; 1]	kans op blussen van een langzame (pech) brand met een vrachtauto of bus
P_b_snel_auto	0.9	-	[0; 1]	kans op blussen van een snelle (letsel) brand met een personenauto
P_b_snel_vracht	0.9	-	[0; 1]	kans op blussen van een snelle (letsel) brand met een vrachtauto of bus
P_b_snel_LF	0	-	[0; 1]	kans op blussen van een brand met brandbare vloeistoffen
P_b_snel_GF	0	-	[0; 1]	kans op blussen van een brand met brandbare gassen

Rijstrookbreedte

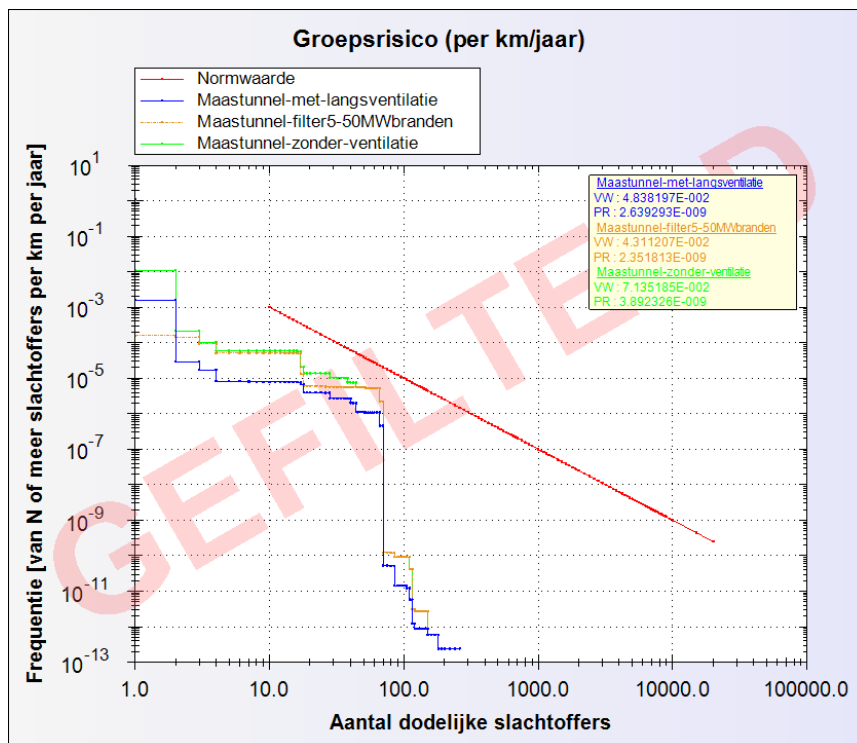
De rijstrookbreedte zou invloed kunnen hebben op de ongevalsfrequentie (zie bijlage D). Deze kan door de gebruiker worden aangepast. Indien ook de breedte van de tunnelbuis wordt aangepast, moet ook deze waarde worden aangepast.

Verhoogd vluchtpad

Voor het bepalen van de benodigde vluchttijd en daarmee het simuleren van het evacuatieproces wordt uitgegaan van een vluchtpad dat voldoet aan de gestelde normen. Conform de "wijziging regelgeving bouwbesluit 2003 (27-06-2006)" geldt dat bij overbruggingen groter dan 0,30 een hellingbaan of trap toegepast moet worden. De mogelijke vertraging van de trap in de vluchtroute wordt niet (expliciet) meegenomen in het model. Wel kan de risicoanalist de gemiddelde vluchtsnelheid in de tunnel aanpassen en de benodigde tijd om uit het voertuig te stappen. Door dit getal aan te passen zouden hindernissen in de vluchtroute (in de incidentbuis) kunnen worden verdisconteerd. Zie ook voorbeeld in paragraaf 5.3.

5.3 Voorbeeld: Toepassing voor een "afwijkende" Nederlandse tunnel

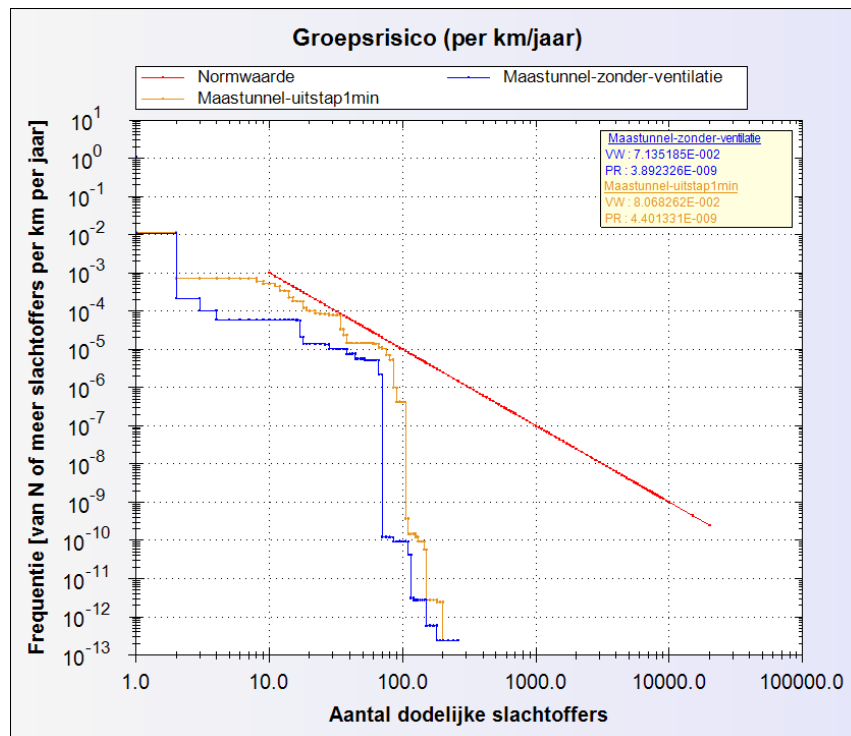
Een goed voorbeeld van een afwijkende Nederlandse tunnel is de Maastunnel. De Maastunnel is de oudste tunnel in Nederland (1942) met een aantal afwijkende kenmerken die voor het risicoanalysemodel van belang zijn. Ten eerste beschikt de tunnel over dwarsventilatie met afzuiging in secties boven in de tunnel en aanvoer van verse lucht onder in de tunnel. In onderstaande figuur is een berekening met langsventilatie gedaan, een berekening zonder ventilatie en een berekening zonder ventilatie, maar waarbij de kleinere branden (tot en met 50 MW) niet in de fn-curve zijn meegenomen, omdat de verwachting is dat de ventilatie de eerste minuten bij deze branden nog wel effectief is.



Wat opvalt is dat in alle 3 de gevallen nog wel aan de oriëntatiewaarde wordt voldaan. Het risico is met langsventilatie wel duidelijk lager.

Overigens heeft de beheerder van de Maastunnel (gemeente Rotterdam) besloten om van het systeem met dwarsventilatie af te stappen en zal het ventilatiesysteem worden omgebouwd tot een hybride langs-dwarsventilatiesysteem, Voor deze toekomstige situatie is dus de berekening met langsventilatie van toepassing.

Een ander belangrijke afwijking is het verhoogde vluchtpad. De weggebruikers zullen via een wat ongemakkelijke opstap het vluchtpad moeten beklimmen alvorens ze door de vluchtdeur de incidentbuis kunnen verlaten. Vermoedelijk zal deze opstap zeker een halve minuut extra tijd kosten. Ook is te verwachten dat de loopsnelheid op het vluchtpad iets lager zal liggen. Standaard wordt uitgegaan van een vluchtsnelheid van 66 meter per minuut en een uitstaptijd van 0,2 minuut (dit betreft puur het uitstappen en niet de gewaarwordingstijd).

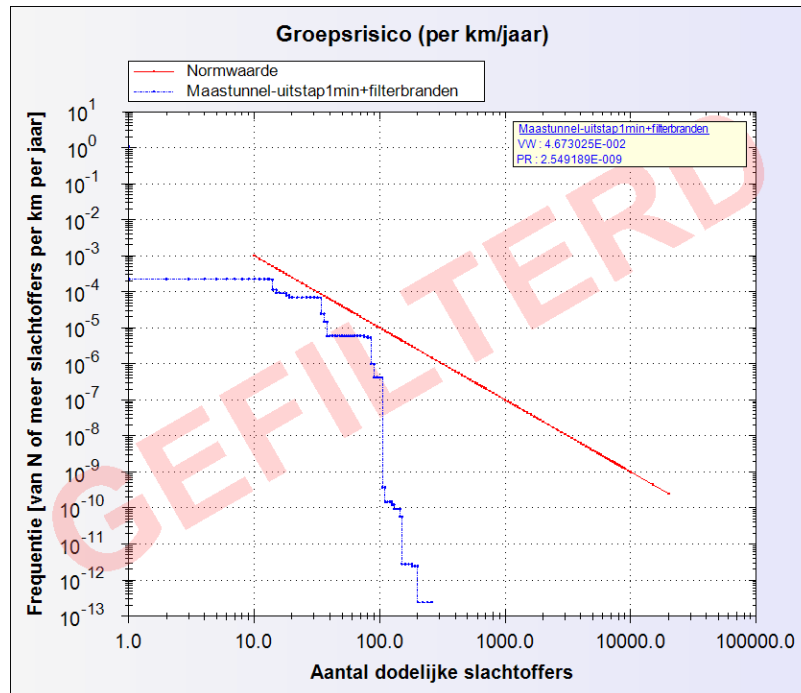


In deze aangepaste berekening is uitgegaan van een snelheid van 30 meter per minuut en een uitstaptijd van 1 minuut. In onderstaande figuur wordt dit vergeleken met de defaultwaarden. In beide gevallen is geen ventilatie toegepast. Ook hierbij is vermeldenswaardig dat de tunnelbeheerder al besloten heeft tot het aanpassen van de toegang tot de vluchtdeuren met een verbeterde trap, waardoor het tijdverlies beperkt blijft.

