



# Tunnelveiligheid verklaard

*Verwijzingen, achtergronden en ontstaansgeschiedenis  
van het huidige tunnelveiligheidsdenken in Nederland*



# Voorwoord

Kennis over de aanleidingen, de uitgevoerde studies en de gemaakte keuzes die ten grondslag liggen aan de huidige standaarden en werkwijzen met betrekking tot tunnelveiligheid, verdwijnt in hoog tempo uit onze sector door toenemende vergrijzing van de beroepsgroep. Hierdoor is het steeds minder vanzelfsprekend dat mensen die aan tunnels werken zelf in staat zijn om de kennis inzake tunnelveiligheid en de samenhang tussen de achtergronden van aspecten die tunnelveiligheid raken, te duiden. Reden voor het Kennisplatform Tunnelveiligheid (KPT) om deze kennis te verzamelen, te ordenen en te verspreiden in een publicatie.

Dit naslagwerk legt de ontstaansgeschiedenis van het tunnelveiligheidsdenken in Nederland en de achterliggende overwegingen uit, met als doel mensen die nieuw intreden in de tunnelwereld, of mensen die op zoek zijn naar meer achtergrond, beeld en gevoel te geven bij het waarom van vigerende standaardvoorzieningen en -uitvoeringen. De publicatie richt zich vooralsnog uitsluitend op wegtunnels. In deze tweede versie (2018) zijn een aantal opmerkingen en aanvullingen op de eerste uitgave uit 2016 verwerkt.

Het KPT heeft bij het opstellen van dit naslagwerk dankbaar gebruikgemaakt van de kennis en ervaring van enkele 'oude rotten in het vak'. Met name de inbreng van Evert Worm, Jelle Hoeksma en Gerard Kooijman zijn van grote waarde gebleken. Wij danken hen hartelijk voor het delen van de herinneringen en overwegingen achter gemaakte keuzes. Daarnaast danken wij Roel Scholten voor zijn rol bij de eerste uitgave.

Ben van den Horn, Leen van Gelder en Ron Beij,  
Kennisplatform Tunnelveiligheid,  
augustus 2018



# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	<b>3</b>
<b>1 Tunnelveiligheid</b>	<b>9</b>
1.1 Introductie	9
1.2 Leeswijzer	11
<b>2 Wet- en regelgeving</b>	<b>13</b>
2.1 De EU-richtlijn	13
2.2 Nederlandse wet- en regelgeving	13
2.2.1 <i>Nederlandse wet- en regelgeving 2006</i>	13
2.2.2 <i>Herziening wet- en regelgeving in 2012 en 2013</i>	14
2.2.3 <i>Aanpassing wet- en regelgeving in 2015 op kleine punten</i>	15
2.2.4 <i>Structuur huidige wet- en regelgeving</i>	15
2.2.5 <i>Afwijkingen Nederlandse regelgeving ten opzichte van EU-richtlijn.</i>	16
2.2.6 <i>Overige normen, richtlijnen en handleidingen</i>	16
<b>3 De fysieke tunnel</b>	<b>19</b>
3.1 Verkeerskundige aspecten	19
3.2 Civiele constructie	19
3.3 Tunneltechnische systemen	20
<b>4 Voertuigen</b>	<b>23</b>
4.1 Categorie-indeling wegtunnels	23
4.2 Alternatieve brandstoffen en brandlasten voertuigen	23
<b>5 De mens (bestuurder en andere weggebruikers)</b>	<b>25</b>
5.1 Vluchten en vluchtvoorzieningen	25
5.1.1 <i>Vluchtdeuren</i>	26
5.2 Publieksvoorlichting	26
<b>6 De organisatie (calamiteiten- en beheerorganisatie)</b>	<b>29</b>
6.1 Rollen	29
6.2 Planvorming	30
<b>7 Samenhang en analyses</b>	<b>33</b>
7.1 Integrale samenhang in de wet- en regelgeving	33
7.2 Analyses	33
7.2.1 <i>Kwantitatieve risicoanalyse (QRA)</i>	33
7.2.2 <i>Scenarioanalyse</i>	34
<b>BIJLAGE A Referenties</b>	<b>37</b>
A.1 Wet- en regelgeving specifiek voor tunnelveiligheid	37
A.2 Overige relevante wet- en regelgeving	37
A.3 Richtlijnen	38
A.4 Kennisdocumenten, standaarden en leidraden	38
<b>BIJLAGE B Gestandaardiseerde uitrusting (Rarw)</b>	<b>41</b>
<b>BIJLAGE C Overzicht tunneltechnische installaties</b>	<b>45</b>
C.1 Tunneltechnische installaties in het kader van preventie	46
C.2 Tunneltechnische installaties in het kader van mitigatie	48
C.2.1 <i>Communicatiesystemen</i>	48

C.2.2	<i>Detectiesystemen</i>	50
C.2.3	<i>Overige systemen</i>	51
C.3	Tunneltechnische installaties in het kader van zelfredzaamheid	53
C.4	Ondersteuning hulpverlening	55
C.5	Nadere beschrijving tunnelverlichting	56
C.6	Nadere beschrijving ventilatie	57
	<b>Colofon</b>	<b>63</b>



### Het begin

De aandacht voor tunnelveiligheid in Nederland dateert van 1974, toen er onderzoek is gestart naar het toestaan van vervoer van gevaarlijke stoffen door tunnels en de benodigde veiligheidsvoorzieningen hiervoor. Mede naar aanleiding van een brand in de Velsertunnel (1978) heeft dit onderzoek geleid tot het besluit om hittewerende bekleding in tunnels te gaan toepassen. De eerste gestructureerde aanpak van regelgeving met betrekking tot tunnelveiligheid dateert van 1991 met de oprichting van de Werkgroep uitrusting tunnels en de daaruit voortgekomen WUT-richtlijnen. In 2004 is de WUT-richtlijn vervangen door de Veiligheidsrichtlijn constructies (VRC), inclusief bijlagedocument. Deze is in 2009 aangepast en later geharmoniseerd met wet- en regelgeving.

In 1999 is (door de ministeries Binnenlandse Zaken en Verkeer en Waterstaat) het project Maatschappelijk aanvaardbaar veiligheidsniveau voor infrastructuur en transport (MAVIT) opgestart, met als doelstellingen:

- Het stimuleren van aandacht voor veiligheid in het gehele proces van besluitvorming rond keuze, aanleg en beheer van tunnels.
- Het aanreiken van een algemene, landelijke systematiek waarmee voor elke tunnel afzonderlijk een specifiek veiligheidsconcept kan worden ontwikkeld en uitgevoerd.

Dit was ter voorbereiding van de beleidsnota's Tunnelveiligheid Deel A (proceseisen) en Deel B (veiligheidseisen). Beide beleidsnota's hebben geresulteerd in de uiteindelijke tunnelwetgeving in 2006. Paragraaf 4.2 van de scriptie *De veiligheid in wegtunnels, een hele belevenis* van A.J. Meijering, januari 2005 ([www.ifv.nl/kennisplein/Documents/meijering-6-veiligheid-in-wegtunnels.pdf](http://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/meijering-6-veiligheid-in-wegtunnels.pdf)) geeft een goed overzicht van het tunnelveiligheidsdenken.

# 1 Tunnelveiligheid

## 1.1 Introductie

Door een aantal zeer ernstige tunnelbranden in de Alpentunnels rond de eeuwwisseling (zie [TABEL 1.1](#)), groeide het besef dat de levenscondities in een tunnel extreem verslechteren in geval van brand. Als gevolg hiervan verschoof de aandacht in de tunnelsector van bouwtechniek naar tunnelveiligheid. De EU initieerde een versnelde ontwikkeling in het denken over tunnelveiligheid. Dit heeft geleid tot een aantal internationale samenwerkingsprojecten tussen lidstaten met een zeer uitgebreid informatiepakket, zoals: Uptun, Fit, SAFE-T, DARTS, Virtual Fires, SIRTAKI, Safetunnel. [TABEL 1.2](#) vat de belangrijkste kenmerken van deze projecten samen.

Tabel 1.1 / Ernstige tunnelbranden

Jaar	Tunnel	Aantal dodelijke slachtoffers
1999	Mont Blanc tunnel	39
1999	Tauern tunnel	12
2000	Kaprun skitunnel ( <i>geen wegtunnel, maar na de gebeurtenissen van 1999 medebepalend in de totale veiligheidsdiscussie</i> )	155
2001	Gotthard tunnel	11

Tabel 1.2 / Internationale samenwerkingsprojecten

Project	Kenmerken
UPTUN	<p><i>UPTUN is the acronym for Cost-effective, Sustainable and Innovative Upgrading Methods for Fire Safety in Existing Tunnels. It is a European R&amp;D-project funded by the European Commission, main objectives are:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>• To develop innovative technologies where appropriate and where relevant comparing to and the assessment of existing technologies for tunnel application.</i></li> <li><i>• Focus is on technologies in the areas of detection and monitoring, mitigating measures, influencing human response, and protection against structural damage.</i></li> <li><i>• To develop, demonstrate and promote procedures for rational safety level evaluation, including decision support models and knowledge transfer.</i></li> </ul>
FIT	<p><i>The FIT (Fire In Tunnels) thematic network was established to have an overall co-ordination of the ongoing research projects with respect to fires in tunnels. One of the main outputs of the FIT-platform are consultable databases containing up-to-date knowledge with respect to fire safety in tunnels on this topic and of investigation results of recent fires in tunnels. These data-bases will be an important source of input to UPTUN.</i></p>
SAFE-T	<p><i>The aim of the SAFE-T (SAFE TUNNEL) network is to develop comprehensive guidelines for Pan European decision making on the safety of tunnels (primarily road, but also rail) by investigating, identifying, assessing and proposing the best practice solutions for (a) preventing incidents/accidents in existing tunnels and (b) mitigating its effects – both for people and goods – to ensure a high level of tunnel safety in Europe.</i></p>
DARTS	<p><i>The objective of DARTS (Durable And Reliable Tunnel Structures) is to develop operational methods and supporting practical tools for the best pro-active decision-making process for choosing, in each individual case, the cost optimal tunnel type and construction procedures regarding environmental conditions, technical qualities, safety precautions and long service life.</i></p>

Virtual fires	<i>The goal of 'Virtual Real Time Emergency Simulator' was to develop a simulator that in the efficient mitigation of tunnel fires, using a computer generated virtual environment.</i>
SIRTAKI	<i>The strategic goal of 'Safety Improvement in Road &amp; rail Tunnels using an Advanced Intensive decision support system' was the development and assessment of an advanced decision support system that specially tackled safety issues in tunnel management, as well as emergency handling and integration within the overall network management.</i>
Safetunnel	<i>The main objective was to reduce the number of accidents inside road tunnels through 'preventive' safety measures. The primary focus is to achieve a dramatic reduction of 'fire accidents', which, although rare, are the most serious safety risks inside tunnels.</i>

De inbreng van Nederland in deze projecten bestond uit het promoten van de integrale veiligheidsfilosofie<sup>1</sup> van het Steunpunt Tunnelveiligheid van Rijkswaterstaat<sup>2</sup>. Die filosofie biedt een kader voor het borgen van de veiligheid gedurende de hele levenscyclus van een tunnel, dat wil zeggen bij de planvorming, het ontwerp, de bouw en het gebruik, inclusief het beheer en onderhoud. Het kader bestaat uit de volgende bouwstenen:

- Normen, richtlijnen en uitgangspunten (genoemd: Veiligheidsrichtlijnen deel A).
- Veiligheidsbeschouwingen (genoemd: Veiligheidsrichtlijnen deel B).
- Basismaatregelen (genoemd: Veiligheidsrichtlijnen deel C).
- Aanvullende maatregelen en hun effectiviteit (genoemd: Veiligheidsrichtlijnen deel D).
- Veiligheidsorganisatie (genoemd: Veiligheidsrichtlijnen deel E).

De benadering in de filosofie van het Steunpunt Tunnelveiligheid is integraal in de zin dat:

- het tunnelsysteem als geheel wordt beschouwd, dus niet alleen 'weg, tunnelconstructie en installatie', maar inclusief de organisatie in de gebruiksfase (verkeersmanagement, calamiteitenbeheersing, etc.). Een eerste omschrijving in die zin is gegeven in het UN/ECE-rapport *Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels, final report* uit 2001<sup>3</sup>;
- de veiligheid wordt beschouwd vanuit verschillende *layers of defence*: preventie, mitigatie, zelfredzaamheid en hulpverlening.

Het denken in layers of defence komt voort uit het besef dat veiligheid wordt verkregen in een uit meerdere lagen op te bouwen 'verdedigingsstructuur':

1. Preventie: voorkom onveiligheid<sup>4</sup> en reduceer de kans op onveiligheid daar waar mogelijk.
2. Mitigatie: mocht er toch wat gebeuren, beperk dan (uitbreiding van) de gevolgen.
3. Zelfredzaamheid<sup>5</sup>: zorg ervoor dat aanwezigen in staat zijn zichzelf in veiligheid te stellen.
4. Ondersteuning hulpverlening: zorg ervoor dat de hulpverlening haar werk kan doen.

1 De veiligheidsfilosofie is door het Steunpunt Tunnelveiligheid ontwikkeld in de periode 2000-2002, onder andere op basis van ervaringen die bij de realisatie van de Westerscheldetunnel zijn opgedaan.

2 [www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrictlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/steunpunt-tunnelveiligheid](http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrictlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/steunpunt-tunnelveiligheid)

3 [www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2002/ac7/TRANS-AC7-09e.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2002/ac7/TRANS-AC7-09e.pdf)

4 Het voorkomen van onveiligheid worden in de hulpverleningswereld als extra schakel proactie beschouwd.

5 De hulpverlening is er veelal nog niet, de weggebruiker dient zich voorlopig zelf te redden: het 'gouden kwartier van de zelfredzaamheid'.

Internationaal is de promotie van de integrale veiligheidsfilosofie terug te vinden in ITA-COSUF<sup>6</sup>, PIARC-rapportages<sup>7</sup> en de eindrapporten van de genoemde Europese projecten<sup>8,9</sup>. Op de websites van deze organisaties en projecten zijn interessante publicaties over tunnelveiligheid te vinden<sup>10</sup>. Ook worden deze sites regelmatig van nieuwe of geactualiseerde documenten voorzien.

## 1.2 Leeswijzer

Omdat veel veiligheidsmaatregelen geborgd zijn in wet- en regelgeving, begint deze publicatie met een overzicht hiervan (HOOFDSTUK 2). Het naslagwerk is verder ingedeeld volgens de vier factoren die integrale veiligheid bepalen: de weg (HOOFDSTUK 3), het voertuig (HOOFDSTUK 4), de mens (HOOFDSTUK 5), en de organisatie (HOOFDSTUK 6). Voorzieningen ten behoeve van het vluchten van weggebruikers zijn hierbij in HOOFDSTUK 5 (de mens) beschreven.

De onderlinge samenhang tussen de veiligheidsaspecten en de analysemethodieken die daarbij gehanteerd worden, staan beschreven in een apart hoofdstuk (HOOFDSTUK 7).

Binnen de hoofdstukken wordt de eerder beschreven meerlagenfilosofie als uitgangspunt voor nadere duiding gehanteerd, te weten: proactie en preventie, mitigatie, zelfredzaamheid en hulpverlening. Hiermee wordt duidelijk op welke layer of defence de veiligheidsmaatregelen hun werk doen.

6 [www.ita-cosuf.org](http://www.ita-cosuf.org)

7 <http://tunnelsmanual.piarc.org> en *Integrated approach to road tunnel safety* (ISBN: 84060-195-08).

8 Zie Uptun, FIT, SAFE-T, DARTS, Virtual fires, SIRTAKI, Safetunnel, etc. in de online kennisbank van het KPT: [www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl/kennisbank](http://www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl/kennisbank)

9 Dat deze beschrijvingen sterk op elkaar lijken is geen toeval: aan zowel de PIARC-rapporten als aan de UPTUN- en SAFE-T-rapportages is destijds door het Steunpunt Tunnelveiligheid een structurele bijdrage geleverd.

10 Resultaten van Europese projecten zijn te vinden op [http://cordis.europa.eu/programme/rcn/642\\_en.html](http://cordis.europa.eu/programme/rcn/642_en.html).



## 2 Wet- en regelgeving

### 2.1 De EU-richtlijn

Na de branden in de Alpentunnels is door de UN/ECE in 2001 een advies uitgebracht met daarin een veelheid aan voorstellen tot verbetermaatregelen<sup>1</sup>. Het was voor het eerst dat er integraal aandacht werd besteed aan veiligheid vanuit de vier samenstellende factoren: mens, voertuig, weg en organisatie.

Het advies is de aanzet geweest voor het opstellen van een EU-richtlijn<sup>2</sup>. Deze richtlijn beoogt een minimum veiligheidsniveau te verzekeren voor weggebruikers in tunnels (langer dan 500 meter) in het trans-Europese wegennet. De richtlijn gaat in op elk van de samenstellende factoren (mens, voertuig, weg en organisatie) zoals verwoord in het UN/ECE-rapport. Lidstaten van de EU moesten deze richtlijn binnen twee jaar na inwerkingtreding (dus vóór 1 mei 2006) omzetten naar eigen regelgeving

### 2.2 Nederlandse wet- en regelgeving

#### 2.2.1 Nederlandse wet- en regelgeving 2006

De EU-richtlijn is in 2006 naar nationaal recht omgezet in de vorm van de Wet aanvullende regels veiligheid wegtunnels (Warvw), met daaraan gekoppeld het Besluit aanvullende regels veiligheid wegtunnels (Barvw) en de Regeling aanvullende regels veiligheid wegtunnels (Rarvw).

Voor de omzetting van de EU-richtlijn naar de Nederlandse wet- en regelgeving zijn de volgende 'overwegingen' uit de richtlijn van belang:

- 25: "De lidstaten worden aangespoord vergelijkbare veiligheidsniveaus toe te passen voor wegtunnels op hun grondgebied die geen deel uitmaken van het Europese wegvervoersnetwerk en bijgevolg niet onder het toepassingsgebied van deze richtlijn vallen." In Nederland is wet- en regelgeving ook van kracht verklaard voor de onder de wetgeving vallende wegtunnels buiten het TEN-netwerk.
- 26: "De lidstaten worden aangespoord om nationale voorschriften uit te werken met het oog op een hoger veiligheidsniveau in tunnels."
- Artikel 1, lid 3: "De lidstaten mogen strengere eisen stellen, mits deze niet strijdig zijn met de eisen van deze richtlijn."

Bij het omzetten van de EU-richtlijn naar de Nederlandse wetgeving zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Met de ontwikkelde Nederlandse regelgeving wordt impliciet aan de EU-richtlijn voldaan<sup>3</sup>.
- Het reeds bestaande veiligheidsniveau ten tijde van het schrijven van de wet mag er niet door worden verlaagd.
- Zo min mogelijk nieuwe regelgeving, dus zo veel mogelijk in bestaande regelgeving inpassen (vooral Bouwbesluit<sup>4</sup>); alleen het resterende in nieuwe wet- en regelgeving.

<sup>1</sup> [www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2002/ac7/TRANS-AC7-09e.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2002/ac7/TRANS-AC7-09e.pdf)

<sup>2</sup> Richtlijn nr. 2004/54/EG van het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie van 29 april 2004.

<sup>3</sup> De relevante bepalingen uit de EU-richtlijn zijn opgenomen in de Nederlandse wet- en regelgeving en op een aantal punten verzwaaard, zie § 2.2.5.

<sup>4</sup> Het Bouwbesluit 2003 in die periode bevatte constructieve voorschriften voor het bouwwerk en voor een aantal onderwerpen ook functionele voorschriften specifiek gericht op de veiligheid in een tunnel. Deze benadering gaf meer ruimte aan de bouwer om te zoeken naar nog niet beschreven of bekende oplossingen.

## 2.2.2 Herziening wet- en regelgeving in 2012 en 2013

Het Bouwbesluit is in 2012 gewijzigd. In het Bouwbesluit 2003 waren de bepalingen omtrent tunnels voor het wegverkeer met een lengte van meer dan 250 meter in de Regeling Bouwbesluit opgenomen. De Regeling Bouwbesluit, de Barvw, het Gebruiksbesluit en de Bouwverordening zijn in 2012 verdwenen en alle bepalingen voor tunnels zijn in het Bouwbesluit 2012 opgenomen. Hiermee werd een verlichting van de lasten- en regeldruk en een beter afstemming tussen Bouwbesluit en Gebruiksbesluit gerealiseerd.

In 2013 zijn de Warvw en Rarvw herzien; hierbij is de Barvw komen te vervallen. Aanleiding hiertoe vormden de volgende ervaringen:

- Het naast elkaar hanteren van de QRA (*quantitative risk analysis*, kwantitatieve risicoanalyse) en de scenarioanalyse, zoals voorgeschreven in de oude regelgeving, leidde tot discussies over de benodigde veiligheidsmaatregelen ter verkrijging van een voldoende veiligheidsniveau. Deze discussies zetten zich voort tot in een laat stadium van een tunnelproject.
- Een acceptabel risico conform de QRA bleek in de scenarioanalyse te kunnen leiden tot discussie over het acceptabel zijn van dat risico.
- In het verlengde hiervan was sprake van een aanhoudende discussie over nut en noodzaak van aanvullende maatregelen, zoals een watermistsysteem.
- De oude regelgeving voorzag in een verplicht advies door een onafhankelijke commissie (Commissie Tunnelveiligheid). De rol van deze commissie leidde regelmatig tot discussies over de vraag wat veilig genoeg is.
- Het uiteindelijk overeengekomen maatregelenpakket in een project leek regelmatig de input te vormen voor discussie over het maatregelenpakket van een volgend project met als gevolg ongeplande ontwikkeling in veiligheidsmaatregelen.

Met de herziene wetgeving is de voor meerledige uitleg vatbaar zijnde normstelling uit de versie van 2006 (kwantitatieve risicoanalyse én scenarioanalyse) ingekaderd tot een éénduidige kwantitatieve risiconorm voor tunnelveiligheid met een daaraan gekoppelde toetsingsmethodiek (QRA-tunnels).

Een scenarioanalyse maakt deel uit van het veiligheidsbeheerplan, maar kan – met redenen omkleed – achterwege blijven<sup>5</sup>. Voor nieuwe tunnels langer dan 250 meter én in beheer bij Rijkswaterstaat geldt een gestandaardiseerde uitrusting. Deze uitrusting is in de Rarvw uitgewerkt tot op prestatie-eisniveau. Niet-rijkstunnels behoren (uiteraard) ook aan de wet- en regelgeving te voldoen, maar niet aan voornoemde gestandaardiseerde uitrusting.

Alle wegtunnels worden getoetst aan de Warvw, Rarvw-artikelen 1 t/m 12 en het Bouwbesluit 2012. Rijkstunnels worden bovendien getoetst aan Rarvw-artikelen 13 en verder, die de gestandaardiseerde uitrustingen op prestatieniveau uitwerken. De herziene wetgeving maakt expliciet duidelijk met welke voorzieningen een veilige tunnel kan worden gerealiseerd. De herziene wetgeving zorgt er tevens voor dat in een vroegtijdig stadium (de planologische beslissing) de uitrusting van de tunnel komt vast te liggen, waarmee een situatie van discussie over de veiligheidsmaatregelen tot ver in de bouwfase zich niet (meer) kan voordoen<sup>6</sup>.

De kern van de wijzigingen in de Warvw van 2013:

- De introductie van een kwantitatieve risiconorm met bijbehorende toetsingsmethodiek voor tunnels langer dan 250 meter als enige veiligheidsnorm voor tunnels.

5 Art. 7, lid 1 Warvw.

6 Voor rijkstunnels is er de Landelijke Tunnelstandaard (LTS) die onder de wetgeving valt en op sommige punten hogere eisen stelt dan de tunnelwetgeving.

- Een gestandaardiseerde uitrusting voor nieuwe rijkstunnels die al in de planologische fase moet worden vastgesteld.
- Afwijking van de gestandaardiseerde uitrusting (voor rijkstunnels) is uitsluitend mogelijk indien de norm wordt overschreden (geldt voor nieuwe rijkstunnels). Uitzonderingen hierop betreffen afwijkingen op basis van het gelijkwaardigheidsbeginsel (art. 3, lid 2 EU-richtlijn) of innovatieve toepassingen (art. 14 EU-richtlijn).
- De Barvw is vervallen.
- De Commissie Tunnelveiligheid is opgeheven.

### 2.2.3 Aanpassing wet- en regelgeving in 2015 op kleine punten

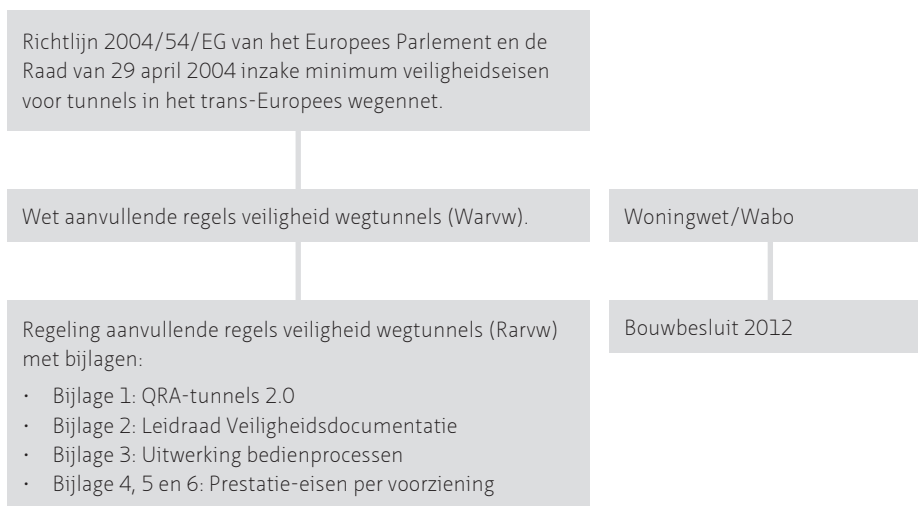
Op 1 januari 2015 en 1 juli 2015 is de wet op kleine punten aangepast als gevolg van de wijzigingen in de Woning- en Tracéwet.

### 2.2.4 Structuur huidige wet- en regelgeving

De regelgeving van 2013 is neergelegd in de Wet aanvullende regels veiligheid wegtunnels (Warvw) en de bijbehorende Regeling aanvullende regels veiligheid wegtunnels (Rarvw) met bijlagen<sup>7</sup>. Daarnaast zijn regels geformuleerd in de Woningwet/Wabo en het Bouwbesluit 2012<sup>8</sup>.

De Warvw is van toepassing op tunnels, langer dan 250 meter<sup>9</sup>, uitsluitend dan wel mede bestemd voor motorrijtuigen als bedoeld in artikel 1, eerste lid, onder c, van de Wegenverkeerswet 1994. De lengte van de tunnel wordt bepaald door het langst omsloten gedeelte.

FIGUUR 2.1 geeft de samenhang van de Nederlandse wet- en regelgeving op het gebied van tunnelveiligheid grafisch weer.



Figuur 2.1 / Samenhang Nederlandse wet- en regelgeving op het gebied van tunnelveiligheid.

<sup>7</sup> Warvw: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0019516>

Rarvw: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0019806>

<sup>8</sup> Zie [www.woningwet2015.nl](http://www.woningwet2015.nl) en [www.onlinebouwbesluit.nl](http://www.onlinebouwbesluit.nl)

<sup>9</sup> Art. 2, lid 1 Warvw.