Hier is duidelijk te zien dat de belemmering in het vluchtproces door de moeilijke opstap een negatieve invloed op het risico heeft. In dit voorbeeld leidt dit zelfs bijna tot een overschrijding van de oriëntatiewaarde.

De meest passende benadering met QRA-tunnels wordt verkregen door uit te gaan van een tunnel zonder ventilatie, met een lagere vluchtsnelheid en langere

uitstaptijd (in dit geval eigenlijk opstaptijd), en met uitsluiting van de kleinere branden (tot 50 MW, vanwege het positieve effect dat de dwarsventilatie hierop zal hebben).



Met CFD-analyses van branden in de tunnel met dwarsventilatie zou een nadere vergelijking kunnen worden gemaakt van de uitkomsten in QRA-tunnels en uitkomsten van de specifieke CFD-analyse om de bruikbaarheid van het risicoanalyse model nader te onderbouwen. Onderzoeksvragen hierbij zijn:

- Hoeveel slachtoffers worden in QRA-tunnels berekend
- Hoeveel slachtoffers worden berekend indien de specifieke CFD-resultaten worden gebruikt.
- Is op grond van deze vergelijking gebruik van QRA-tunnels gerechtvaardigd, en zo ja op welke wijze moeten de resultaten eventueel nog worden gecorrigeerd.

Bijlage A Referenties

- [1] QRA-tunnels 2.0, Achtergronddocument, RWS Dienst Infrastructuur, februari 2012, doc.nr: 4818-2012-0005
- [2] Ontwikkeling RWSQRA versie 2.0, Beschrijving totstandkomingsproces, consequentieonderzoek en validatie, RWS Dienst Infrastructuur, januari 2011, doc.nr: 4818-2011-010
- [3] Leidraad Veiligheidsdocumentatie voor Wegtunnels, RWS, Steunpunt Tunnelveiligheid, februari 2012
- [4] Handreiking Incidentkansen ten behoeve van QRA tunnels, februari 2012, Arcadis.
- [5] Wegontwerp in tunnels, Convergentie- en divergentiepunten in en nabij tunnels, versie 1.1 Definitief, 31 juli 2008, Arcadis
- [6] Spreadsheet bepaling Incidentkansen ten behoeve van QRA tunnels, februari 2012, www.rws.nl/tunnelsafety.

Bijlage B Overzicht invoervelden

Geometrie

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
L_buis		m	[80; 20000]	lengte (gesloten deel) van de tunnelbuis
L_neer		m	[0; L_buis]	lengte neergaand deel van de tunnelbuis
L_hor		m	[0; L_buis - L_neer]	lengte horizontale deel van de tunnelbuis
L_op		m	[0; L_buis]	lengte opgaand deel van de tunnelbuis
B_buis		m	[3; 30]	breedte van het wegdek (tussen opstaande randen)
L_hart		m	[30; L_buis]	hart-op-hart afstand van de vluchtdeuren
N_rij		-	[1; 6]	aantal rijstroken in de tunnelbuis
N_tot_rijstroken		-	[N_rij; 30]	Totaal aantal rijstroken in de tunnelbuizen voor verkeer van de tunnel
N_vlucht		-	[0; 2]	aantal vluchtstroken in de tunnelbuis

Voorzieningen

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
A_oper		-	ja/nee	houdt een operator (in controlekamer) toezicht op de tunnel?
A_vent		-	ja/nee	is een langsventilatiesysteem aanwezig?
A_luid		-	ja/nee	is een HF en/of luidsprekersysteem aanwezig?
A_bekl		-	ja/nee	is hittewerende bekleding aanwezig?

A_blus		-	ja/nee	zijn brandblusmiddelen aanwezig?
A_comm		-	ja/nee	is alarmering door weggebruiker mogelijk (noodtelefoon in hulppost aanwezig en/of mobiele telefonie mogelijk)?
A_snel		-	ja/nee	is een snelheidsdetectiesysteem aanwezig?
A_brand		-	zichtmeting,CO_meting,temperatuurmeting,nee	is een branddetectiesysteem aanwezig, en zo ja welk type?
H_zicht		m	[0; 1E4]	hart-op-hart afstand van zichtmeting
A_calam		-	ja/nee	beschikt de operator over een calamiteitenknop?
A_sluit		-	matrixborden,verkeerslicht,verkeerslicht_en_slagboom,nee	is het afsluiten van de tunnelbuis mogelijk?
L_afsluit		m	[0; 1E4]	de afstand tussen de plaats waar de tunnelbuis wordt afgesloten en de ingang van de tunnelbuis
A_deur		-	vergrendeld,altijd_ontgrendeld,nee	zijn er vluchtdeuren in de verkeersbuis, en zo ja, welk type?
T_vertontgr		min	[0; 5]	tijdsvertraging bij het ontgrendelen van de vluchtdeuren
K_vlucht		-	middenwand,buitewand	wand waarin de vluchtdeuren zijn aangebracht
C_autventsnel		-	ja/nee	wordt ventilatiesysteem aangestuurd door snelheidsdetectie?
C_autventbrand		-	ja/nee	wordt ventilatiesysteem aangestuurd door branddetectie?
C_autdeursnel		-	ja/nee	worden vluchtdeuren ontgrendeld bij snelheidsdetectie?
C_autdeurbrand		-	ja/nee	worden vluchtdeuren ontgrendeld bij branddetectie?
C_calvent		-	ja/nee	start ventilatie bij gebruik calamiteitenknop?
C_calsluit		-	ja/nee	wordt de verkeersbuis afgesloten bij gebruik calamiteitenknop?
C_caldeur		-	ja/nee	worden vluchtdeuren ontgrendeld bij gebruik calamiteitenknop?

C_riool		m ³ /min	[0; 15]	capaciteit van de riolering (default 4m ³ /min)
T_snelaut		min	[0; 5]	tijdsduur tussen snelheidsdetectie en automatisch opstarten

Motorvoertuigen

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
V_auto		km/uur	[30; 200]	gemiddelde snelheid van personenauto's
V_bus		km/uur	[20; 200]	gemiddelde snelheid van bussen
V_vracht		km/uur	[20; 200]	gemiddelde snelheid van vrachtauto's
N_auto		Pers/mvt	[1-10]	gemiddelde aantal inzittenden in een personenauto

Periode en Verkeersintensiteiten

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
T_spits		uur	(0; 12)	gemiddeld aantal uren 'spits' per etmaal in de tunnelbuis
T_nacht		uur	(0; 12]	gemiddeld aantal uren 'nacht' per etmaal in de tunnelbuis
T_dag		uur	(0; 24)	aantal uren per etmaal dat het 'dag' (niet spits of nacht) is
I_buis		mvt/jaar	[1E3; 1E9]	verkeersintensiteit per jaar in de tunnelbuis
I_spitsuur		mvt/uur	(0; I_max . N_rij]	gemiddelde verkeersintensiteit in de buis per spitsuur
I_nachtuur		mvt/uur	(0; I_max . N_rij]	gemiddelde verkeersintensiteit in de buis per nachtuur
I_daguur		mvt/uur	[0; 1E9]	gemiddelde verkeersintensiteit per 'daguur'

Verkeerssamenstelling

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
A_auto_s		-	[0; 1]	fractie personenauto's (of motor) tijdens de 'spits'
A_auto_d		-	[0; 1]	fractie personenauto's (of motor) tijdens de 'dag'
A_auto_n		-	[0; 1]	fractie personenauto's (of motor) tijdens de 'nacht'
A_bus_s		-	[0; 1]	fractie bussen tijdens de 'spits'
A_bus_d		-	[0; 1]	fractie bussen tijdens de 'dag'
A_bus_n		-	[0; 1]	fractie bussen tijdens de 'nacht'
A_vracht_s		-	[0; 1]	fractie vrachtauto's tijdens de 'spits'
A_vracht_d		-	[0; 1]	fractie vrachtauto's tijdens de 'dag'
A_vracht_n		-	[0; 1]	fractie vrachtauto's tijdens de 'nacht'

Gevaarlijke stoffen

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
I_expl		mvt/jaar	[0; 0,1·I_vracht]	aantal vrachtwagens geladen met explosieven (E) per jaar in de tunnelbuis
I_LF1		mvt/jaar	[0; 0,3·I_vracht]	aantal (volle) tankwagens met stofcategorie LF1 (brandbare vloeistof gevaarsklasse 1) per jaar in de tunnelbuis
I_LF2		mvt/jaar	[0; 0,3·I_vracht]	aantal (volle) tankwagens met stofcategorie LF2 (brandbare vloeistof gevaarsklasse 2) per jaar in de tunnelbuis
I_LT		mvt/jaar	[0; 0,1·I_vracht]	aantal (volle) tankwagens met toxische vloeistof (LT) per jaar in de tunnelbuis
I_GF		mvt/jaar	[0; 0,1·I_vracht]	aantal (volle) druktankwagens met brandbaar tot vloeistof verdicht gas