### 2.2.5 Afwijkingen Nederlandse regelgeving ten opzichte van EU-richtlijn.

Vooraf het uitgangspunt dat het toenmalige veiligheidsniveau, zoals verwoord in de veiligheidsrichtlijnen deel C (VRC), niet mocht worden verlaagd, heeft ertoe geleid dat de Nederlandse regelgeving op de volgende punten afwijkt van (strenger is dan) de EU-richtlijn:

- **Nederlandse wetgeving geldt voor wegtunnels langer dan 250 meter**  
Deze aanscherping heeft te maken met de overweging dat rook bij een eventuele brand in een tunnel ter plaatse opstijgt, zich langs het plafond verspreidt en ergens door afkoeling weer zal dalen. Een veilige ondergrens voor de afstand waarop dit gebeurt, is ongeveer 125 meter. Gerekend vanuit de meest ongunstige plaats (het midden van de tunnel) leidt dit tot genoemde tunnellengte.
- **Uitsluitend éénrichtingsverkeer in een tunnelbuis als uitgangspunt**  
Dit is vastgelegd in Bouwbesluit art 6.45: "In beginsel is geen tweerichtingsverkeer toegestaan tenzij is aangetoond dat eenrichtingsverkeer in verband met fysieke, geografische of verkeerstechnische omstandigheden niet mogelijk is en het tweerichtingsverkeer met voldoende veiligheidswaarborgen is omgeven". De eerder genoemde ongevallen in de Alpentunnels betroffen situaties met tegenverkeer. Keuze voor éénrichtingverkeer betekent een enorme veiligheidsverhoging (vergelijk het aantal dodelijke slachtoffers op autosnelwegen ten opzichte van het slachtofferaantal op overige wegen).
- **Mechanische ventilatie bij tunnels langer dan 500 meter (in plaats van 1000 meter)**
- **Bedieningscentrale bij tunnels langer dan 500 meter (in plaats van 3000 meter)**  
Dat mechanische ventilatie bij tunnels langer dan 500 meter verplicht is, impliceert noodzakelijke detectie en waarneming van situaties ter plekke alsmede sturingsmogelijkheid voor die mechanische ventilatie. Aldus komt men vanzelfsprekend op een verkeersmanagementcentrale uit. Dit is een aanmerkelijke aanscherping ten opzichte van de EU-richtlijn.
- **Hart-op-hartafstand van de vluchtdeuren minder dan 250 meter (in plaats van 500 meter)**  
Dit is in sterke mate gebaseerd op de maximale loopafstanden voor hulpverleners, die destijds zijn bepaald ten behoeve van de Westerscheldetunnel.
- **Hart-op-hartafstand van de brandblusaansluitingen minder dan 100 meter (in plaats van 250 meter)**  
Dit is gebaseerd op de maximale lengte van de slang op een haspel plus de worpafstand, en de wens dat elke locatie in de tunnel overlappend bereikbaar moet zijn.
- **Tunnelbuisbreedte is ten minste 7 meter in verband met hulpdiensten**  
Dit is een uitvloeisel van de discussies die zijn gevoerd rond de vormgeving van de tunnel in Nijverdal, die per buis uit één rijstrook bestaat. Voor nadere achtergrondinformatie wordt verwezen naar de rapporten genoemd in het literatuuroverzicht.

### 2.2.6 Overige normen, richtlijnen en handleidingen

Naast de genoemde wet- en regelgeving is sprake van vele overige richtlijnen, normen en handleidingen. De belangrijkste zijn:

- Landelijke Tunnelstandaard Rijkswaterstaat (LTS).
- Handboek Tunnelbouw.
- Aanbevelingen ventilatie van verkeerstunnels.
- NSVV - Aanbevelingen voor het verlichten van (korte) tunnels en onderdoorgangen.
- Onderzoeksrapport uitgangelijkheid van wegtunnels voor mensen met een functiebeperking.

- Leidraad Veiligheidsdocumentatie voor wegtunnels.
- Leidraad Scenarioanalyse ongevallen in tunnels.
- Raakvlakkenmatrix handboek Tunnelinstallaties 2009.
- Achtergronddocument en gebruikershandleiding QRA-tunnels 2.0.

**BIJLAGE A** geeft een uitgebreid overzicht inclusief links naar voornoemde en overige richtlijnen, normen en handleidingen.



## 3 De fysieke tunnel

### 3.1 Verkeerskundige aspecten

Een juiste verkeerskundige vormgeving van de weg door de tunnel is een preventief startpunt voor het verkrijgen van een veilige tunnel. Een aantal invullingen van verkeerskundige aspecten voor tunnels wijken af van die voor de open weg. De ROA 2017 kent een hoofdstuk 9 Tunnels, waarin de overeenkomsten en verschillen tussen tunnels en standaard wegvakken worden aangegeven en voor tunnels (met een lengte van meer dan 250 meter) specifieke aspecten worden behandeld en eisen worden opgesomd.

Ook de LTS heeft in de Basisspecificatie TTI RWS Tunnelsysteem een bijlage E Eisen aan wegontwerp in en nabij de tunnel opgenomen. Hierin zijn naast verwijzingen naar de ROA en CROW-publicaties 116, 164a t/m d en het Bouwbesluit 2012 aanvullende eisen c.q. verduidelijkingen opgenomen.

### 3.2 Civiele constructie

De EU-richtlijn beschrijft een aantal civieltechnische aspecten met betrekking tot het tunnelontwerp. Sommige daarvan hebben typisch betrekking op (bestaande) bergtunnels en zijn niet voor de Nederlandse situatie bedoeld<sup>1</sup>. De algemeen toepasbare aspecten zijn, al dan niet aangescherpt, in de Nederlandse regelgeving en handboeken terug te vinden, die deels weer is uitgewerkt in handboeken en richtlijnen. Daarnaast bestaan er constructieve uitgangspunten die niet gebaseerd zijn op de EU-richtlijn, maar specifiek ontwikkeld zijn ter handhaving van het bestaande veiligheidsniveau ten tijde van het schrijven van de wet.

In Nederland wordt doorgaans gekozen voor een wegtunnel met een middentunnelkanaal. Uitzondering hierop is de geboorde Westerscheldetunnel. Dit heeft te maken met de traditionele bouwmethoden voor Nederlandse wegtunnels: een bouw direct op locatie of het afzinken van bouwdelen. Bij dergelijke bouwwijzen wordt de tunnel voorzien van twee rijbanen gescheiden door een middentunnelkanaal die gebruikt wordt als vluchtweg of als servicetoegang.

Vanuit tunnelveiligheid zijn de drie belangrijkste uitgangspunten voor de civiele constructie:

#### 1. Eenrichtingsverkeer (preventieve werking)

Het basisprincipe van de veiligheid in de Nederlandse wegverkeerstunnels is gebaseerd op de toepassing van eenrichtingsverkeer. Civieltechnisch betekent dit het per rijrichting aanbrengen van separate tunnelbuizen. Dit levert de grootste preventieve bijdrage aan het totale veiligheidsniveau, omdat er in principe geen tegenliggers zijn.

Dit basisprincipe biedt aangaande zelfredzaamheid en de mitigatie van effecten van ongevallen de mogelijkheid tot het toepassen van langsventilatie. Dit betekent dat bij een brand het verkeer bovenstrooms ervan wordt stilgezet en de daar aanwezigen door middel van de ingeschakelde langsventilatie gevrijwaard blijven van rook en hitte<sup>2</sup> (benedenstrooms van de brand rijdt het verkeer in principe voor de rook de tunnel uit<sup>3</sup>).

- 1 *Voorbeelden hiervan zijn de mogelijkheden voor brandweervoertuigen om van de ene naar de andere tunnelbuis te kunnen doorsteken en de vormgeving van lay-by's (nissen als uitwijkhavens).*
- 2 *Door de toegenomen verkeersintensiteiten is er recent verhoogde kans op files voorbij (benedenstrooms) het ongeval, waardoor de veiligheid bij langsventilatie geen vanzelfsprekendheid meer is. Per tunnel dient de filekans en de daarmee gepaard gaande eventuele extra maatregelen onderzocht te worden.*
- 3 *In de Aanbevelingen ventilatie van verkeerstunnels wordt ingegaan op andere ventilatieprincipes in het buitenland, zoals dwarsventilatie, semi-dwarsventilatie of langsventilatie met een aparte rookafvoer bij brand.*

## 2. Brandlasten/brandcurve (mitigerende werking)

In de internationale literatuur en regelgeving wordt verwezen naar verschillende brandcurves<sup>4</sup>. Voor Nederlandse tunnels wordt gerekend met de zogenoemde RWS-curve; de zwaarste van de meest gangbare curves. Deze vloeit voort uit onderzoek dat rond 1980 heeft plaatsgevonden (RWS/TNO) en wordt gekenmerkt door een brandduur over een periode van twee uur met een piek op 1350° Celcius. De RWS-curve wordt in vele landen als maatgevende brandlast gehanteerd in het ontwerp van tunnels. Onderzoeken in UPTUN-verband (2008) en brandproeven in de Ofenegg-tunnel (1965) en de Zwenberg-tunnel (1975) bevestigen de hoge topwaarde van 1350°C.

## 3. Vluchtdeurafstand (ten behoeve van zelfredzaamheid)

In Nederland is de keuze gemaakt om vanuit het oogpunt van zelfredzaamheid, de maximaal toelaatbare afstand tussen de vluchtdeuren te verkleinen ten opzichte van de EU-richtlijn. Hierbij is mede de besluitvorming rond de Westerscheldetunnel betrokken, waar discussies over de afstanden tussen de dwarsverbindingen hebben geresulteerd in een maximale afstand van 250 meter voor geboorde tunnels. Voor overige tunnels is de bovengrens gesteld op 100 meter.

Een relevant document voor civiele constructies is het Handboek Tunnelbouw<sup>5</sup>. Dit is een digitaal naslagwerk voor het ontwerpen en bouwen van weg- en raitunnels. Het doel van dit boek is ontwerpers en bouwers te ondersteunen bij hun werk door inzicht te bieden in de civiele aspecten van tunnelbouwprojecten en potentiële oplossingen te presenteren in de vorm van praktijkvoorbeelden (best practices). De inhoud is gebaseerd op SATO 2005<sup>6</sup>, aangevuld met specifieke kennis van raitunnels. Daarnaast zijn ervaringen uit de periode 2005 tot 2015 verwerkt. Waar nodig en relevant wordt vanuit dit document naar andere documenten verwezen. Boortunnels komen in de huidige uitgave van het handboek nog niet voor; het document beperkt zich tot cut-and-cover- en afzinktunnels.

Zie [BIJLAGE A](#) voor diverse handboeken en richtlijnen over overige civieltechnische zaken met betrekking tot noodzakelijke veiligheidsmaatregelen.

## 3.3 Tunneltechnische systemen

Tunneltechnische installaties dienen een aantal doelstellingen:

1. Preventie, waaronder het faciliteren van een veilige doorstroming van het verkeer.
2. Mitigatie, het faciliteren van het inperken van gevolgen van ongevallen.
3. Faciliteren van zelfredzaamheid.
4. Hulpverlening, het faciliteren van reddingsactiviteiten.

De EU-richtlijn schrijft een (beperkt) aantal tunneltechnische systemen voor. Deze zijn allen in de Nederlandse regelgeving terug te vinden; het uitgangspunt dat het toenmalige veiligheidsniveau niet mocht worden verlaagd heeft ertoe geleid dat de in Nederland voorgeschreven uitrusting omvangrijker is dan uit de EU-richtlijn voortvloeit.

4 <http://tunnelsmanual.piarc.org/en/operational-safety-requirements-tunnel-response-fire/resistance-fire-structures>

5 [www.handboektunnelbouw.nl](http://www.handboektunnelbouw.nl)

6 SATO (Specifieke aspecten tunnelontwerp) is een naslagwerk met tunnelbouwdetails dat in de loop der jaren binnen Rijkswaterstaat is ontwikkeld. Het Handboek Tunnelbouw is ontwikkeld in COB-verband, en wordt beheerd door een COB-commissie.

Een uitgebreide beschrijving van de geschiedenis en ontwikkeling van de tunneltechnische systemen in Nederland is te vinden in het COB-rapport van project N110, hoofdstukken A4, A5 en A6<sup>7</sup>.

In de wet (Warvw) worden gestandaardiseerde uitrustingen (tunneltechnische installaties) genoemd. Deze uitrustingen zijn te vinden in de Regeling aanvullende regels veiligheid wegtunnels (Rarvw), in respectievelijke artikelen 13, 13a, 13b, 13c, 13d, die nader worden uitgewerkt in bijlagen 4, 5 en 6 van dezelfde Rarvw. Er zijn verschillende gestandaardiseerde uitrustingen beschreven:

- Voor een tunnel langer dan 500 meter (artikel 13).
- Voor een tunnel langer dan 250 meter, tot en met 500 meter (artikel 13 a).

Met aanvullende uitrustingen voor tunnels:

- onder een waterweg (artikel 13b);
- langer dan 500 meter en met een doorrijhoogte lager dan 4,7 meter (artikel 13c);
- langer dan 500 meter waarbij het mogelijk is om de verkeersrichting in een tunnelbuis om te keren (artikel 13d).

In **BIJLAGE B** is een overzicht gegeven van de gestandaardiseerde uitrustingen.

De gestandaardiseerde uitrusting is van toepassing op tunnels langer dan 250 meter, tenzij<sup>8</sup>:

- het een tunnel betreft waarvoor op het moment van de inwerkingtreding van de wet reeds een Tracébesluit is genomen of waarvoor een bestemmingsplan of een wijziging van een bestemmingsplan is vastgesteld;
- het een tunnel betreft die op het moment van inwerkingtreding van de wet al was opgesteld;
- het een tunnel betreft die niet in beheer is bij het Rijk.

Tunnels die niet in beheer zijn bij het Rijk hoeven dus niet aan de standaarduitrusting te voldoen, maar moeten wel voldoen aan de norm zoals gesteld in art. 6 van de Warvw en aan de overige eisen in Warvw, Rarvw en Bouwbesluit.

De rijkstunnelbeheerder kan van de gestandaardiseerde uitrusting uitsluitend afwijken indien<sup>9</sup>:

- A. dit noodzakelijk is om aan de in de wet genoemde veiligheidsnorm te voldoen, en;
- B. de tunnelbeheerder daarover advies heeft ingewonnen bij de veiligheidsbeambte, en;
- C. daarmee ten minste dezelfde mate van veiligheid wordt geboden als is beoogd met de betrokken gestandaardiseerde uitrusting of onderdelen daarvan, of;
- D. toepassing wordt gegeven aan artikel 3, tweede lid, of artikel 14 van Richtlijn 2004/54 van het Europees Parlement en de Raad van 29 april 2004 inzake minimumveiligheidseisen voor tunnels in het trans-Europese wegennet.