				(GF) per jaar in de tunnelbuis
I_GT		mvt/jaar	[0; 1E5]	aantal (volle) druktankwagens met toxisch tot vloeistof verdicht gas (GT) per jaar in de tunnelbuis

File benedenstreams

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
N_spits		1/etmaal	[0; 10]	het aantal keren (per etmaal) dat er tijdens de periode 'spits' (nagenoeg) stilstaand verkeer in de buis komt te staan
N_dag		1/etmaal	[0; 10]	het aantal keren (per etmaal) dat er tijdens de periode 'dag' (nagenoeg) stilstaand verkeer in de buis komt te staan
N_nacht		1/etmaal	[0; 10]	het aantal keren (per etmaal) dat er tijdens de periode 'nacht' (nagenoeg) stilstaand verkeer in de buis komt te staan
T_filemax		min	(0; 60]	maximale tijdsduur voor de opbouw van een benedenstroomse file in de tunnelbuis
N_filerij		-	[1; N_rij]	aantal rijstroken waarover een benedenstroomse file zich kan opbouwen in de tunnelbuis

Incidentkans

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
F_pech_neer		1/mvtkm	[1E-7; 1E-4]	kans op pech op neergaande deel
F_pech_hor		1/mvtkm	[1E-7; 1E-4]	kans op pech op horizontale deel
F_pech_op		1/mvtkm	[1E-7; 1E-4]	kans op pech op opgaande deel
F_UMS_neer		1/mvtkm	[1E-8; 1E-4]	kans op UMS ongeval op

				neergaande deel
F_UMS_hor		1/mvtkm	[1E-8; 1E-4]	kans op UMS ongeval op horizontale deel
F_UMS_op		1/mvtkm	[1E-8; 1E-4]	kans op UMS ongeval op opgaande deel
F_letsel_neer		1/mvtkm	[1E-9; 1E-5]	kans op letselongeval op neergaande deel
F_letsel_hor		1/mvtkm	[1E-9; 1E-5]	kans op letselongeval op horizontale deel
F_letsel_op		1/mvtkm	[1E-9; 1E-5]	kans op letselongeval op opgaande deel
F_brand_auto		1/mvtkm	[1E-9; 1E-6]	kans op brand van personenauto's
F_brand_bus		1/mvtkm	[1E-9; 1E-6]	kans op brand van bussen
F_brand_vracht		1/mvtkm	[1E-9; 1E-6]	kans op brand van vrachtauto's

Bijlage C Overzicht defaultwaarden

Defaultwaarden uitstroming

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
P_uit_atm	0.076	-	[0; 1]	vervolgkans op uitstroming >100 kg uit een atmosferische tankwagen (vloeistof) gegeven een letselongeval
P_uit_druk	0.039	-	[0; 1]	vervolgkans op uitstroming >100 kg uit een druktankwagen (tot vloeistof verdicht gas) gegeven een letselongeval
P_Linst_smal	0.01	-	[0; 1]	P_Linst bij een smalle tunnel (N_rij + N_vlucht <= 2)
P_Linst_breed	0.02	-	[0; 1]	P_Linst bij een brede tunnel (N_rij + N_vlucht > 2)
P_Ginst	0.105	-	[0; 1]	vervolgkans op een instantane uitstroming van een tot vloeistof verdicht gas gegeven een uitstroming > 100 kg
P_Gcont	0.195	-	[0; 1]	vervolgkans op een continue uitstroming van een tot vloeistof verdicht gas gegeven een uitstroming > 100 kg
P_achter	0.6	-	[0; 1]	vervolgkans op een naar achter gerichte uitstroming bij een continue of 'niet relevante' uitstroming van gas
P_warm	0.7	-	[0; 1]	vervolgkans op warme BLEVE gegeven instantane uitstroming van gas
L_hor_i_LF	60	m	[0; 500]	plaslengte brandende plas LF op horizontale deel bij instantane uitstroming
L_hel_i_LF	80	m	[0; 500]	plaslengte brandende plas LF op hellende deel bij instantane uitstroming
L_hor_g_LF	26	m	[0; 100]	plaslengte brandende plas LF op

				horizontale deel bij grote uitstroming
L_hel_g_LF	40	m	[0; 100]	plaslengte brandende plas LF op hellende deel bij grote uitstroming
L_hor_k_LF	16	m	[0; 100]	plaslengte brandende plas LF op horizontale deel bij kleine uitstroming
L_hel_k_LF	12	m	[0; 100]	plaslengte brandende plas LF op hellende deel bij kleine uitstroming
L_hor_i_LT	260	m	[0; 2000]	plaslengte LT op horizontale deel bij instantane uitstroming
L_hel_i_LT	500	m	[0; 2000]	plaslengte LT op hellende deel bij instantane uitstroming
L_hor_g_LT	12	m	[0; 100]	plaslengte LT op horizontale deel bij grote uitstroming
L_hel_g_LT	30	m	[0; 100]	plaslengte LT op hellende deel bij grote uitstroming
L_hor_k_LT	2	m	[0; 100]	plaslengte LT op horizontale deel bij kleine uitstroming
L_hel_k_LT	20	m	[0; 100]	plaslengte LT op hellende deel bij kleine uitstroming
L_expl_tm_gas	150	m	[0; 300]	Lengte van het schadegebied buiten de tunnel bij een gaswolkexplosie of BLEVE
Le_tm_explosief	40	m	[0; 300]	Lengte van het schadegebied buiten de tunnel bij een explosie van vaste explosieven
L_fakkel	60	m	[0; 100]	Lengte van de fakkel bij grote (continue) uitstroming brandbaar gas
L_fakkelklein	15	m	[0; 100]	Lengte van de fakkel bij kleine (continue) uitstroming brandbaar gas

Defaultwaarden ontsteking

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
p_ont_dir_LF	0.1	-	[0; 1]	kans op directe ontsteking brandbare vloeistof
p_ont_vert_LF	0.1	-	[0; 1 - p_ont_dir_LF]	kans op vertraagde ontsteking brandbare vloeistof
p_odLF_in_file	0.9	-	[0; 1]	kans op directe ontsteking brandbare vloeistof bij instantane uitstroming in een file
p_ovLF_in_file	0.1	-	[0; 1]	kans op vertraagde ontsteking brandbare vloeistof bij instantane uitstroming in een file
p_ont_dir_GF	0.8	-	[0; 1]	kans op directe ontsteking brandbaar gas
p_ont_vert_GF	0.2	-	[0; 1]	kans op vertraagde ontsteking brandbaar gas
t_warme_BLEVE	20	-	[0; 60]	tijdstip waarop warme BLEVE optreedt
t_vert_ont	2	-	[0; 60]	tijdstip waarop vertraagde ontsteking gassen plaats vindt

Defaultwaarden kans op blussen

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
P_blus_auto	0.25	-	[0; 1]	kans op blussen van een langzame (pech) brand met een personenauto
P_blus_vracht	0.1	-	[0; 1]	kans op blussen van een langzame (pech) brand met een vrachtauto of bus
P_b_snel_auto	0	-	[0; 1]	kans op blussen van een snelle (letsel) brand met een personenauto
P_b_snel_vracht	0	-	[0; 1]	kans op blussen van een snelle (letsel) brand met een vrachtauto of bus
P_b_snel_LF	0	-	[0; 1]	kans op blussen van een brand met brandbare vloeistoffen
P_b_snel_GF	0	-	[0; 1]	kans op blussen van een brand met brandbare gassen

Defaultwaarden brandgrootte

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
A_brb	0.5	-	[0; 1]	fractie van de vrachtauto's (niet geladen met explosieven en geen tankwagens met gevaarlijke stoffen) met een brandbare lading
p_verd_snel	0.1	-	[0; 1]	fractie voertuigbranden dat erg snel ontwikkelt
t_uitvtg_snel	0	-	[0; 2]	tijdstip waarop snelle brand buiten voertuig treedt
t_uitvtg_langzaam	5	-	[0; 10]	tijdstip waarop langzame brand buiten voertuig treedt
P_50	0.6	-	[0; 1]	vervolgkans op een 50 MW brand bij een met brandbare goederen geladen vrachtauto
P_over_auto	0.1	-	[0; 1]	vervolgkans op brandoverslag vanaf een personenauto bij een letselongeval met brand

P_over_bus	0.3	-	[0; 1]	vervolgkans op brandoverslag vanaf een bus of een lege, of met niet brandbare goederen geladen vrachtauto bij een letselongeval met brand
P_over_vracht	0.5	-	[0; 1]	vervolgkans op brandoverslag vanaf een met brandbare goederen geladen vrachtauto bij een letselongeval met brand

Defaultwaarden Detectie

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
P_f_snel	0.001	-	[0; 1]	faalkans van het snelheidsdetectiesysteem
P_f_autom	0.001	-	[0; 1]	faalkans van het automatisch opstarten
P_f_weg	0.1	-	[0; 1]	faalkans van melding door weggebruiker
P_f_zicht	0.05	-	[0; 1]	faalkans van zichtmeting
P_f_temp	0.05	-	[0; 1]	faalkans van temperatuurmeting
P_f_CO	0.01	-	[0; 1]	faalkans van CO-meting
v_rookfile	0.5	m/s	[0; 5]	snelheid rookverspreiding bij file tbv. detectie
v_rookgeenfile	2	m/s	[0; 5]	snelheid rookverspreiding zonder file tbv. detectie
td_co	3	min	[0; 10]	tijdsduur tot CO-detectie vanaf moment dat brand uit voertuig treedt
td_temp	2	min	[0; 10]	tijdsduur tot temperatuurdetectie vanaf moment dat brand uit voertuig treedt
T_snel	0.5	min	[0; 5]	tijdsduur tot snelheidsdetectie plaatsvindt
T_meld	5	min	[1; 10]	tijdsduur tot melding door weggebruiker plaatsvindt
P_f_vert	0.1	-	[0; 1]	faalkans van vertraagde detectie door operator

Default Faalkansen voorzieningen

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
P_f_vent	0.02	-	[0; 1]	faalkans van het ventilatiesysteem
P_f_ontgr	0.001	-	[0; 1]	faalkans van ontgrendelen (alle) vluchtdeuren
P_f_sluit	0.001	-	[0; 1]	faalkans van het afsluiten van de tunnelbuis
T_sluit	1	min	[1; 60]	tijdsduur tot het daadwerkelijk afsluiten van de tunnelbuis na opstartsignaal
T_sluit_matrix	5	min	[1; 60]	tijdsduur tot het daadwerkelijk afsluiten van de tunnelbuis (dmv matrixborden) na opstartsignaal
T_sluit_vrk_licht	3	min	[1; 60]	tijdsduur tot het daadwerkelijk afsluiten van de tunnelbuis (dmv verkeerslicht) na opstartsignaal
T_sluit_slagboom	1	min	[1; 60]	tijdsduur tot het daadwerkelijk afsluiten van de tunnelbuis (dmv verkeerslicht en slagboom) na opstartsignaal
T_sluit_nee	60	min	[1; 60]	tijdsduur tot het daadwerkelijk afsluiten van de tunnelbuis (overig) na opstartsignaal

Defaultwaarden actie operator

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
P_f_oper	0.1	-	[0; 1]	kans dat de operator geen (adequate) actie neemt na een detectie
P_reset	0.1	-	[0; 1]	kans dat operator ten onrechte automatisch opstarten onderbreekt na snelheidsdetectie
p_fo_cal_brand	0.1	-	[0; 1]	kans dat de operator de calamiteitenknop niet gebruikt bij een snelle brand

p_fo_cal	0.3	-	[0; 1]	kans dat de operator de calamiteitenknop niet gebruikt in overige gevallen
p_fo_ontgr	0.5	-	[0; 1]	kans dat de operator de vluchtdeuren niet ontgrendeld
T_cal	0.5	min	[0; 5]	benodigde tijd om voorzieningen met de calamiteitenknop te starten
T_hand	0.5	min	[0; 5]	extra benodigde tijd (ten opzichte van het gebruik van de calamiteitenknop) om voorzieningen handmatig te starten
t_vert_file	10	min	[0; 60]	tijdsduur totdat operator ernstig incident alsnog (na falen overige detectie) ontdekt bij een file
t_vert_geenfile	15	min	[0; 60]	tijdsduur totdat operator ernstig incident alsnog (na falen overige detectie) ontdekt als er geen file is

Defaultwaarden slachtoffers

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
N_dir	0.036	pers/ongeval	(0; 1]	gemiddeld aantal doden per letselongeval
N_gew	1.164	pers/ongeval	(0; 5]	gemiddeld aantal gewonden per letselongeval
P_bekneld	0.1	-	[0; 1]	kans voor de gewonden bij een letselongeval om bekneld of zwaar gewond te raken
P_extra	1	-	[0; 1]	(extra) kans voor de beknelden en zwaar gewonden om te overlijden bij een letselongeval met brand

Defaultwaarden vluchtsnelheid

Naam	Waarde	Eenheid	Domein	Omschrijving
V_vlucht	66	m/min	(0; 250]	gemiddelde vluchtsnelheid zonder rook
V_vluchtrook	18	m/min	[0; 250]	gemiddelde vluchtsnelheid in rook
T_uitstap	0.2	min	[0; 10]	gemiddelde uitstaptijd van inzittenden uit een voertuig
T_duur_instructie	0.5	min	[0; 10]	benodigde tijd voor het omroepen van de evacuatie-instructies
maxFIDrook	0.3	-	[0; 1]	FIDwaarde van rookgassen waarbij onvermogen tot vluchten optreedt
maxdosistemp	0.3	-	[0; 1]	temperatuurdosis waarbij onvermogen tot vluchten optreedt

Bijlage D Handreiking Incidentkansen

In deze bijlage wordt een handreiking gegeven voor de invoer van de letselongevalsfrequentie.

Voor bestaande tunnels kan gekozen worden tussen de werkelijke slachtofferongevalskans of de slachtofferongevalskans op basis van een modelmatige inschatting (zoals hier verder toegelicht in deze handreiking). De keuze hierin is afhankelijk van de betrouwbaarheid van de werkelijke slachtofferongevalskans. De werkelijke slachtofferongevalskans wordt als betrouwbaar geclassificeerd als zowel de *verkeersprestatie* als het aantal *slachtofferongevallen* representatief zijn voor de jaren waarover de slachtofferongevalskans wordt bepaald. De verwachting is dat de verkeersprestatie altijd representatief is voor de betreffende tunnel, mits deze over tenminste één jaar wordt berekend en er geen versturende factoren zijn zoals werk in uitvoering. Het aantal slachtofferongevallen wordt als betrouwbaar geclassificeerd als dit aantal over de jaren waarover de ongevalskans bepaald wordt, stabiel is. Bij grote jaarlijkse verschillen in het aantal slachtofferongevallen, is het advies gebruik te maken van de hieronder geschetste modelmatige inschatting.

Deze inschatting is gebaseerd op een onderzoek waarin met behulp van casuïstiek en expert judgement zijn de kansen en factoren bepaald [4]. Er zijn echter altijd situaties mogelijk waarin van de standaard waardes moet worden afgeweken. De verantwoordelijkheid voor de uiteindelijke keuze van de waardes ligt bij de gebruiker van het model (de risicoanalist).

In de paragrafen hieronder wordt voor een aantal wegontwerp-elementen de invloed op de ongevalskans gegeven. Hierbij wordt een correctiefactor ten opzichte van "basis"tunnel gegeven. Voor deze "basis"tunnel is uitgegaan van een tunnel met een ontwerpsnelheid van 100 km/uur. Daar waar er bij een afwijkende ontwerpsnelheid significant andere effecten optreden ten aanzien van verkeersveiligheid, is een onderscheid aangebracht.

In [4] is bepaald dat de gemiddelde letsel-ongevalsfrequentie in Nederlandse wegtunnels $0,5 \cdot 10^{-7}$ per voertuigkilometer. De beschouwde tunnels betroffen alleen tunnels in het rijkswegennet. Als invoerwaarde voor de letsel-ongevalsfrequentie kan deze gemiddelde letsel-ongevalsfrequentie worden genomen, vermenigvuldigd met de verschillende correctiefactoren t.g.v. de wegontwerp-elementen. Voor het berekeningen van de totale correctiefactor is een spreadsheet beschikbaar [6].

D.1 Aantal rijstroken

In tabel D.1 zijn de ongevalsfactoren voor de verschillende aantallen rijstroken (per tunnelbuis) weergegeven.

Tabel D.1

Aantal rijstroken

Aantal rijstroken	
1	75%
2	100%
3	110%
4	115%

Toelichting:

- Als basis is een tunnelbuis genomen met twee rijstroken; dit is de meest voorkomende variant.
- Bij een groter aantal rijstroken, zijn er meer rijstrookwisselingen. Dit leidt tot meer (potentiële) conflicten en dus tot een grotere ongevalskans. Omdat elke toegevoegde rijstrook procentueel gezien een kleinere toename vormt, neemt de toename van de ongevalsfactor af bij elke extra rijstrook.

D.2 Aanwezigheid vluchtstrook

In tabel D.2 zijn de ongevalsfactoren voor het al dan niet aanwezig zijn van een vluchtstrook opgenomen.

Tabel D.2

Aanwezigheid vluchtstrook

Aanwezigheid vluchtstrook	
Geen vluchtstrook	100%
Wel vluchtstrook	85%

Toelichting:

- Als basis is een tunnelbuis genomen zonder vluchtstrook; het beleid is om geen vluchtstroken in tunnels toe te passen (tenzij er een ruimtereservering noodzakelijk is voor een later aan te brengen extra rijstrook).
- Indien er geen vluchtstrook is, dan is er (aan de rechterzijde) een redresseerstrook van 1,0m aanwezig.
- Is er wel een vluchtstrook aanwezig, dan bedraagt de (minimale) breedte van de vluchtstrook tenminste 3,15m (de minimale waarde uit de NOA). Wordt er een smallere vluchtstrook toegepast, dan dient de ongevalsfactor opgehoogd te worden. Indien de vluchtstrook smaller is, zal de ongevalsfactor geschat moeten worden (zie ook D.6).