NB. Naast de standaarduitrusting zoals genoemd in de Warvw, stelt ook de Woningwet (in het Bouwbesluit) eisen aan het voorzieningenniveau van tunnels.

<sup>7</sup> [www.cob.nl/document/veiligheidsvoorzieningen-in-tunnels-taak-1](http://www.cob.nl/document/veiligheidsvoorzieningen-in-tunnels-taak-1)

<sup>8</sup> Art. 18, lid 3 Warvw.

<sup>9</sup> Art. 6b, lid 3 Warvw.

Voor rijkstunnels is de gestandaardiseerde uitrusting (en de wijze waarop deze gerealistiseerd en bediend moeten worden) totaal uitgewerkt in de Landelijke Tunnelstandaard (LTS)<sup>10</sup>. Niet-rijkstunneleigenaren kunnen de LTS hanteren, maar zijn daar wettelijk niet toe verplicht.

In [BIJLAGE C](#) zijn de gebruikelijk aanwezige tunneltechnische installaties nader beschreven.

<sup>10</sup> [www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/landelijke-tunnelstandaard/index.aspx](http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/landelijke-tunnelstandaard/index.aspx)

## 4 Voertuigen

### 4.1 Categorie-indeling wegtunnels

De veiligheid van de weggebruiker in de tunnel wordt onder meer beïnvloed door de aard van het aanwezige verkeer. Het toegestane vervoer van gevaarlijke stoffen op een transportroute – inclusief de in de route aanwezige tunnels – is geregeld in het ADR<sup>1</sup>. Het ADR gaat uit van categorieën waarbij per categorie een beperking in het gebruik is vastgesteld. Uit het verleden zal men de categorie-indeling in I en II tegenkomen (daar waar geen gebruiksbeperking was opgelegd werd gesproken over categorie-0 tunnels). Sinds 1 januari 2010 is een nieuwe indeling van kracht, waarbij een tunnel afhankelijk van de toegestane stoffen in een van de categorieën A t/m E valt <sup>2</sup>.

### 4.2 Alternatieve brandstoffen en brandlasten voertuigen

Indien voertuigen door de RDW zijn voorzien van een kenteken, zijn zij daarmee toegelaten tot het (internationale) wegennet inclusief alle daarin aanwezige tunnels. Bij het toekennen van een kenteken speelt de brandstof die een voertuig gebruikt voor zijn aandrijving geen rol. Deze brandstof valt ook niet onder de richtlijnen van de ADR, die uitsluitend van toepassing zijn op de lading van deze voertuigen.

Op dit moment (2016) zijn de aannames achter (brandlast)richtlijnen gebaseerd op het gebruik van fossiele brandstoffen voor de aandrijving van voertuigen. Toenemend gebruik van alternatieve brandstoffen (waterstof, elektriciteit, etc.) en composietmaterialen kunnen er in de nabije toekomst toe leiden dat deze aannames herzien moeten worden. Vanuit het KPT zijn in 2015 themasessies georganiseerd over alternatieve brandstoffen, zie de website van het KPT voor meer informatie<sup>3</sup>.

De ontwikkelingen in de voertuigtechniek gaan momenteel snel. In toenemende mate worden er voorzieningen ontwikkeld en geïmplementeerd die zelfrijdende voertuigen mogelijk moeten maken. Ook de ontwikkelingen van de tunneltechnische installaties gaan verder. In welke mate deze twee systemen (en de interactie ertussen) het niveau en de richting van tunnelveiligheid gaan beïnvloeden, is op dit moment onduidelijk.

1 ADR: Accord européen relatif au transport international de marchandises dangereuses par route, [www.rivm.nl/rvs/gevaarsindeling/adr](http://www.rivm.nl/rvs/gevaarsindeling/adr)

2 <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2013-7028.html> geeft een nadere uitleg over de concrete indeling. Een overzicht van de Nederlandse tunnelindeling is te vinden op [www.ilent.nl/onderwerpen/gevaarlijke-stoffen-vrachtwagen/regels-tijdens-vervoer-gevaarlijke-stoffen-over-de-weg/tunnels](http://www.ilent.nl/onderwerpen/gevaarlijke-stoffen-vrachtwagen/regels-tijdens-vervoer-gevaarlijke-stoffen-over-de-weg/tunnels)

3 [www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl/artikelen/12-alternatieve-brandstoffen](http://www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl/artikelen/12-alternatieve-brandstoffen)



## 5 De mens (bestuurder en andere weggebruikers)

Ten tijde van het ontwikkelen van de integrale veiligheidsfilosofie (begin 2000) bleek de kennis aangaande menselijk gedrag, met name in geval van calamiteiten, onderbelicht. Aannames over gedrag waar in het tunnelontwerp van werd uitgegaan waren niet allemaal gebaseerd op wetenschappelijke kennis. Om dit gat in de kennis over zelfredzaamheid te dichten, heeft het Steunpunt Tunnelveiligheid van Rijkswaterstaat in 2002 opdracht gegeven aan TNO om (praktijk)onderzoeken te doen in de Beneluxtunnel<sup>1</sup>. De vormgeving van vluchtroutes met bijbehorende bewegwijzering en akoestische signalen zoals momenteel wettelijk is voorgeschreven, is op deze onderzoeken gebaseerd<sup>2</sup>.

In het algemeen kan uit betreffende onderzoeken opgemaakt worden dat:

- de weggebruiker – in tegenstelling tot wat verwacht werd – geen verhoogd attentieniveau heeft bij het inrijden van een tunnel;
- de weggebruiker niet te veel informatie tegelijk aan kan;
- weggebruikers in de tunnel last kunnen hebben van wandvrees, claustrofobie, verminderd zicht of gebrek aan oriëntatie;
- er veelal geen plotselinge verandering in mindset plaatsvindt wanneer er iets misgaat. Weggebruikers onderschatten de gevaren van hitte en toxiciteit van rookgassen wanneer de calamiteit plotseling escaleert, waardoor zij lang doorgaan met hun oorspronkelijke gedrag;
- als automobilisten bij een incident (te laat) in actie komen, zij hun auto niet graag alleen achterlaten, ze willen vluchten langs de eerder afgelegde weg, ze vluchtvoorzieningen niet als zodanig herkennen en er dan ook beperkt gebruik van maken.

Er wordt (inter)nationaal nog veel onderzoek gedaan naar menselijk gedrag bij brand. Zie hiervoor bijvoorbeeld de publicaties op de site van het IFV<sup>3</sup> en van Kobes et al<sup>4</sup>. Ook verkeerspsychologen worden steeds vaker betrokken bij het weg- en tunnelontwerp.

### 5.1 Vluchten en vluchtvoorzieningen

Vanuit de zelfredzaamheidsgedachte is het van (levens)belang dat mensen zo snel mogelijk beseffen dat ze zich in een gevaarlijke situatie bevinden en tot actie moeten overgaan. Vanwege de vaststelling dat mensen niet uit zichzelf in beweging komen bij een geconstateerde brand, worden in een tunnel toespreek- en gespreksvoorzieningen aangebracht, zoals een omroepinstallatie, een telefoon in de hulpposten en de mogelijkheid tot inbreken in radio-uitzendingen (zie ook [BIJLAGE C](#)).

Bij brand en/of explosiegevaar is het helemaal zaak dat weggebruikers zichzelf in veiligheid brengen: alle maatregelen rondom de vluchtroute (geluidbaken, lichtlijnen, pictogrammen op deuren, inkassingen en wegdek, overdruk in de vluchtgangen, etc.) dragen hieraan bij.

1 [www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/steunpunt-tunnelveiligheid/veiligheidsbeschouwingen/onderzoek.aspx](http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/steunpunt-tunnelveiligheid/veiligheidsbeschouwingen/onderzoek.aspx)

2 Zie [www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/index.aspx](http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/index.aspx) en in het bijzonder TNO-rapporten TM-03-C060 (Praktijkproef geluidsbakens bij ontruiming. tunnel in dichte rook, 2002) en TM-02-C034 (Gedrag van automobilisten bij evacuatie van een tunnel, 2002).

3 [www.ifv.nl/kennisplein/ontruiming-en- evacuatie](http://www.ifv.nl/kennisplein/ontruiming-en- evacuatie)

4 <https://research.vu.nl/files/2355820/Zelfredzaamheid%20bij%20brand.pdf>

Het vluchtprincipe in Nederlandse tunnels is vanuit toegankelijkheidsoverwegingen voor mindervaliden geheel gebaseerd op horizontaal vluchten. De EU-richtlijn legt hier geen normen over vast, maar besteedt hier wel aandacht aan in de overwegingen<sup>5</sup>.

### 5.1.1 Vluchtdeuren

In de EU-richtlijn is de maximale afstand tussen vluchtdeuren in tunnels gesteld op 500 meter. Dit maximum is gesteld op basis van financiële gronden; er heeft hier geen veiligheidsanalyse aan ten grondslag gelegen.

Bij zinktunnels heeft men in Nederland vanaf 1975 tot nu toe steeds elke 100 meter een vluchtdeur gemaakt omdat er per zinkmoot (van ordegrootte 100 meter) een opening voor de bouwfase noodzakelijk is en de tunnelconstructie zich daar ook eenvoudig toe leent. Realisatie hiervan kost aldus ook relatief weinig. Wanneer men de benodigde afstand tussen de deuren vaststelt op basis van een risicoanalyse, die is gericht op het ontruimen van een tunnel in geval van een calamiteit, zal men in het algemeen afstanden vinden die beduidend groter zijn dan genoemde 100 meter. Voor zinktunnels zal dit niet snel tot grotere afstanden leiden, gelet op de noodzaak van ten minste één deur per element en het ALARP-principe<sup>6</sup> (extra veiligheid voor weinig kosten). De lengte van zinkelementen is namelijk zelden meer dan 110-120 meter.

Bij boortunnels zullen veiligheidsanalyses eerder maatgevend zijn voor het bepalen van de minimale vluchtdeurafstanden dan economische overwegingen. Op basis van de discussie over de afstanden tussen de dwarsverbindingen in de Westerscheldetunnel is een bovengrens van 250 meter overgenomen. Dit heeft geresulteerd in de volgende richtlijn (Rarvw, artikel 17.5): de onderlinge afstand tussen naast elkaar gelegen vluchtdeuren is ten hoogste 100 meter, tenzij het vluchtdeuren naar dwarsverbindingen betreffen, dan is de afstand ten hoogste 250 meter.

De handreiking Bluswatervoorziening en bereikbaarheid uit 2012<sup>7</sup> gaat in op de bereikbaarheid voor de hulpdiensten en de daaraan gekoppelde aanvalsdeursafstand.

## 5.2 Publieksvoorlichting

Nu zowel de civiele als de tunneltechnische aspecten van tunnelveiligheid redelijk op orde zijn, dringt het besef door dat momenteel met name de mens de beperkende factor is bij het streven naar een hoger niveau van tunnelveiligheid. In de huidige situatie kan publieksvoorlichting hier wellicht bij helpen. In de toekomst kunnen tevens de in **HOOFDSTUK 4** beschreven ontwikkelingen in de voertuigtechniek een rol spelen.

Op grond van literatuur en onderzoek is door de EU geconcludeerd<sup>8</sup> dat er behoefte is aan:

- Korte en heldere informatie voor 'normale' weggebruikers.
- Informatie voor beroepsrijders.
- Informatie voor rij scholen.
- Algemene en goed toegankelijke informatie over de infrastructuur van tunnels.

5 *Overweging 12: "De bij deze richtlijn ingevoerde verbeteringen zullen leiden tot een verbetering van de veiligheidsvoorwaarden voor alle gebruikers, met inbegrip van gehandicapten. Aangezien gehandicapten echter meer problemen hebben om in geval van nood te ontkomen, dient bijzondere aandacht aan hun veiligheid te worden besteed."*

6 <https://en.wikipedia.org/wiki/ALARP>

7 [https://www.brandweer.nl/media/1359/121116\\_hr\\_bluswatervoorziening.pdf](https://www.brandweer.nl/media/1359/121116_hr_bluswatervoorziening.pdf)

8 [www.piarc.org/en/order-library/6173-en-Human%20factors%20and%20road%20tunnel%20safety%20regarding%20users.htm](http://www.piarc.org/en/order-library/6173-en-Human%20factors%20and%20road%20tunnel%20safety%20regarding%20users.htm)

Publieksvoorlichting vindt in Nederland op de volgende wijze plaats:

- Het KPT heeft een webpagina gericht op publieksvoorlichting met onder andere een algemene voorlichtingsfolder voor weggebruikers<sup>9</sup>.
- Rijkswaterstaat heeft een webpagina gericht op publieksvoorlichting met instructiemateriaal (korte beschrijvingen, schema's en video's<sup>10</sup>, zie **FIGUUR 5.1** als voorbeeld).
- Het KPT, Rijkswaterstaat en het CBR hebben gezamenlijk initiatief genomen om de kennis over tunnelveiligheid te borgen middels examenvragen in het rijexamen en leerstof in de theorieboeken.
- Het KPT heeft een filmpje gemaakt over hoe te handelen bij incidenten in tunnels. Dit filmpje is verspreid via de website, sociale media en nationale televisie (RTL7).
- De ANWB heeft af en toe campagnes of artikelen gericht op tunnelveiligheid.
- Tunnelbeheerders maken specifieke folders/voorlichting per tunnel<sup>11</sup>.