D.3 Tunnellengte

In tabel D.3 zijn de ongevalsfactoren als functie van de lengte van de tunnel weergegeven.

Tabel D.3

Tunnellengte

Tunnellengte (zinktunnels)	
$L < 250\text{m}$	150%
$250 \leq L \leq 5.000\text{m}$	100%
$L > 5.000\text{m}$	125%

Toelichting:

- De referentie is een tunnel met een lengte tussen de 250m en 5.000m. Vrijwel alle voorkomende tunnels in Nederland vallen in deze categorie. Het risico binnen deze categorie (als functie van de lengte) wordt constant verondersteld.
- In tabel D.3 is uitgegaan van een zinktunnel, waarbij in QRA-TUNNELS de tunnel wordt opgedeeld in 3 secties: neergaande (begin), horizontale (midden) en opgaande (einde) deel.
- De veiligheidsniveaus in deze sectie verschillen van elkaar: het begin is onveilig dan het middengedeelte. De eindsectie is weer onveilig dan het middengedeelte maar veiliger dan eerste gedeelte. Voor het eerste deel van de tunnel (ca. 250m) moet een ongevalsfactor van 150% worden genomen.
- De ingang van de tunnel is het meest onveilig, omdat bestuurders te maken krijgen met een sterk veranderend wegbeeld en de overgang van licht naar donker. Het middelste gedeelte is het meest veilig omdat er een continue wegbeeld is. Na 5 km kunnen bestuurders negatieve effecten ondervinden als gevolg van monotonie: bestuurders worden als het ware in slaap gesust als gevolg van gebrek aan externe prikkels door een afwisselend wegbeeld.
- In het geval van een landtunnel, is er maar één sectie. Bij landtunnels kan de ongevalsfactor met de volgende formule worden bepaald:

$$L < 250\text{m}: p = 150\%$$

$$250\text{m} \leq L \leq 5.000\text{m}: p = \frac{0,25 * 150\% + (L - 0,25) * 100\%}{L}$$

$$L > 5.000\text{m}: p = \frac{0,25 * 150\% + 4,75 * 100\% + (L - 5) * 125\%}{L}$$

Met:

P = ongevalsfactor landtunnel

L = lengte tunnel in km

D.4 Rijstrookbreedte

In tabel 4.4 zijn de ongevalsfactoren voor verschillende rijstrookbreedtes weergegeven.

Tabel D.4

Rijstrookbreedte

Rijstrookbreedte	
$3,0\text{m} \leq b_{\text{rijstrook}} < 3,25\text{m}$	150%
$3,25 \leq b_{\text{rijstrook}} < 3,50\text{m}$	125%
$b_{\text{rijstrook}} = 3,50\text{m}$	100%

Toelichting:

- De breedte van een rijstrook is gedefinieerd als de afstand tussen de binnenkant van de kantstreep en het hart van de deelstreep (of tussen het hart van twee deelstrepen).
- Bij het effect van de rijstrookbreedte op de ongevalskans is geen onderscheid gemaakt in de ontwerpsnelheid (100 of 120 km/uur). In principe geldt dit alleen voor rijstroken waarbij een vrachtauto het maatgevende voertuig is (rijbaan met twee rijstroken).
- Uitgangspunt bij deze waardes is een dwarsprofiel met rijstroken die even breed zijn. Bij een dwarsprofiel met een variabele rijstrookbreedte, dient een gemiddelde ongevalsfactor bepaald te worden.
- Het effect van de rijstrookbreedte op de ongevalskans wordt lineair verondersteld (in de literatuur zijn hierover geen conclusies te vinden).

D.5 Breedte redresseerstrook

In tabel D.5 zijn de ongevalsfactoren voor verschillende redresseerstrookbreedtes weergegeven.

Tabel D.5

Redresseerstrookbreedte

Redresseerstrookbreedte	
$b_{\text{redresseer}} < 0,40\text{m}$	150%
$0,40 \leq b_{\text{redresseer}} < 0,60\text{m}$	130%
$0,60 \leq b_{\text{redresseer}} < 0,80\text{m}$	115%
$0,80 \leq b_{\text{redresseer}} < 1,0\text{m}$	105%
$b_{\text{redresseer}} = 1,0\text{m}$	100%
$1,0 < b_{\text{redresseer}} \leq 1,50\text{m}$	95%

Toelichting:

- De redresseerstrookbreedte is de afstand tussen de binnenkant kantstreep en kant asfalt.
- Er is geen onderscheid gemaakt tussen een ontwerpsnelheid van 100 en 120 km/uur.
- Uitgegaan is van een symmetrisch dwarsprofiel met dezelfde redresseerstrookbreedtes aan de linker- en de rechterzijde (een tunnel zonder vluchtstrook). Is er wel een vluchtstrook toegepast, zie dan 4.3 'aanwezigheid vluchtstrook'.
- Er wordt een kwadratisch verband tussen de breedte van de redresseerstrook en de ongevalskans verondersteld.

D.6 Ligging convergentie- en divergentiepunten

In tabel D.6 zijn de ongevalsfactoren voor de ligging van convergentie- en divergentiepunten weergegeven.

Tabel D.6

Ligging divergentie- en convergentiepunten

Ligging convergentie- en divergentiepunten	
$L \geq 2 * L_{\text{min}}$	100%
$2 * L_{\text{min}} > L > L_{\text{min}}$	105%
$L = L_{\text{min}}$	115%
$0,5 * L_{\text{min}} < L < L_{\text{min}}$	130%

Toelichting:

- Uitgangspunt voor de ligging van convergentie- en divergentiepunten, is de minimale afstand tussen de tunnelingang- of uitgang en een convergentie- of divergentiepunt (L_{\min}). De minimale afstanden zijn gebaseerd op het onderzoek 'Wegontwerp in tunnels, convergentie- en divergentiepunten in en nabij tunnels'.
- De minimale afstand is afhankelijk van het type convergentie- en divergentiepunt (invoeger, uitvoeger, splitsing, samenvoeger, afstreping) en de ligging ten opzichte van de tunnelingang en -uitgang. In onderstaande tabel zijn de minimale afstanden opgenomen.

Type	Locatie	120 km/u	100 km/u	80 km/u	Meetpunten
Uitvoeger	Voor de tunnel	275 (400)	230 (335)	185 (265)	Puntstuk – tunnelingang
	In de tunnel, t.o.v. tunnelingang	585	465	355	Tunnelingang – puntstuk
	In de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	230	170	125	Puntstuk – tunneluitgang
	Na de tunnel	480	390	300	Tunneluitgang – puntstuk
Splitsing	Voor de tunnel	275 (400)	230 (335)	185 (265)	Puntstuk – tunnelingang
	In de tunnel, t.o.v. tunnelingang	900	750	600	Tunnelingang – puntstuk1
	In de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	230	170	125	Puntstuk – tunneluitgang
	Na de tunnel	900	750	600	Tunneluitgang – puntstuk1
Invoeger	Voor de tunnel	575 (750)	480 (625)	385 (500)	Puntstuk – tunnelingang
	In de tunnel, t.o.v. tunnelingang	210	150	105	Tunnelingang – puntstuk
	In de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	605	485	375	Puntstuk – tunneluitgang
	Na de tunnel	180	140	100	Tunneluitgang – puntstuk
Samenvoeger	Voor de tunnel	375	315	250	Puntstuk – tunnelingang
	In de tunnel, t.o.v. tunnelingang	210	150	105	Tunnelingang – puntstuk
	In de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	375	315	250	Puntstuk – tunneluitgang
	Na de tunnel	180	140	100	Tunneluitgang – puntstuk
Afstreping	Voor de tunnel	400	335	265	Einde rijstrook - tunnelingang
	In de tunnel, t.o.v. tunnelingang	-	-	-	-
	In de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	-	-	-	-
	Na de tunnel	295	230	180	Tunneluitgang – einde rijstr.
Weefvak	Voor de tunnel	390	325	260	Puntstuk – tunnelingang
	In de tunnel, t.o.v. tunnelingang	210	150	105	Tunnelingang – puntstuk
	In de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	230	170	125	Puntstuk – tunneluitgang
	Na de tunnel	180	140	100	Tunneluitgang - puntstuk
Extra rijstrook	Voor de tunnel	200 (400)	165 (335)	135 (265)	Begin extra str. – tunneling.
	In de tunnel, t.o.v. tunnelingang	-	-	-	-
	In de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	-	-	-	-
	Na de tunnel	105	75	55	Tunneluitg. – begin extra str.

- De minimale afstand tussen een tunnelingang of -uitgang en een convergentie- of divergentiepunt is gelijk aan de som van de helft van beide invloedsafstanden. Op de helft van beide invloedsafstanden wordt het risico acceptabel geacht.
- De referentie is een situatie waarin een convergentie- of divergentiepunt op tenminste twee maal de minimale afstand voor of na de tunnel ligt.
- Naarmate het convergentie- of divergentiepunt dichterbij ligt, neemt de ongevalsfactor kwadratisch toe (met een grenswaarde).
- Uitgegaan is van situaties waarin het convergentie- of divergentiepunt stroomafwaarts van de tunnel niet voor terugslag van een file tot in de tunnel zorgt. Indien dit wel het geval is, dient er een extra ongevalsfactor te worden toegepast (zie volgende paragraaf).

D.7 Fileterugslag in de tunnel

Indien er sprake is van een benedenstroomse file die terugslaat tot in de tunnel, dan moet er met een extra toeslagfactor op de ongevalsfrequentie gerekend worden. Hierbij wordt voor een file de definitie gehanteerd zoals die in paragraaf 3.7 van het achtergronddocument van het QRA-tunnels is opgenomen. Het gaat hierbij om (nagenoeg) stilstaand verkeer.

Met behulp van de onderstaande formules kan de ongevalsfactor voor de terugslag van een benedenstroomse file worden berekend:

$$p = 10 * N_{\text{terugslag}} / I_{\text{buis}} + (I_{\text{buis}} - N_{\text{terugslag}}) / I_{\text{buis}}$$

$$N_{\text{terugslag}} = N_{\text{spits}} * T_{\text{filemax}} * (I_{\text{spitsuur}} / 60) * 365$$

met:

P	toeslagfactor op de ongevalsfrequenties ten gevolge van fileterugslag
$N_{\text{terugslag}}$	Aantal voertuigen dat te maken krijgt met fileterugslag per jaar
I_{buis}	verkeersintensiteit per jaar in de tunnelbuis
N_{spits}	aantal keren (per etmaal) dat er tijdens de periode 'spits' (nagenoeg) stilstaand verkeer in de buis komt te staan.
T_{filemax}	maximale tijdsduur voor de opbouw van een benedenstroomse file in de tunnel (0-60 min)
I_{spitsuur}	gemiddelde verkeersintensiteit in de buis per spitsuur

- Hierbij is alleen de file terugslag in de spitsperiode als gevolg van een structurele bottleneck stroomafwaarts van de tunnel beschouwd. Eventuele fileterugslag in de dag of nachtperiode is in deze formule niet meegenomen.

D.8 Helling

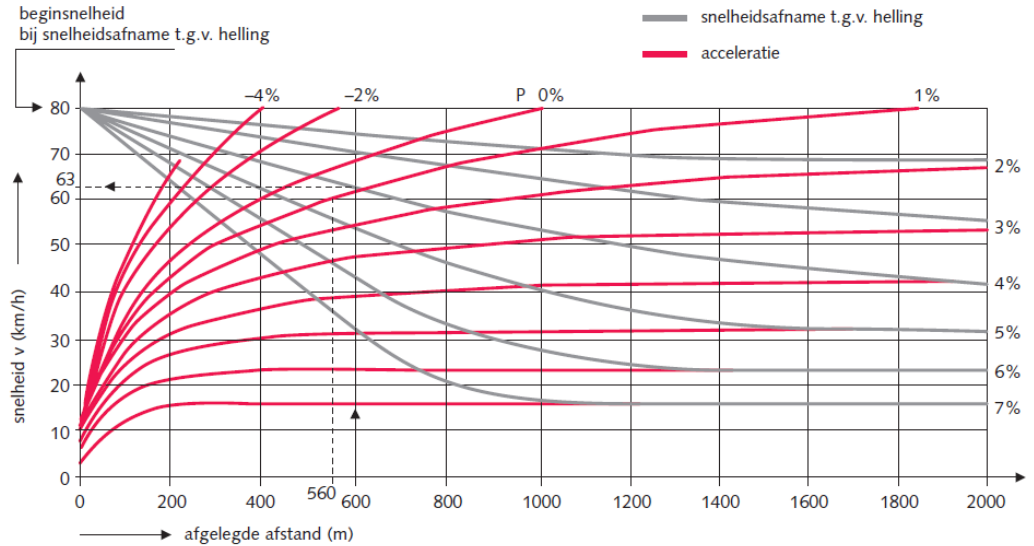
In tabel D.7 zijn de ongevalsfactoren voor de helling weergegeven.

Tabel D.7
Helling

Opgaande helling		Neergaande helling	
$0 < \Delta v \leq 5 \text{ km/u}$	100%	1%	100%
$5 < \Delta v \leq 10 \text{ km/u}$	102%	2%	101%
$10 < \Delta v \leq 15 \text{ km/u}$	105%	3%	103%
$15 < \Delta v \leq 20 \text{ km/u}$	110%	4%	105%
$> 20 \text{ km/u}$	120%	5%	110%

Toelichting:

- Voor de opgaande helling is in plaats van het hellingspercentage, als indicator het snelheidsverval van vrachtauto's op (opgaande) hellingen genomen. Het snelheidsverschil met personenauto's is bepalend voor het effect van een helling op de verkeersveiligheid.
- Het snelheidsverval (opgaande helling) is globaal te bepalen aan de hand van grafiek uit de NOA (zie onderstaande figuur) of met simulatiepakket SimVra+ (zie toelichting [4]).



Figuur 7-15
Snelheden en snelheidsveranderingen van vrachtwagens
bij verschillende hellingspercentages van de verticale rechtstand

- Ook de neergaande helling heeft een effect op de ongevalskans; vooral het scharen van gelede voertuigen speelt hierbij een rol (als gevolg van een toename van de snelheid). Voor de neergaande helling dient het gemiddelde hellingspercentage genomen te worden.
- Verondersteld is dat het effect niet lineair is, maar exponentieel.

D.9 Horizontale boog

Het effect van de horizontale boog op de ongevalsfactoren is opgenomen in tabel D.8.

Tabel D.8
Horizontale boog

Horizontale boog	
Rechtstand	100%
$R_h \geq 3.000m$	95%
$1.000m \leq R_h < 3.000m$	105%
$R_h < 1.000m$	120%

Toelichting:

- Als referentie is een tunnel genomen die in een horizontale rechtstand is gelegen. Vanwege het betere zicht op voorliggers, is bij een ruime horizontale boog uitgegaan van een (licht) positief effect op de ongevalskans. Bij krappe horizontale bogen neemt de ongevalskans toe.
- De waarden gelden bij één horizontale boog (een continue snelheid) in een tunnel. Bij meerdere bogen in een tunnel, dient uitgegaan te worden van de meest krappe boog (het gecombineerd effect van meerdere horizontale bogen wordt buiten beschouwing gelaten).
- Het uitgangspunt bij de ongevalsfactoren zijn horizontale bogen zonder zichtbeperkingen (zichtafstanden die voldoen aan de richtlijnen).

D.10 Verticale boog

Het effect van de verticale boog op de ongevalsfactoren is opgenomen in tabel 4.9.

Tabel D.9

Verticale boog

$V_0 = 100 \text{ km/uur}$		$V_0 = 120 \text{ km/uur}$	
$R_v > 6.500\text{m}$	95%	$R_v > 12.400\text{m}$	95%
$R_v = 6.500\text{m}$	100%	$R_v = 12.400\text{m}$	100%
$R_v < 6.500\text{m}$	120%	$R_v < 12.400\text{m}$	120%

Toelichting:

- Als referentie is een topboog genomen met een boogstraal die gelijk is aan de minimale waarde volgens de NOA. Dit is de minimale waarde uitgaande van standaard perceptiereactietijden. Bij deze boogstraal treden net geen zichtbeperkingen op. Omdat de zichtafstanden sterk afhankelijk zijn van de ontwerpsnelheden, is er onderscheid gemaakt in 100 en 120 km/uur.
- Indien de topboog volledig buiten de tunnel ligt (en dat is meestal zo), dan is er geen effect in de tunnel; onafhankelijk van de boogstraal kan dan met een waarde van 100% worden gerekend.
- Het effect van de voetboog op de verkeersveiligheid is zeer beperkt: de boogstraal van de voetboog heeft vooral invloed op het comfort. Daarom is de voetboog niet nader beschouwd. Uitgangspunt is dat het tunneldak het zicht op voorliggers en de signalering niet beperkt.

D.11 Maximumsnelheid

In tabel D.10 is het effect van de maximumsnelheid op de ongevalsfactoren weergegeven.

Tabel D.10

Maximumsnelheid

Maximumsnelheid	
70 km/uur	49%
80 km/uur	64%
100 km/uur	100%
120 km/uur	144%

Toelichting:

- Als referentie wordt uitgegaan van een tunnel met een maximumsnelheid van 100 km/uur; deze maximumsnelheid komt in de praktijk het meeste voor.
- Bij het bepalen van het effect van de snelheid op de ongevalskans, is uitgegaan van de zogenaamde 'formules van Nilsson' met daarbij de coëfficiënten van Elvik. In dit geval wordt de formule gebruikt die het verband legt tussen snelheid en het aantal slachtofferongevallen:

$$y_1 = \left(\frac{v_1}{v_0} \right)^2 y_0$$

Met:

y_0 = aantal slachtofferongevallen in voorsituatie

y_1 = aantal slachtofferongevallen in nasituatie

v_0 = snelheid in voorsituatie

v_1 = snelheid in nasituatie

- De genoemde ongevalsfactoren zijn gebaseerd op situaties waarin de maximumsnelheid afgestemd is op de ontwerpsnelheid. Indien dit niet zo is, bijvoorbeeld een maximumsnelheid op een weg met een ontwerpsnelheid van 120 km/uur, dan kunnen de effecten afwijken:

V_o	V_{max}	Effect
120 km/uur	100 km/uur	Bestuurders (een gedeelte daarvan) zullen geneigd zijn harder te rijden dan de maximumsnelheid, omdat het ontwerp hiertoe 'uitnodigt'. Advies: ga uit van het gemiddelde van de waardes voor 100 en 120 km/uur.
100 km/uur	120 km/uur	Het ontwerp is te krap voor een maximumsnelheid van 120 km/uur. Dit is een erg onwenselijke en gevaarlijke situatie. Advies: neem de waarde die hoort bij 120 km/uur.