- 1 MTM-systeem detecteert snelheidsverlaging door file. Borden gaan automatisch op 80 en 50 km/u.
- 2 Snelheidsonderschrijdingssysteem geeft melding aan tunneloperator. Camera's tonen locatie van incident. De operator drukt op calamiteitenknop
- 3 Tunnelventilatie in incidentenbuis gaat op 'hard blazen' en voert rook in rijrichting af.
- 4 Vluchtweg wordt in gereedheid gebracht: inschakelen overdrukventilatie en verlichting middeltunnelkanaal.
- 5 Verlichting gaat maximaal branden.
- 6 Verkeerslichten gaan op rood.
- 7 Slagbomen gaan neer.
- 8 Ventilatie in nevenbuis in calamiteitenstand zetten.
- 9 Contourverlichting en lichtbaken boven deur inschakelen.
- 10 Vluchtinstructies uitzenden via speakers.
- 11 Vluchtinstructies uitzenden via autoradio.
- 12 Hulpverleners arriveren via de nevenbuis.
- 13 De hulpverleners betreden de incidentenbuis via de nevenbuis en bovenstrooms door een veilige vluchtdoor voor nadere verkenning.
- 14 Na hulpverlening en controle van de installaties en constructie arriveren andere reparatiediensten voor reparaties, inspecties, etc.

Figuur 5.1 / Infographic over de gang van zaken bij een tunnelbrand. (Bron: Rijkswaterstaat)

<sup>9</sup> [www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl/artikelen/98-tunnelveiligheid-voor-weggebruikers](http://www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl/artikelen/98-tunnelveiligheid-voor-weggebruikers)

<sup>10</sup> [www.rijkswaterstaat.nl/wegen/ongeval-en-pech/pech-file-ongeval-of-brand-in-een-tunnel/index.aspx](http://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/ongeval-en-pech/pech-file-ongeval-of-brand-in-een-tunnel/index.aspx)

<sup>11</sup> Zie bijvoorbeeld: [www.westerscheldetunnel.nl/nl/profiel/westerscheldetunnel/veiligheid.htm](http://www.westerscheldetunnel.nl/nl/profiel/westerscheldetunnel/veiligheid.htm)



## 6 De organisatie (calamiteiten- en beheerorganisatie)

De uitgebreide evaluatie van de rampen in de Alpentunnels heeft niet alleen gewezen op de (technische) tekortkomingen in de tunnels, maar ook op de beperkingen in de beheer- en calamiteitenorganisatie. Deze constatering hebben ertoe geleid dat in de EU-richtlijn ruim aandacht wordt geschonken aan een aantal rollen bij, en de organisatie van, het ontwerp, de bouw en de exploitatie van wegtunnels. De betreffende artikelen uit de EU-richtlijn zijn in de Nederlandse regelgeving terug te vinden.

### 6.1 Rollen

TABEL 6.1 toont de rollen die in de Nederlandse regelgeving aan de orde komen<sup>1</sup>.

Tabel 6.1 / Rollen in de Nederlandse regelgeving voor tunnels.

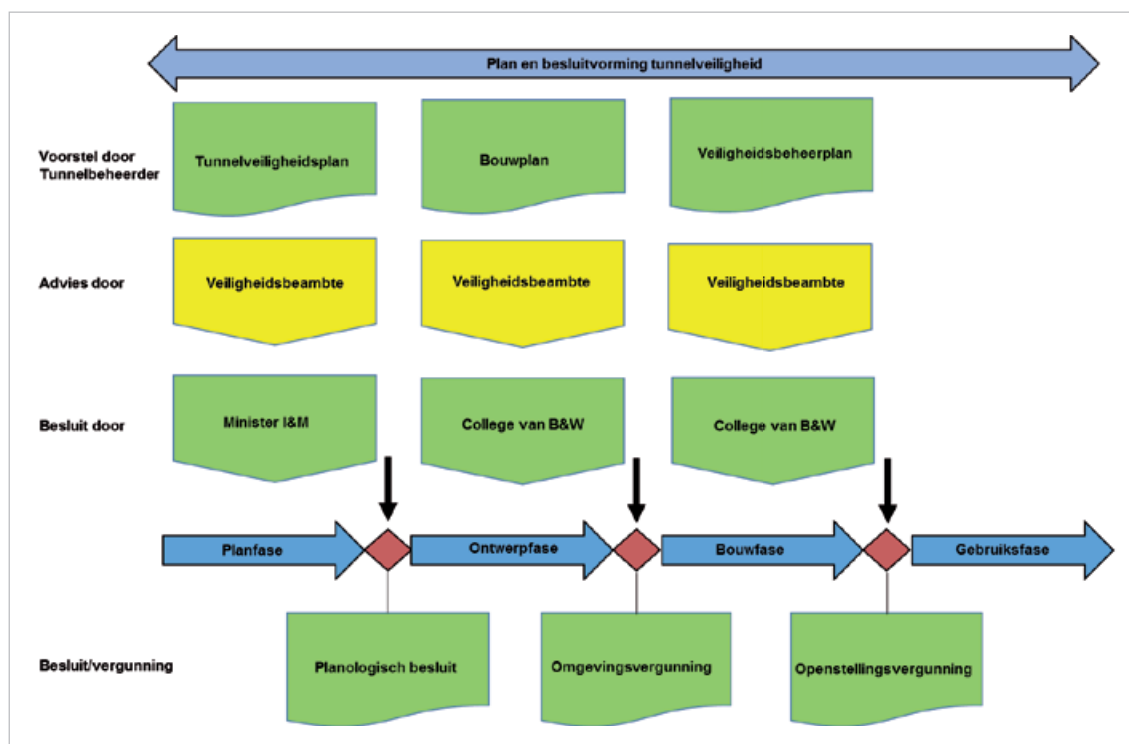
Partijen / rollen	Belang / doelstelling
Tunnelbeheerder <i>In Warvw gedefinieerde rol</i>	Verantwoordelijk voor veilige exploitatie van de tunnel, hiermee verantwoordelijk voor veiligheidsdocumentatie (tunnelveiligheidsplan, bouwplan, veiligheidsbeheerplan), een functionerend technisch tunnelsysteem en een getrainde beheer- en calamiteitenorganisatie.
Tunnelpersoneel <i>Gelieerd aan tunnelbeheerder</i>	Bijvoorbeeld het bedieningspersoneel en de weginspecteurs. Bedieningspersoneel zorgt voor bediening en bewaking van de tunnel en speelt een essentiële rol bij het verkeersmanagement en de calamiteitenafhandeling. Weginspecteurs ondersteunen het bedieningspersoneel op locatie (weg).
Veiligheidsbeambte <i>In Warvw gedefinieerde rol</i>	Leverd gevraagd en ongevraagd advies aan de tunnelbeheerder inzake de tunnelveiligheid. Heeft hierbij nadrukkelijk ook aandacht voor de controle op opleiding, training en oefening (OTO) van de beheer- en calamiteitenorganisatie en is betrokken bij de evaluatie van incidenten. Bij de aanvraag van tunnelveiligheid-gerelateerde vergunningen moet wettelijk een advies van de veiligheidsbeambte gevoegd worden.
Bevoegd college van B en W <i>In Warvw gedefinieerde rol, ook wel 'bevoegd gezag'</i>	Verantwoordelijk voor verlening van de diverse tunnelveiligheid-gerelateerde vergunningen (omgevingsvergunning en openstellingsvergunning), op basis van een toets aan de wettelijke kaders. Daarnaast verantwoordelijk voor handhaving van de wettelijke kaders, met als ultiem middel het intrekken van de vereiste vergunningen voor bouw en gebruik van de tunnel.
Brandweer/hulpdiensten	De brandweer of veiligheidsregio fungeert als adviseur van het bevoegd gezag bij de beoordeling van de aangevraagde vergunningen. Daarnaast is het calamiteitenbestrijdingsplan het resultaat van samenwerking tussen brandweer, tunnelbeheerder en overige partijen die een rol hebben bij calamiteitenbestrijding (waaronder de andere hulpdiensten).

<sup>1</sup> Het begrip 'bevoegd gezag' komt behalve in de Warvw ook in overige wet- en regelgeving voor. Het gaat daarbij om het bestuursorgaan dat bevoegd is om een bepaald besluit te nemen. De minister van Infrastructuur en Milieu is bijvoorbeeld het bevoegd gezag voor het vaststellen van een Tracébesluit. De gemeenteraad en Provinciale Staten zijn bevoegd om een bestemmingsplan respectievelijk provinciaal inpassingsplan vast te stellen. Het college van burgemeester en wethouders is het bevoegd gezag voor het verlenen van een omgevings- en openstellingsvergunning. Hiernaast is het bestuur van de veiligheidsregio verantwoordelijk voor de veiligheidseisen die voortkomen uit de Wet veiligheidsregio's.

Toezichthoudende ambtenaren	Ambtenaren die belast zijn met het toezicht op de naleving van de regels uit de Woningwet, het Bouwbesluit, de Warvw en de Rarvw worden door het bevoegd college van burgemeester en wethouders aangewezen. Hiernaast wordt er namens de Minister van Infrastructuur en Waterstaat toezicht uitgeoefend door de Inspectie Leefomgeving en Transport op de tunnel- en wegbeheerders en de weggebruikers.
-----------------------------	---

## 6.2 Planvorming

Het planvormingsproces dat doorlopen moet worden bij de vergunningverlening staat in de EU-richtlijn beschreven in bijlage II onder 2. Voor de Nederlandse situatie is dit nader uitgewerkt en vastgelegd in de Leidraad Veiligheidsdocumentatie voor wegtunnels<sup>2</sup> (bijlage 2 behorende bij de artikelen 5 en 6 van de Rarvw en artikel 2.13 van de Regeling Omgevingsrecht). FIGUUR 6.1 zet het planvormingsproces grafisch uiteen. In TABEL 6.2 zijn voor de aangegeven fases in het planvormingsproces de relaties en de wettelijke taken en bevoegdheden van de tunnelbeheerder, veiligheidsbeambte en het bevoegd gezag weergegeven.



Figuur 6.1 / Schematische weergave planvormingsproces voor wegtunnels. (Bron: Rijkswaterstaat)

2 [https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Leidraad%20veiligheidsdocumentatie%20voor%20wegtunnels%20\(Rarvw%20bijlage%202\)\\_tcm21-75392.pdf](https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Leidraad%20veiligheidsdocumentatie%20voor%20wegtunnels%20(Rarvw%20bijlage%202)_tcm21-75392.pdf)

Tabel 6.2 / Relaties en de wettelijke taken en bevoegdheden in het planvormingsproces voor wegtunnels.

Partijen / rollen	Plan- en bouwfase	Gebruiksfase
Tunnelbeheerder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stelt veiligheidsbeambte aan (art. 5, lid 3 Warvw).</li> <li>• Vraagt advies aan de veiligheidsbeambte over bouwplan voor bouwactiviteiten (art.6, lid 4 Warvw).</li> <li>• Stelt de (gestandaardiseerde) uitrusting vast in overeenstemming met bevoegd gezag voorafgaand aan de vaststelling van het planologisch besluit (art. 6b Warvw).</li> <li>• Laat kwantitatieve risicoanalyse uit voeren (art. 6b, lid 2 Warvw).</li> <li>• Stelt na overleg met veiligheidsbeambte een tunnelveiligheidsplan op (art. 6c Warvw).</li> <li>• Laat voorafgaand aan een wezenlijke wijziging een kwantitatieve risicoanalyse uitvoeren (art. 6 d Warvw).</li> <li>• Stelt na overleg met veiligheidsbeambte en bevoegd gezag een veiligheidsbeheerplan op en wijzigt dit na een wezenlijke wijziging na overleg met veiligheidsbeambte en bevoegd gezag (art. 7 Warvw).</li> <li>• Vraagt openstellingsvergunning aan voor nieuwe of wezenlijk gewijzigde tunnels en zorgt ervoor dat de tunnel in overeenstemming is met de vergunning (art. 8b Warvw).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Draagt zorg voor een actueel tunnelveiligheidsdossier (art. 10 Warvw).</li> <li>• Stelt binnen vier weken na elk significant incident een toelichtend verslag op en verzendt dat naar de veiligheidsbeambte, bevoegd gezag en hulpverleningsdiensten (art. 10, lid 2 Rarvw).</li> <li>• Evalueert binnen tien weken na elk significant incident en verzendt de rapportage naar de veiligheidsbeambte, bevoegd gezag en hulpverleningsdiensten (art. 10, lid 2 Rarvw).</li> <li>• Onderzoeksverslagen van anderen worden binnen vier weken doorgezonden naar veiligheidsbeambte, bevoegd gezag en hulpverleningsdiensten (art. 10, lid 6 Rarvw).</li> <li>• Zorgt ervoor dat acties in noodsituaties uitgevoerd en geëvalueerd worden. Doet dit in overleg met veiligheidsbeambte (art. 10, lid 6 Rarvw).</li> <li>• Houdt samen met de hulpverleningsdiensten en in samenwerking met de veiligheidsbeambte gemeenschappelijke oefeningen voor het tunnelpersoneel en de hulpdiensten (art.9 Warvw).</li> <li>• Stelt een oefenprogramma op (art. 9 Warvw).</li> <li>• Houdt ten minste eens in de vier jaar een realistische oefening in de tunnel en elk tussenliggende jaar een gedeeltelijke- of simulatieoefening (art. 11, lid 2 Rarvw).</li> <li>• Evalueert samen met veiligheidsbeambte en hulpverleningsdiensten de oefeningen (art. 11, lid 4 Rarvw).</li> <li>• Verstrek van elk document in het veiligheidsdossier een kopie aan de veiligheidsbeambte (art. 12, lid 3 Rarvw).</li> </ul>