D.12 Intensiteit - capaciteit verhouding

In tabel D.11 is het effect van de I/C-verhouding op de ongevalsfactoren weergegeven.

Tabel D.11

I/C-verhouding

Maximumsnelheid	
$I/C < 0,4$	125%
$0,4 \leq I/C < 0,7$	100%
$0,7 \leq I/C < 0,8$	110%
$I/C \geq 0,8$	125%

Toelichting:

- De I/C-verhoudingen hebben betrekking op de situatie in de maatgevende spitsperiode (ochtend- of avondspits).
- De referentie is een tunnel zonder structurele congestie: een I/C-verhouding tussen 0,4 en 0,7.
- Deze factor heeft betrekking op de I/C-verhoudingen in de tunnel. Indien er sprake is van terugslag van congestie als gevolg van een convergentie- of divergentiepunt stroomafwaarts van de tunnel, wordt dit meegenomen in de factor die beschreven is in D.7
- Tussen de I/C-verhouding en de ongevalskans wordt een U-vormig verband verondersteld. De meest veilige situatie is een verkeersstroom waarbij er wel enig verkeersaanbod is (geleiding), maar geen congestie optreedt.
- In het QRA-model kan onderscheid worden gemaakt in verschillende periodes van de dag. Per periode dient de (gemiddelde) I/C-verhouding als uitgangspunt te worden genomen.

D.13 Aandeel vrachtverkeer

In tabel D.12 is het effect van het aandeel vrachtverkeer op de ongevalsfactoren weergegeven.

Tabel D.12

Aandeel vrachtverkeer

Aandeel vrachtverkeer	
$0\% \leq \text{vracht} \leq 5\%$	90%
$5\% < \text{vracht} \leq 10\%$	95%
$10\% < \text{vracht} \leq 15\%$	100%
$15\% < \text{vracht} \leq 20\%$	105%
$\text{vracht} > 20\%$	110%

Toelichting:

- De referentie is een verkeersstroom met een aandeel vrachtverkeer tussen de 10 en de 15%. Dit is (ongeveer) het gemiddelde aandeel op de Nederlandse autosnelwegen.
- Er is een lineair verband tussen het aandeel vrachtverkeer en het ongevalsrisico verondersteld.
- In [4] zijn bevindingen uit de literatuur opgenomen met betrekking tot de relatie tussen het aandeel vrachtverkeer en het aantal (slachtoffer)ongevallen. Uit de literatuur volgt een negatief verband tussen het aandeel vrachtverkeer en het risico: naarmate het aandeel vrachtverkeer toeneemt, stijgt het risico. Deze resultaten worden echter niet bevestigd door de ongevalscijfers van 2007-2009 voor het Nederlandse autosnelwegennet: in het algemeen neemt het risico af met een toename van het aandeel vrachtverkeer. Omdat het aandeel ernstige slachtofferongevallen op het totaal aantal slachtofferongevallen wel toeneemt

met het percentage vrachtverkeer, wordt toch uitgegaan van een stijging van het risico bij een toenemend aandeel vrachtverkeer.

Bijlage E Vervoer gevaarlijke stoffen gerelateerd aan tunnelcategorieën A t/m E

Overzicht van enkele veel vervoerde stoffen die wel (linker kolom) en niet (rechter kolom) door de verschillende tunnelcategorieën mogen.

ADR categorie A - wel toegestaan

	VN	GEVI	VN naam	Totaal	%
1	1203	33	Benzine (motorbrandstof)	1989	13%
2	1202	30	Dieselolie, Gasolie, Stookolie,	1447	9%
3	1965	23	Mengsel van koolwaterstofgassen, vloeibaar gemaakt, n.e.g.	1353	9%
4	1977	22	Stikstof, sterk gekoeld, vloeibaar	1196	8%
5	3257	99	Verwarmde vloeistof, n.e.g.	861	6%
6	1824	80	Natriumhydroxide, oplossing (natronloog)	688	4%
7	3082	90	Milieugevaarlijke vloeistof, n.e.g.	662	4%
8	2187	22	Kooldioxide, sterk gekoeld, vloeibaar	551	4%
9	2055	39	Styreen monomeer, gestabiliseerd	381	2%
10	1230	336	Methanol	323	2%

ADR categorie B - niet toegestaan

	VN	GEVI	VN naam	Totaal	%
1	1965	23	Mengsel van koolwaterstofgassen, vloeibaar gemaakt, n.e.g.	1353	80%
2	1049	23	Waterstof, samengeperst	137	8%
3	1033	23	Dimethylether	50	3%
4	1055	23	Isobuteen	46	3%
5	1040	263	Ethyleenoxide (met stikstof)	24	1%
6	1966	223	Waterstof, sterk gekoeld, vloeibaar	24	1%
7	2015	559	Waterstofperoxide (oplossing in water), gestabiliseerd	22	1%
8	3394	60	Pesticide, pyrethroïde, vast, giftig	12	1%
9	1016	263	Koolmonoxide, samengeperst	9	1%
10	1077	23	Propeen (propyleen)	3	0%

ADR categorie B - wel toegestaan

	VN	GEVI	VN naam	Totaal	%
1	1203	33	Benzine (motorbrandstof)	1989	14%
2	1202	30	Dieselolie, Gasolie, Stookolie,	1447	11%
3	1977	22	Stikstof, sterk gekoeld, vloeibaar	1196	9%
4	3257	99	Verwarmde vloeistof, n.e.g.	861	6%
5	1824	80	Natriumhydroxide, oplossing (natronloog)	688	5%
6	3082	90	Milieugevaarlijke vloeistof, n.e.g.	662	5%
7	2187	22	Kooldioxide, sterk gekoeld, vloeibaar	551	4%
8	2055	39	Styreen monomeer, gestabiliseerd	381	3%
9	1230	336	Methanol	323	2%
10	1073	225	Zuurstof, sterk gekoeld, vloeibaar	286	2%

ADR categorie C - niet toegestaan

	VN	GEVI	VN naam	Totaal	%
1	1965	23	Mengsel van koolwaterstofgassen, vloeibaar gemaakt, n.e.g.	1353	33%
2	1977	22	Stikstof, sterk gekoeld, vloeibaar	1196	29%
3	2187	22	Kooldioxide, sterk gekoeld, vloeibaar	551	14%
4	1073	225	Zuurstof, sterk gekoeld, vloeibaar	286	7%
5	1951	22	Argon, sterk gekoeld, vloeibaar	192	5%
6	1049	23	Waterstof, samengeperst	137	3%
7	1033	663	Dimethylhydrazine, asymmetrisch	50	1%
8	1055	23	Isobuteen	46	1%
9	1040	263	Ethyleenoxide (met stikstof)	24	1%
10	1966	223	Waterstof, sterk gekoeld, vloeibaar	24	1%

ADR categorie C - wel toegestaan

	VN	GEVI	VN naam	Totaal	%
1	1203	33	Benzine (motorbrandstof)	1989	18%
2	1202	30	Dieselolie, Gasolie, Stookolie,	1447	13%
3	3257	99	Verwarmde vloeistof, n.e.g.	861	8%
4	1824	80	Natriumhydroxide, oplossing (natronloog)	688	6%
5	3082	90	Milieugevaarlijke vloeistof, n.e.g.	662	6%
6	2055	39	Styreen monomeer, gestabiliseerd	381	3%
7	1230	336	Methanol	323	3%
8	1789	80	Chloorwaterstofzuur (zoutzuur)	257	2%
9	2312	60	Fenol, gesmolten	249	2%
10	1993	30	Brandbare vloeistof, n.e.g.	248	2%

ADR categorie D - niet toegestaan

	VN	GEVI	VN naam	Totaal	%
1	1203	33	Benzine (motorbrandstof)	1989	16%
2	1202	30	Dieselolie, Gasolie, Stookolie,	1447	12%
3	1965	23	Mengsel van koolwaterstofgassen, vloeibaar gemaakt, n.e.g.	1353	11%
4	1977	22	Stikstof, sterk gekoeld, vloeibaar	1196	10%
5	3257	99	Verwarmde vloeistof, n.e.g.	861	7%
6	2187	22	Kooldioxide, sterk gekoeld, vloeibaar	551	5%
7	2055	39	Styreen monomeer, gestabiliseerd	381	3%
8	1230	336	Methanol	323	3%
9	1073	225	Zuurstof, sterk gekoeld, vloeibaar	286	2%
10	2312	60	Fenol, gesmolten	249	2%