Veiligheidsbeambte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coördineert voor de organisatie van de tunnelbeheerder alle veiligheidsmaatregelen (ook preventief) om de veiligheid van de tunnelgebruikers en het tunnelpersoneel te waarborgen (art. 5, lid 5 Warvw).</li> <li>• Is betrokken bij het opstellen en eventueel wijzigen van het veiligheidsbeheerplan (art. 7 Warvw).</li> <li>• Werkt mee aan de afstemming tussen calamiteitenbestrijdingsplannen en de aanvalsplannen van de veiligheidsregio (art. 7 Rarvw).</li> <li>• Neemt kennis van de rampenbestrijdingsplannen van de relevante veiligheidsregio('s), voor zover het de tunnel betreft (art. 7 Rarvw).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controleert regelmatig of tunnelconstructie en voorzieningen worden onderhouden en zo nodig hersteld (art. 9 Rarvw).</li> <li>• Werkt mee aan de evaluatie van significante voorvallen (art. 10, lid 5 Rarvw).</li> <li>• Rapporteert jaarlijks aan de tunnelbeheerder en bevoegd gezag over het incident- en evaluatieproces en hoe wordt omgegaan met verbeterpunten (art. 10 lid 7 Rarvw).</li> <li>• Controleert of tunnelpersoneel geoefend is en werkt mee aan de organisatie van oefeningen (art. 11, lid 1 Rarvw).</li> <li>• Evalueert samen met de hulpverleningsdiensten de tunnelbeheerder de gezamenlijke oefeningen (art. 11, lid 4 Rarvw).</li> </ul>
Bevoegd gezag	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kiest met de tunnelbeheerder de toe te passen (gestandaardiseerde) uitrusting en eventuele afwijkingen daarvan (art. 6, lid 6 Warvw).</li> <li>• Is betrokken bij het opstellen en eventueel wijzigen van het veiligheidsbeheerplan (art. 7 Warvw).</li> <li>• Verstrekt openstellingsvergunning en kan alleen weigeren als de uitrusting niet voldoet aan de (gestandaardiseerde) uitrusting (voor nieuwe tunnels), de tunnel niet voldoet aan de Warvw of Rarvw, of de tunnel niet voldoet aan eisen voor tunnels in het Bouwbesluit (art. 8 Warvw).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Belast met toezicht op naleving van de Warvw (art. 11, lid 1 Warvw).</li> <li>• Draagt zorg dat elke tunnel minstens eens in de zes jaar onderzocht wordt op naleving van de wet en openstellingsvergunning (art. 11, lid 2 Warvw).</li> <li>• Bericht tunnelbeheerder, veiligheidsbeambte en ministers van IenW en BZK in het geval een tunnel niet voldoet aan de wet- en regelgeving (art. 11, lid 3 Warvw).</li> <li>• Kan de openstellingsvergunning van een tunnel intrekken als de tunnel niet voldoet aan de wet- en regelgeving (artikel 11, lid 3 Warvw).</li> </ul>

## 7 Samenhang en analyses

### 7.1 Integrale samenhang in de wet- en regelgeving

De samenhang tussen organisatie, techniek en planvorming is in de wet- en regelgeving en in de bestuurlijke handreiking Openstellingsvergunning wegtunnels<sup>1</sup> terug te vinden.

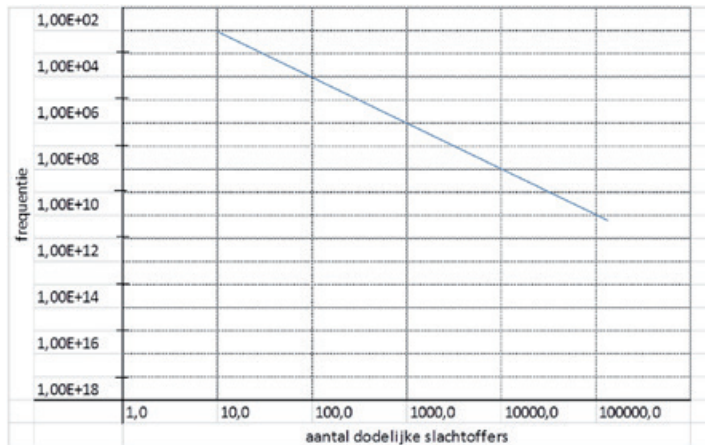
### 7.2 Analyses

De Europese richtlijn schrijft de toepassing van een risicoanalyse voor. De manier waarop die plaatsvindt, wordt evenwel niet voorgeschreven. In Nederland is deze analyse, na de wetsherziening in 2013, geoperationaliseerd in een voorgeschreven kwantitatieve risicoanalyse (*quantitative risk analysis*, QRA)<sup>2</sup>. Daarnaast wordt een scenarioanalyse voorgeschreven bij het opstellen van het veiligheidsbeheerplan (VBP).

#### 7.2.1 Kwantitatieve risicoanalyse (QRA)

Het model voor de QRA is in de loop der jaren ontwikkeld binnen het Steunpunt Tunnelveiligheid van Rijkswaterstaat (reeds bij de analyse van de veiligheid van de Westerscheldetunnel in de jaren negentig werd een voorloper hiervan gebruikt). Voor de invoering van de aangepaste versie (QRA-tunnels 2.0) en verplichtstelling daarvan in de tunnelwet heeft uitgebreid overleg met belanghebbenden plaatsgevonden en zijn testberekeningen, gevoeligheidsanalyses en consequentieonderzoek uitgevoerd.

Met de QRA kan in een vroegtijdig stadium – al tijdens de planfase – aangetoond worden dat een tunnel aan de veiligheidsnorm zal voldoen. De in de Warvw vastgelegde wettelijke veiligheidsnorm is:  $0,1/N^2$  per kilometer tunnelbuis per jaar voor  $N$  groter dan 10, waarbij  $N$  staat voor het aantal dodelijke slachtoffers onder de weggebruikers per incident<sup>3</sup>. Deze norm is in **FIGUUR 7.1** grafisch weergegeven.



Figuur 7.1 / Veiligheidsnorm zoals vastgelegd in de Warvv.

- [www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20130501-IFV-Bestuurlijke-handreiking-openstellingsvergunning-wegtunnels.pdf](http://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20130501-IFV-Bestuurlijke-handreiking-openstellingsvergunning-wegtunnels.pdf)
- [www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/steunpunt-tunnelveiligheid/veiligheidsbeschouwingen/documenten.aspx](http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/steunpunt-tunnelveiligheid/veiligheidsbeschouwingen/documenten.aspx)
- Deze veiligheidsnorm sluit aan bij het normensysteem zoals gehanteerd in het externe veiligheidsbeleid. Voor het groepsrisico in het externe veiligheidsbeleid gelden geen harde normen, maar er is wel een oriëntatiewaarde waarop de overheid zich zo veel mogelijk moet richten. Meer (achtergrond)informatie over het groepsrisico is te vinden in het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi, <http://wetten.overheid.nl/BWBRO016767>) en in de Circulaire Risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen (<http://wetten.overheid.nl/BWBRO016249>).

De analyse wordt gebruikt om te toetsen of de tunnel zoals die wordt beschreven in onderstaande plannen aan de wettelijke norm zal gaan voldoen:

- Het tunnelveiligheidsplan: voor de ruimtelijke inpassing van de tunnel en het Tracébesluit.
- Het bouwplan: voor de omgevingsvergunning.
- Het veiligheidsbeheerplan: voor de openstellingsvergunning.

De QRA bepaalt het groepsrisico (interne veiligheid) voor weggebruikers die door de tunnel rijden. Het model sommeert de kansen en gevolgen van alle mogelijke gebeurtenissen in een tunnel en berekent op basis hiervan een groepsrisicocurve. Hiermee kan worden bepaald:

- of voldaan wordt aan de wettelijke norm, en;
- wat het effect is van veiligheidsmaatregelen op deze norm.

De QRA geeft een goed algemeen beeld van de veiligheid in een tunnel. Voor specifieke situaties en omstandigheden geeft de standaard QRA onvoldoende inzicht in de risico's van een ontwerp. Te denken valt hierbij aan tunnels die voorzien zijn van dwarsventilatie, tunnels waarin zich afslagen bevinden, etc. Om de standaard QRA voor deze situatie aan te passen, is een standaardprocedure voorgeschreven.

De QRA gaat uitsluitend over slachtoffers die in de tunnel vallen, en houdt geen rekening met slachtoffers die buiten de tunnel vallen of met effecten van de omgeving op de tunnel. Ook zaken die te maken hebben met de calamiteitenafhandeling, zoals de bereikbaarheid van de tunnel voor hulpdiensten, vallen buiten het onderzoeksgebied van de QRA, en kunnen worden onderzocht met een scenarioanalyse.

### 7.2.2 Scenarioanalyse

Ten tijde van het ontwerp van de Westerscheldetunnel (midden jaren negentig) ontstonden er discussies over het hanteren van de kwantitatieve risicoanalyse. De stelling rees dat deze beschouwing weliswaar iets zegt over het te verwachten veiligheidsniveau, maar geen enkel uitsluitsel geeft over wat er nu echt gebeurt, respectievelijk gebeuren moet, wanneer er zich een calamiteit voordoet. Aldus werd er in dit project – maar ook direct daarna in het HSL-project, de Noord/Zuidlijn en de Betuweroute – voor gepleit om naast de voornoemde probabilistische aanpak ook een meer deterministische analyse te hanteren: de scenarioanalyse. Bij deze analyse wordt een klein aantal incidentscenario's uitgewerkt, die gezamenlijk een representatieve set vormen voor de ernst, de omvang en de afhandeling van mogelijke ongevallen. Hierbij staan de gevolgen en de afwikkeling van het incident centraal.

Vanaf de ontwerpfase van de Westerscheldetunnel is er een ontwikkeling in gang gezet die uiteindelijk leidde tot een uitgebreide leidraad<sup>4</sup> die deel is gaan uitmaken van de wet- en regelgeving van 2006. De scenarioanalyse was toentertijd bedoeld om het veiligheids- en voorzieningenniveau van een tunnel te toetsen. Het gebruik ervan ter bepaling van de benodigde veiligheidsmaatregelen naast het gebruik van een kwantitatieve methode (QRA) leidde echter tot verwarring over wanneer de tunnel nu veilig was, en wanneer 'veilig' veilig genoeg was. Daarom is de status en het gebruik van de scenarioanalyse in de wetsherziening van 2013 aangepast.

4 *De Leidraad Scenarioanalyse ongevallen in tunnels is onderverdeeld in een deel voor wegtunnels ([www.cob.nl/document/leidraad-scenarioanalyse-ongevallen-in-tunnels-deel-1](http://www.cob.nl/document/leidraad-scenarioanalyse-ongevallen-in-tunnels-deel-1)) en een deel voor spoor-, tram- en metrotunnels ([www.cob.nl/document/leidraad-scenarioanalyse-ongevallen-in-tunnels-deel-2](http://www.cob.nl/document/leidraad-scenarioanalyse-ongevallen-in-tunnels-deel-2)), met appendix: [www.cob.nl/document/leidraad-scenarioanalyse-ongevallen-in-tunnels-deel-2-bijlagenappendix](http://www.cob.nl/document/leidraad-scenarioanalyse-ongevallen-in-tunnels-deel-2-bijlagenappendix)).*

Volgens de huidige wetgeving (Warvw 2013) is de scenarioanalyse een hulpmiddel om de calamiteitenbestrijding voor te bereiden en een middel ter verkrijging van een gedegen veiligheidsbeheerplan (VBP). Het stappenplan in de leidraad vraagt daarom een iets aangepaste invulling. Meer hierover leest u in de paper Scenarioanalyse weg- en spoortunnels<sup>5</sup>.

5 [https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Paper%20Scenarioanalyse%20weg-%20en%20spoortunnels\\_tcm21-75303.pdf](https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Paper%20Scenarioanalyse%20weg-%20en%20spoortunnels_tcm21-75303.pdf)



## Bijlage A Referenties

Noot: onderstaand overzicht is niet uitputtend, de genoemde data zijn ter informatie (de vigerende data aanhouden). Dit overzicht is deels ontleend aan de Landelijke Tunnelstandaard van Rijkswaterstaat.

### A.1 Wet- en regelgeving specifiek voor tunnelveiligheid

- Europese richtlijn 2008/96/EG: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX:32008L0096>
- Rectificatie richtlijn 2004/54/EG van het Europees Parlement en de Raad van 29 april 2004 inzake minimumveiligheidseisen voor tunnels in het trans-Europese wegennet: [https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Rectificatie%20Europese%20richtlijn\\_tcm21-75298.pdf](https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Rectificatie%20Europese%20richtlijn_tcm21-75298.pdf)
- Warvw - Wet aanvullende regels veiligheid wegtunnels: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0019516>
- Rarvw - Regeling aanvullende regels veiligheid wegtunnels: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0019806>
- Bouwbesluit 2012: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0030461>
- Regeling Bouwbesluit 2012: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0030461>
- Wet vervoer gevaarlijke stoffen: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0007606>
- Circulaire vervoer gevaarlijke stoffen door wegtunnels: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0032994>
- Regeling vervoer over land van gevaarlijke stoffen: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0010054>

### A.2 Overige relevante wet- en regelgeving

- Arbeidsomstandighedenwet: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0010346>
- Arbeidsomstandighedenbesluit: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0008498>
- Bouwbesluit 1992/2003/2012: [www.onlinebouwbesluit.nl](http://www.onlinebouwbesluit.nl)
- EMC-richtlijn: [www.euronorm.net/content/template.php?itemID=237](http://www.euronorm.net/content/template.php?itemID=237)
- Laagspanningsrichtlijn: [www.euronorm.net/content/template.php?itemID=74](http://www.euronorm.net/content/template.php?itemID=74)
- Machinerichtlijn: [www.euronorm.net/content/template.php?itemID=71](http://www.euronorm.net/content/template.php?itemID=71)
- Gemeentelijke regelingen:
  - Politieverordeningen (APV)
  - Bouwverordening
  - Tracébesluit, bestemmingsplan(procedure)
- Tracéwet: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0006147>
- Wet veiligheidsregio's: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0027466>
- Reglement verkeersregels en verkeerstekens (RVV 1990): <http://wetten.overheid.nl/BWBR0004825>
- Besluit administratieve bepalingen inzake het wegverkeer (BABW): <http://wetten.overheid.nl/BWBR0004826>
- Wegenverkeerswet 1994: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0006622>
- Woningwet: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0005181>
- Wet algemene bepalingen omgevingsrecht: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0024779>

- Wet ruimtelijke ordening: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0020449>
- Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0022817>
- Wet bodembescherming: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0003994>
- Wet milieubeheer: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0003245>
- Wet verontreiniging oppervlaktewater: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0002682>
- Wet modernisering waterschapsbestel: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0022075>
- Wet op de waterkering: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0007801>
- Wet beheer rijkswaterstaatswerken: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0008331>
- Beleidsregels Toelating en gebruik C2000 door derden: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0026900>
- Regeling C2000 en GMS: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0020268>
- Privacywetgeving: [www.autoriteitpersoonsgegevens.nl/nl/over-privacy/wetten](http://www.autoriteitpersoonsgegevens.nl/nl/over-privacy/wetten)

### A.3 Richtlijnen

- Richtlijnen autosnelwegen (vigerende richtlijnen): [www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/autosnelwegen/index.aspx](http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/autosnelwegen/index.aspx)
- Richtlijnen voor het ontwerpen van niet-autosnelwegen (RONA): <http://publicaties.minienm.nl/documenten/richtlijnen-voor-het-ontwerpen-van-niet-autosnelwegen-rona>
- Landelijke Tunnelstandaard Rijkswaterstaat: [www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/landelijke-tunnelstandaard](http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/landelijke-tunnelstandaard)

### A.4 Kennisdocumenten, standaarden en leidraden

- Veiligheidsrichtlijnen (VRC): [www.cob.nl/document/veiligheidsrichtlijnen-vcrc](http://www.cob.nl/document/veiligheidsrichtlijnen-vcrc)
- Handboek Tunnelbouw: [www.handboektunnelbouw.nl](http://www.handboektunnelbouw.nl)
- Aanbevelingen ventilatie verkeerstunnels: [https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Aanbevelingen%20Tunnelventilatie%20\(2005\)\\_tcm21-75663.pdf](https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Aanbevelingen%20Tunnelventilatie%20(2005)_tcm21-75663.pdf)
- Aanbevelingen voor verlichting van tunnels en onderdoorgangen: [www.nsv.nl/publicaties/richtlijn-tunnelverlichting-pdf](http://publicaties.nsv.nl/publicaties/richtlijn-tunnelverlichting-pdf)
- Handboek wegontwerp 2013 (serie): [www.crow.nl/publicaties/handboek-wegontwerp-2013-serie](http://www.crow.nl/publicaties/handboek-wegontwerp-2013-serie)
- Uitgankelijkheid van wegtunnels voor mensen met een functiebeperking: [www.cob.nl/document/uitgankelijkheid-van-wegtunnels-voor-mensen-met-een-functiebeperking](http://www.cob.nl/document/uitgankelijkheid-van-wegtunnels-voor-mensen-met-een-functiebeperking)
- Brochure vervoer gevaarlijke stoffen en tunnels: [www.infomil.nl/publish/pages/113991/folder\\_vervoer\\_gevaarlijke\\_stoffen\\_en\\_tunnels.pdf](http://www.infomil.nl/publish/pages/113991/folder_vervoer_gevaarlijke_stoffen_en_tunnels.pdf)
- Beslisschema vervoer gevaarlijke stoffen: [https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Schema\\_VGS-tunnels\\_tcm21-31935.pdf](https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Schema_VGS-tunnels_tcm21-31935.pdf)
- Leidraad veiligheidsdocumentatie voor wegtunnels: [http://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Leidraad%20veiligheidsdocumentatie%20voor%20wegtunnels%20\(Rarvw%20bijlage%202\)\\_tcm21-30650.pdf](http://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Leidraad%20veiligheidsdocumentatie%20voor%20wegtunnels%20(Rarvw%20bijlage%202)_tcm21-30650.pdf)
- Leidraad scenarioanalyse ongevallen in tunnels, deel 1 (wegtunnels), mei 2004: [http://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Leidraad%20scenarioanalyse%20voor%20wegtunnels\\_tcm21-30603.pdf](http://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Leidraad%20scenarioanalyse%20voor%20wegtunnels_tcm21-30603.pdf)
- Raakvlakkenmatrix Handboek Tunnelinstallaties, 2009: [www.cob.nl/document/raakvlakkenmatrix-handboek-tunnelinstallaties-t116](http://www.cob.nl/document/raakvlakkenmatrix-handboek-tunnelinstallaties-t116)

- Documenten over de veiligheidsbeschouwing van tunnels, o.a. achtergronddocument en gebruikershandleiding QRA-tunnels 2.0: [www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/steunpunt-tunnelveiligheid/veiligheidsbeschouwingen/documenten.aspx](http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/steunpunt-tunnelveiligheid/veiligheidsbeschouwingen/documenten.aspx)
- De veiligheid in wegtunnels, een hele belevenis, A.J. Meijering, januari 2005, NSOB/NIBRA, scriptie Master of Crisis and Disaster Management, leergang 6: [www.ifv.nl/kennisplein/Documents/meijering-6-veiligheid-in-wegtunnels.pdf](http://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/meijering-6-veiligheid-in-wegtunnels.pdf)



## Bijlage B Gestandaardiseerde uitrusting (Rarvw)

Tabel B.1 / Gestandaardiseerde tunneluitrusting die bedoeld wordt in artikel 6a, eerste lid van de Warvw, en gespecificeerd is in artikel 13 en 13a t/m d van de Rarvw

Voorziening	Tunnel 250-500 m	Tunnel >500 meter
Afsluitbomen	Indien de beheerder dit verkeerskundig noodzakelijk acht, beschikt de tunnel over handmatig bedienbare afsluitbomen.	X
Bedieningsinstallatie		X
Beeldvoorziening meldkamer		X
Bluswatervoorziening	X	X
C2000	X	X
Calamiteitendoorsteek	X	X
Closed-circuit television (CCTV)		X
Detectie snelheidsoverschrijdingen en spookrijders		X
Elektrische energiebron	X	X
Eventrecorder		X
Hoogfrequentinstallatie		X
Verkeersmanagementsysteem		X
Verkeersmanagementsysteem koppeling verkeersbuis		X
Hulpdienstpaneel		X
Hulpposten	X	X
Intercom		X
Luchtkwaliteitsmeters		X
Noodbedieningsinstallatie		X
Noodtelefoon	X	X
Omroepinstallatie verkeersbuis		X
Overdrukvoorziening grensruimte, tenzij er geen grensruimte is	X	X
Ventilatie		X
Verkeerslichten		X
Verlichting verkeersbuis	X	X
Vloeistofafvoer	X	X

Vloeistofpompinstallatie	X	X
Vluchtdeurindicatie	X	X
Veilige vluchtroute, bestaande uit:	X	X
Een middentunnelkanaal, met de volgende uitrusting:		X
• Verlichting veilige vluchtroute	X	X
• Omroepinstallatie veilige vluchtroute	X (mits bediend)	X
• Rij van vluchtdeuren of in geval van een middentunnelkanaal zonder kopdeuren als vluchtingang: een rij van vergrendelbare vluchtdeuren	X	X
• Overdrukvoorziening veilige vluchtroute	X (mits bediend)	X
• Kopdeur middentunnelkanaal, tenzij dit ontwerptechnisch niet mogelijk is; dan wordt de laatste deur van de rij van vergrendelbare vluchtdeuren tot vluchtingang bestemd	X	X
• Dynamische vluchtroute-indicatie	X (mits bediend)	X
<i>of</i>		
Dwarsverbindingen met een verkeersvrij te maken verkeersbuis met de volgende uitrusting:		X
• Verlichting veilige vluchtroute		X
• Omroepinstallatie veilige vluchtroute		X
• Rij van vergrendelbare vluchtdeuren		X
• Overdrukvoorziening veilige vluchtroute		X
• Dynamische vluchtroute-indicatie		X
<i>of</i>		
Een verkeersvrij te maken verkeersbuis. Deze tunnel bevat in aanvulling op het eerste lid een rij van vergrendelbare vluchtdeuren.		X
<b>Indien de doorrijhoogte van een tunnel (&gt; 500 meter) lager is dan 4,7 meter, dan beschikt de tunnel in aanvulling op de gestandaardiseerde uitrusting genoemd in artikel 13 over:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoogtedetectie zoals weergegeven in bijlage 5 bij de Rarvw.</li> <li>• Closed-circuit television waarmee de situatie bij de hoogtedetectoren in beeld wordt gebracht.</li> </ul>		
<b>Indien het een tunnel (250 meter of langer) onder een waterweg betreft, dan beschikt de tunnel in aanvulling op de gestandaardiseerde uitrusting over:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hittewerende bekleding die de constructie twee uur bescherming biedt tegen brand conform de RWS-brandkromme als bedoeld in NEN-EN 1991-1-2.</li> </ul>		

<p><b>Indien het mogelijk is om de verkeersrichting in een tunnelbuis (tunnel &gt;500 meter) om te keren, dan beschikt elke betreffende tunnelbuis in aanvulling op de gestandaardiseerde uitrusting over:</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoogtedetectie aan beide zijden van de verkeersbuis boven elke rijstrook en ruimtereserveringsstrook indien het profiel van vrije ruimte in de verkeersbuis lager is dan 4,7 meter.</li> <li>• Verkeerslichten aan beide zijden van de verkeersbuis.</li> <li>• Afsluitbomen aan beide zijden van de verkeersbuis.</li> <li>• Detectie van stilstaande voertuigen en spookrijders die in twee richtingen werkzaam is.</li> </ul>
<p><b>Bovendien:</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geldt bijlage 4, paragraaf 11, voor beide rijrichtingen.</li> <li>• Is bijlage 4, artikel 17.2, tweede lid niet van toepassing.</li> <li>• Dienen de verlichtingszones vanuit beide richtingen te worden gezien.</li> <li>• Zijn de closed-circuit televisioncamera's 180 graden draaibaar.</li> <li>• Wordt verkeersmanagementsysteem voor beide rijrichtingen uitgevoerd.</li> <li>• Indien de beheerder dit verkeerskundig noodzakelijk acht, beschikt de tunnel tevens over een verrijdbare bermbeveiliging of beweegbare barrier.</li> </ul>



# Bijlage C Overzicht tunneltechnische installaties

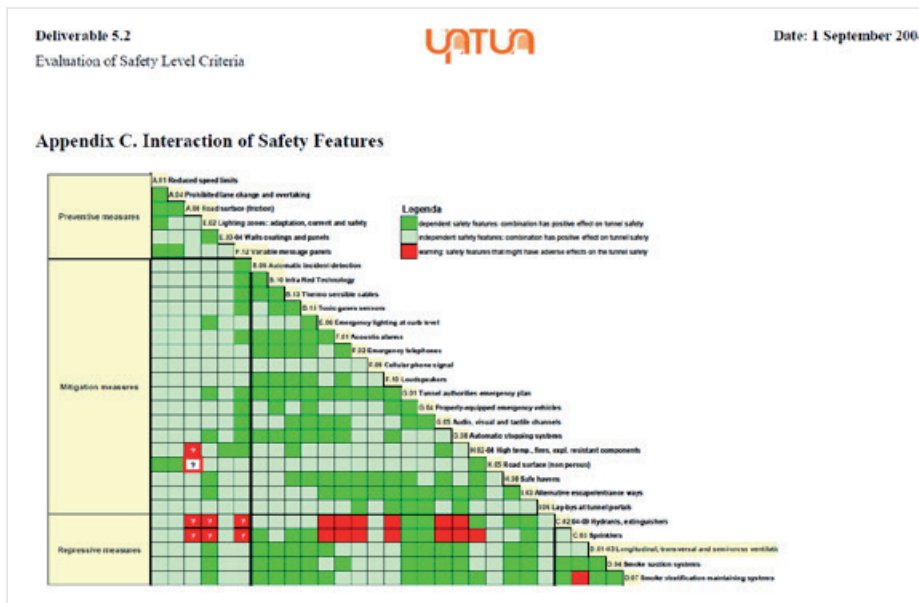
In deze bijlage worden de belangrijkste technische installaties voor tunnels kort toegelicht. Dit gebeurt aan de hand van de binnen dit document aangehouden vierlagenfilosofie: preventie (§ C.1), mitigatie (§ C.2), zelfredzaamheid (§ C.3) en ondersteuning hulpverlening (§ C.4). Vervolgens wordt nader ingegaan op tunnelverlichting (§ C.5) en ventilatie (§ C.6).

Deze bijlage is geen volledige opsomming en beschrijving van de verkeers- en tunneltechnische installaties. Een compleet overzicht en omschrijving van alle installaties vindt u in de Warw<sup>1</sup>, Rarw<sup>2</sup> en Landelijke Tunnelstandaard<sup>3</sup>.

De toelichting van de installaties vindt plaats aan de hand van de binnen dit document aangehouden vierlagen filosofie:

1. Preventie
2. Mitigatie
3. Zelfredzaamheid
4. Ondersteuning hulpverlening

Overigens kan opgemerkt worden dat een aantal installaties in verschillende lagen een functie hebben en elkaar ook nog kunnen versterken. FIGUUR C.1 toont een visualisatie die afkomstig is uit het project UPTUN.



Figuur C.1 / De wisselwerking tussen verschillende veiligheidsvoorzieningen.

1 <http://wetten.overheid.nl/BWBRO019516>  
 2 <http://wetten.overheid.nl/BWBRO019516>  
 3 [www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/landelijke-tunnelstandaard](http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/aanleg-tunnels/landelijke-tunnelstandaard)

## C.1 Tunneltechnische installaties in het kader van preventie

Met 'preventie' wordt in dit kader bedoeld: het garanderen van een veilige doorstroming. Hiervoor is het voorkomen van stremmingen en ongevallen een belangrijke voorwaarde. Detectie van afwijkingen in de doorstroming en het informeren hierover van de weggebruiker zijn hierbij essentieel. Voorwaarden zijn een goed ruimtelijk wegbeeld, een goed vormgegeven tunnelingang met daglichtroosters en voldoende doorrijhoogte voor het verkeer. De volgende systemen ondersteunen een veilige en gegarandeerde doorstroming:

- **Automatische incidentdetectie/variabele snelheidsborden/filedosering**  
*Detecteren van te lage snelheid, stilstand of spookrijden van (een) voertuig(en), of de dreiging van fileterugslag in de tunnel (waarna kan worden gedoseerd aan de instroomzijde van de tunnel).*

In de jaren zestig werd voor het eerst in Nederland een kruispijlsysteem toegepast. Dit systeem was uit Amerika afkomstig en werd daar toegepast bij het *keep your lane*-principe. De besturing vond plaats door telefoonrelais. Na de Coentunnel werden achtereenvolgens ook de Schipholtunnel, de Beneluxtunnel en de Heinenoordtunnel van een dergelijk systeem voorzien. Deze laatste echter door toepassing van moderne schakeltechnieken.