ADR categorie D - wel toegestaan

	VN	GEVI	VN naam	Totaal	%
1	1824	80	Natriumhydroxide, oplossing (natronloog)	688	21%
2	3082	90	Milieugevaarlijke vloeistof, n.e.g.	662	20%
3	1789	80	Chloorwaterstofzuur (zoutzuur)	257	8%
4	2014	58	Waterstofperoxide, oplossing in water	174	5%
5	2209	80	Formaldehyde, oplossing	136	4%
6	1830	80	Zwavelzuur met meer dan 51% zuur	135	4%
7	2448	44	Zwavel, gesmolten	91	3%
8	1805	80	Fosforzuur	88	3%
9	2031	80	Salpeterzuur met ten hoogste 70% zuur	76	2%
10	3264	80	Bijtende zure anorganische vloeistof, n.e.g.	76	2%

ADR categorie E - niet toegestaan

	VN	GEVI	VN naam	Totaal	%
1	1203	33	Benzine (motorbrandstof)	1989	13%
2	1202	30	Dieselolie, Gasolie, Stookolie,	1447	9%
3	1965	23	Mengsel van koolwaterstofgassen, vloeibaar gemaakt, n.e.g.	1353	9%
4	1977	22	Stikstof, sterk gekoeld, vloeibaar	1196	8%
5	3257	99	Verwarmde vloeistof, n.e.g.	861	6%
6	1824	80	Natriumhydroxide, oplossing (natronloog)	688	4%
7	3082	90	Milieugevaarlijke vloeistof, n.e.g.	662	4%
8	2187	22	Kooldioxide, sterk gekoeld, vloeibaar	551	4%
9	2055	39	Styreen monomeer, gestabiliseerd	381	2%
10	1230	336	Methanol	323	2%

Bijlage F Overzicht takken in de gebeurtenissenboom (tbv scenariomodule en filter-optie)

Een uitgebreide toelichting per gebeurtenis is gegeven in het achtergronddocument. Hier een overzicht. Indien in de software de tak is afgekort, is de afkorting (*cursief, tussen haakjes*) toegevoegd.

No	G_ Gebeurtenis	Onderverdeling naar:
1	G_incident	type incident: <ul style="list-style-type: none"> • pech, (<i>pech</i>) • ongeval met uitsluitend materiële schade, (<i>UMS</i>) • letselongeval, (<i>letsel</i>) • geen incident. (<i>geen</i>)
2	G_periode	periode van een etmaal: <ul style="list-style-type: none"> • spits, • dag, • nacht.
3	G_fileben	file (nagenoeg stilstaand verkeer) benedenstrooms van het incident: <ul style="list-style-type: none"> • geen benedenstroomse file (<i>geen_fileben</i>) • wel een benedenstroomse file, (<i>wel_fileben</i>)
4	G_plaats	de plaats van het incident <ul style="list-style-type: none"> • in het midden van het opgaande deel, (<i>op</i>) • in het midden van het horizontale deel, (<i>horizontaal</i>) • in het midden van het neergaande deel, (<i>neer</i>) • in de file (bij een benedenstroomse file). (<i>in_file</i>)
5	G_sneldet	sneldetectie: <ul style="list-style-type: none"> • wel sneldetectie, (<i>wel_sneldet</i>) • geen sneldetectie. (<i>geen_sneldet</i>)
6	G_voertuig	het incident veroorzakende voertuig: <ul style="list-style-type: none"> • personenauto, (<i>pers</i>) • bus, (<i>bus</i>) • vrachtauto met geen of niet-brandbare lading, (<i>vageen</i>) • vrachtauto met brandbare lading, (<i>vabrb</i>) • vrachtauto met explosieven, (<i>expl</i>) • tankauto met gevaarlijke stoffen. (<i>tank</i>)
7	G_stofklasse	stofklassen voor tankauto's met gevaarlijke stoffen: <ul style="list-style-type: none"> • brandbare vloeistoffen (<i>LF</i>), • brandbare tot vloeistof verdichte gassen (<i>GF</i>), • toxische vloeistoffen (<i>LT</i>), • toxische tot vloeistof verdichte gassen (<i>GT</i>).

No	G_ Gebeurtenis	Onderverdeling naar:
8	G_uitstroming	<p>of, grootte van de uitstroming voor <i>vloeistoffen</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • (<i>Linst</i>): instantane vloeistof uitstroming, • (<i>Lcontgr</i>): grote continue vloeistof uitstroming, • (<i>Lcontkl</i>): kleine continue vloeistof uitstroming, • (<i>Lgeen</i>): geen uitstroming vloeistof of < 100 kg. <p>grootte van de uitstroming voor <i>gassen</i>:</p> <ul style="list-style-type: none"> • (<i>Gwarm</i>): instantane uitstroming tot vloeistof verdicht gas door opwarming, • (<i>Gkoud</i>): instantane uitstroming tot vloeistof verdicht gas door impact, • (<i>Gcontach</i>): continue uitstroming tot vloeistof verdicht gas naar achter, • (<i>Gcontvoor</i>): continue uitstroming tot vloeistof verdicht gas naar voor, • (<i>Gnietreltach</i>): 'niet-relevante' uitstroming tot vloeistof verdicht gas naar achter, • (<i>Gnietrelvoor</i>): 'niet-relevante' uitstroming tot vloeistof verdicht gas naar voor, • (<i>Ggeen</i>): geen uitstroming tot vloeistof verdicht gas of < 100 kg.
9	G_vtgbrand	<p>incidenten die wel of niet resulteren in een voertuigbrand (alleen als de voertuigbetrokkenheid bij een incident (3) niet gelijk is aan een tankauto):</p> <ul style="list-style-type: none"> • brand, • geblust, • geen brand.
10	G_tankbrand	<p>incidenten met uitstroming van gevaarlijke stoffen uit tankauto's die wel of niet resulteren in ontsteking van de uitgestroomde stof:</p> <ul style="list-style-type: none"> • directe ontsteking, • vertraagde ontsteking, • geen ontsteking.
11	G_brandgrootte	<p>brandgrootte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5 MW, • 10 MW, • 25 MW, • 50 MW, • 100 MW, • 200 MW.
12	G_melding	<p>melding van een incident door een weggebruiker:</p> <ul style="list-style-type: none"> • wel melding, • geen melding.
13	G_branddet	<p>branddetectie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • wel branddetectie, • geen branddetectie.
14	G_vertrdet	<p>wel of geen vertraagde detectie van een in eerste instantie niet opgemerkt ernstig incident:</p> <ul style="list-style-type: none"> • wel vertraagde detectie, (<i>wel-vertrdet</i>) • geen vertraagde detectie. (<i>geen-vertrdet</i>)
15	G_ventilatie	<p>wel of geen beschikbaarheid van de ventilatie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • wel ventilatie, • geen ventilatie.
16	G_ontgrendelen	<p>wel of niet kunnen ontgrendelen (of het ontgrendeld zijn) van de vluchtdeuren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • wel ontgrendeld, • geen ontgrendeld.

No	G_ Gebeurtenis	Onderverdeling naar:
17	G_afsluiten	wel of geen beschikbaarheid afsluiten: <ul style="list-style-type: none"> wel afsluiten, geen afsluiten.
18	G_autostart	wel of geen automatisch opstartsignaal: <ul style="list-style-type: none"> <i>(wel_autostart)</i>: wel een automatisch opstartsignaal, <i>(wel_autostart)</i> <i>(geen_autostart)</i>: geen automatisch opstartsignaal.
19	G_operator	wel of niet nemen van actie door de operator (uitgesplitst naar vier verschillende mogelijke momenten na het incident): <ul style="list-style-type: none"> <i>(CaIT1)</i>: reactie na snelste detectie (door een van de detectiesystemen) en bediening met calamiteitenknop <i>(handonT1)</i>: reactie na snelste detectie (door een van de detectiesystemen) en directe handmatige bediening door operator met directe ontgrendeling van de deuren <i>(handnoT1)</i>: reactie na snelste detectie (door een van de detectiesystemen) en directe handmatige bediening door operator zonder directe ontgrendeling van de deuren <i>(CaIT2)</i>: reactie na op een na snelste detectiesysteem en bediening met calamiteitenknop <i>(handonT2)</i>: reactie na op een na snelste detectiesysteem en directe handmatige bediening door operator met directe ontgrendeling van de deuren <i>(handnoT2)</i>: reactie na op een na snelste detectiesysteem en directe handmatige bediening door operator zonder directe ontgrendeling van de deuren <i>(CaIT3)</i>: reactie na op twee na snelste detectiesysteem en bediening met calamiteitenknop <i>(handonT3)</i>: reactie na op twee na snelste detectiesysteem en directe handmatige bediening door operator met directe ontgrendeling van de deuren <i>(handnoT3)</i>: reactie na op twee na snelste detectiesysteem reageren en directe handmatige bediening door operator zonder directe ontgrendeling van de deuren <i>(CaIT4)</i>: reactie na laatste detectiesysteem en bediening met calamiteitenknop <i>(handonT4)</i>: reactie na laatste detectiesysteem en directe handmatige bediening door operator met directe ontgrendeling van de deuren <i>(handnoT4)</i>: reactie na laatste detectiesysteem reageren en directe handmatige bediening door operator zonder directe ontgrendeling van de deuren <i>(geen_actie)</i>: operator onderneemt geen actie.
20	G_blokkade	wel of geen blokkade van een vluchtdeur <ul style="list-style-type: none"> wel blokkade, geen blokkade.