Tijdens de bouw van de Drechtunnel is de tweede generatie verkeersdetectie geïntroduceerd. De detectie van het verkeer was tot die tijd een probleem geweest, maar met de komst van de lusedetectoren in het wegdek en de toepassing van elektronica werd het mogelijk om de dichtheid en de snelheid van het verkeer te meten. Deze generatie van automatische filedetectiesystemen was tevens in staat om adviessnelheden per rijstrook te tonen.



Figuur C.2 / Matrixborden met informatie voor het verkeer.

- **Motorway traffic management (MTM)**  
*Voorkomen van incidenten door het reguleren van het gedrag van voertuigen, door het detecteren van snelheid en aantal voertuigpassages per tijdseenheid met behulp van verkeerslussen en het geven van instructies via signaalgevers.*

Dit systeem is in de jaren zeventig ontwikkeld vanuit de volgende uitgangspunten:

1. Minder filestaartongevallen.
2. Veiligstellen ongevallen door afkruisen rijstro(o)k(en).
3. Minder borden langs de weg bij wegwerkzaamheden.

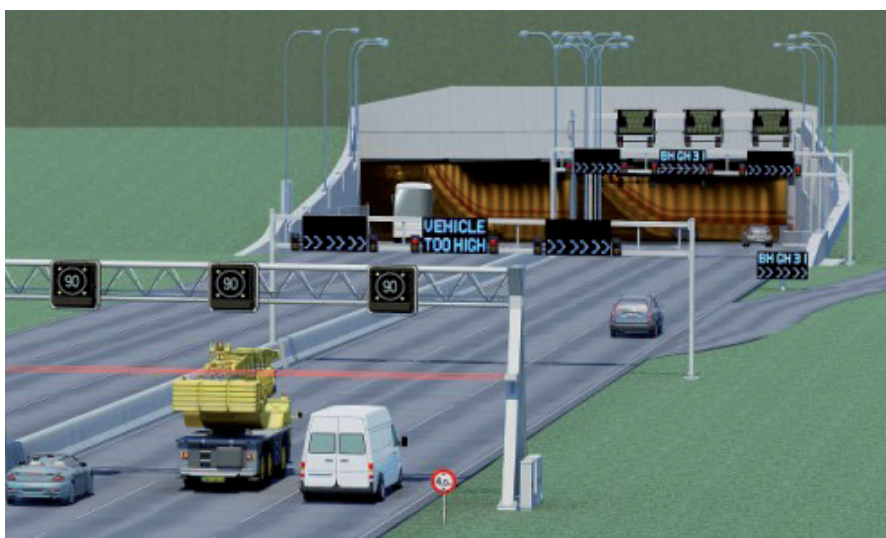
Vanaf de jaren negentig is het systeem steeds meer gebruikt om de doorstroming te bevorderen. Om aanrijdingen aan de staart van files te voorkomen, is een waarschuwingssysteem geïntegreerd. Tevens levert het systeem meetgegevens aan voor de file-informatie aan de weggebruiker, zoals verkeersintensiteiten, snelheden en voertuigcategorieën. Het MTM-systeem wordt bediend vanuit één van de verkeerscentrales.

- **Dynamische route-informatiepanelen**

*Een dynamisch route-informatiepaneel (DRIP) is een instrument waarmee routeinformatie kan worden gegeven aan de weggebruiker.*

Doel van een DRIP is de verdeling van de verkeersstromen op de ring- en overige autosnelwegen te optimaliseren, door de congestiekans te verkleinen en het reiscomfort van weggebruikers te verhogen.

De standaard DRIP kan drie regels tekst tonen, maar sinds medio 2006 is in Nederland een nieuw type in gebruik genomen, de zogeheten bermDRIP, waarop naast tekst ook grafische afbeeldingen kunnen worden getoond (zie **FIGUUR C.3**). Meestal wordt voor twee routes naar een gemeenschappelijk eindpunt aangegeven in hoeverre er files zijn, met de reis- en vertragingstijden, maar soms betreft het twee of drie routes die ten opzichte van elkaar geen alternatief vormen. Voorheen werden de totale reistijden of filelengtes getoond. Vanaf november 2010 wordt overal de standaard reistijd (de tijd die men erover doet als er geen sprake is van vertraging) en vertragingstijd getoond. Zo weten weggebruikers niet alleen hoe lang zij in totaal over het traject doen, maar ook of er sprake is van vertraging en hoeveel deze bedraagt. Via het paneel kan de weggebruiker ook worden geïnformeerd over incidenten, stremmingen of andere bijzondere omstandigheden.



Figuur C.3 / MTM (links) en bermDRIP (rechts).

- **Hoogtedetectie**

*Systeem om te voorkomen dat te hoge voertuigen de tunnel binnenrijden, waardoor installatiedelen aan het plafond en/of constructie worden beschadigd.*

Indien een te hoog voertuig wordt gedetecteerd, gaan de bij de tunnel geplaatste verkeerslichten op rood en wordt het te hoge voertuig afgeleid via een afsluitbare dienstweg. Bij een aantal tunnels vindt de detectie van het te hoge voertuig al op enkele honderden meters voor de ingang van de tunnel plaats.

- **Tunnelverlichting normaal bedrijf**

*Voor weggebruiker, wegverkeersleider en hulpdiensten zichtbaar maken van het verloop van de rijbaan en verkeersbuis, medeweggebruikers en obstakels, en incidenten.*

De verlichting heeft een ondersteunende rol in alle lagen van de vierlagenfilosofie. Zie nadere beschrijving in § C.5.



*Figuur C.4 / Ledverlichting in de Tweede Coentunnel. (Foto: beeldbank Rijkswaterstaat/Harry van Reeken).*

- **Vloeistofafvoersystemen normaal bedrijf**

*Het voorkomen van plasvorming door het uit de tunnel afvoeren van water naar de omgeving (bijvoorbeeld het openbaar riool, het open water of een andere locatie buiten de tunnel).*

## C.2 Tunneltechnische installaties in het kader van mitigatie

Bij mitigatie in de integrale veiligheid hanteert men het credo: "Mocht er toch wat gebeuren, beperk dan de gevolgen, en wees voorbereid op de eventuele gevolgen." Voorwaarden van civiele aard zijn vluchtstroken in een onbediende tunnel langer dan 250 meter, een gesloten wegdek en riolering ten behoeve van de afvoer van gevaarlijke stoffen en hitte-werende bekleding. De volgende systemen ondersteunen de mitigatieprocessen in een tunnelsysteem. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen communicatiesystemen, detectiesystemen en overige systemen.

### C.2.1 Communicatiesystemen

- **Noodtelefoon**

*Leveren van een directe communicatielijn tussen de wegverkeersleider en de weggebruiker, onderhoudspersoneel en/of hulpdiensten.*

Voor gestrande weggebruikers en voor hulpverleners tijdens calamiteiten is de noodtelefoon het hulpmiddel om contact op te nemen met de wegverkeersleider. De

noodtelefoontoestellen bevinden zich in de hulpposten. Momenteel wordt in tunnels die GSM ondersteunen steeds meer gebruikgemaakt van de mobiele telefoon als communicatiemiddel, zowel door de weggebruiker als de hulpdiensten.



Figuur C.5 / Hulppost met noodtelefoon.

- **Intercom**

*Leveren van een directe communicatielijn tussen de wegverkeersleider en weggebruiker, onderhoudspersoneel en/of hulpdiensten op diverse locaties buiten de verkeersbuis.*

Naast de intercom wordt in toenemende mate gebruikgemaakt van de mobiele telefoon.

- **HF-installatie**

*Voor het doorgeven van de communicatie tussen de hulpdiensten (C2000, zie § C.4) en het geven van instructies en informatie aan de weggebruikers door het ondersteunen van radiozenders en het inbreken hierop.*

Door het geven van instructies en informatie naar de weggebruiker door het inbreken op de radiozender heeft de HF-installatie naast zijn ondersteuning bij de mitigerende processen ook een belangrijke functie bij het bevorderen van de zelfredzaamheid. Via de HF-installatie kunnen alleen die mensen bereikt worden die zich in de auto in de tunnel bevinden en de autoradio hebben ingeschakeld op een van de drie (per tunnel gekozen) radiozenders (bijvoorbeeld Radio 1, 2 en 3).

- **Luidsprekerinstallatie**

*Voor het geven van auditieve boodschappen aan personen in de verkeersbuis en op de toeritten.*

Om het publiek te informeren over de reden van stremming of om aanwijzingen te geven bij noodzakelijke ontruiming van de tunnel heeft de wegverkeersleider naast de HF-installatie de beschikking over een omroepsysteem met luidsprekers. Omdat de HF-installatie alleen toereikend is voor mensen die luisteren naar specifieke radiozenders, heeft de luidsprekerinstallatie naast zijn ondersteuning bij de mitigerende processen ook een belangrijke functie bij het bevorderen van de zelfredzaamheid.



Figuur C.6 / Luidspreker in tunnel.

- **Waarschuwinginstallatie dienruimtes tunnel**

*Kenbaar maken van een brand, bommelding of overige mogelijk gevaarlijke situatie aan mensen die zich in (technische) ruimtes van de tunnel buiten de verkeersbuizen bevinden.*

- **Monitoring (closed-circuit television, CCTV)**

*Het door de wegverkeersleider op afstand observeren van verkeer, verkeersbuis en incidenten, zowel actueel als achteraf, en het gericht visueel ondersteunen van incidentafhandeling.*

In de normale bedrijfssituatie wordt met de CCTV-installatie de bewakings- en controletaak van het verkeer verricht. Hiermee kan de verkeersveiligheid worden bevorderd, omdat de operator de meest geëigende maatregelen kan treffen. Daarnaast heeft de CCTV-installatie een belangrijke functie bij de detectie van brand en het waarnemen tijdens een calamiteit. Automatische detectiesystemen verlichten de taak van de wegverkeersleider, maar kunnen niet worden ingezet bij het afsluiten van de tunnelbuis of bij het waarnemen van de aard van een stremming.

Met CCTV moet op iedere locatie in de verkeersbuis elk mogelijk incident geobserveerd kunnen worden, zodat dit naar behoren afgewikkeld kan worden. Om de herkenbaarheid van het beeld te vergroten, wordt thans gewerkt met (HD) kleuren CCTV-systemen.



Figuur C.7 / Illustratie CCTV-systeem en centrale bediening.

## C.2.2 Detectiesystemen

- **Branddetectie**

Voor de detectie van branden in tunnels worden een zichtmetingsysteem, een snelheidsdetectiesysteem, CCTV en een doormeldsignaal bij het openen van hulppostkasten toegepast.

Bij een brand komen rookgassen en warmte vrij. Rookgassen vormen zich meestal in een vroegtijdig stadium van de brandontwikkeling en hebben een van lucht afwijkende lichtabsorptie en chemische samenstelling. Zodra een brand zich verder heeft ontwikkeld, ontstaat er warmte in de vorm van convectie en straling. Dit maakt het mogelijk brand te detecteren door het meten van:

- Temperatuur(veranderingen).
- Chemische bestanddelen.
- Warmtestraling.
- Lichtdoorgang door middel van zichtmeting.

Een systeem voor branddetectie is alleen zinvol als het snel en betrouwbaar werkt.

De totale responstijd vereist een systeem dat zo dicht mogelijk bij de brand is geplaatst, dat snel reageert en niet beïnvloed wordt door obstakels en het tunnelmilieu.

Branddetectie door meting van chemische bestanddelen en warmtestraling geeft door de eigenschappen geen goede basis voor een snelle detectie. Een vroegtijdige indicatie van een brand is wel mogelijk met een zichtmeting en camerabeeldanalyse.

Voor automatische brandmelding naar de brandweer voldoen de temperatuurmetingen in de vorm van een lijnmeting. Het systeem dat de beste mogelijkheden biedt voor brandmelding en langdurige observatie van de brand is momenteel de lijnmeting op basis van glasvezeltechniek. Potentieel voldoet ook een zichtmeting.

- **Gevaarlijke stoffen detectie**

Naar de aard van de volgende gevaarlijke stoffen, zijn er drie detectieprincipes:

*Luchtkwaliteit*

Uitlaatgassen van verbrandingsmotoren bevatten voor de gezondheid schadelijke bestanddelen. Gezien de ontwikkelingen bij de auto-industrie is de NO<sub>2</sub>-waarde, als onderdeel van de NO<sub>x</sub>-concentratie van uitlaatgassen, maatgevend geworden. Het meten van CO is vanwege de zeer lage concentraties in uitlaatgassen niet langer zinvol. Tegenwoordig zijn betrouwbare systemen beschikbaar voor het direct meten van de NO<sub>2</sub>-concentratie in de lucht (ppm). Voorheen was het alleen mogelijk om de NO<sub>2</sub>-concentratie indirect te bepalen aan de hand van de zichtmeetwaarde, aangezien er sprake is van een zekere correlatie tussen de zichtmeetwaarde  $k$  en de concentratie NO<sub>2</sub>. Deze indirecte bepaling is echter veel onnauwkeuriger dan een directe meting, die derhalve de voorkeur verdient.

*Aanwezigheid van een explosiefluchtmengsel.*

De aanwezigheid van een explosiefluchtmengsel wordt gemeten door zogeheten *lower explosion limit* (LEL) meters. Deze meters worden pas recentelijk toegepast in categorie-A tunnels.

*Aanwezigheid van voertuigen met gevaarlijke stoffen in de tunnel*

De gevaarklasse van de vervoerde stof staat in combinatie met een stofidentificatienummer vermeld op een rechthoekig oranje bord van het voertuig. Door herkenning van deze etikettering voor en na de tunnel is vast te stellen of er zich voertuigen met gevaarlijke stoffen in de tunnel bevinden. Een andere mogelijkheid is detectie via nummerplaat herkenning. Beide detectiemethoden/-systemen zijn nog in ontwikkeling.

### C.2.3 Overige systemen

Naast de tunnelverlichting zijn er in het kader van mitigatie twee overige systemen:

- **Tunnelventilatie tijdens normaal bedrijf**

Doel van de ventilatie tijdens normaal bedrijf:

- Het beperken van de concentraties verkeersemisatie, zowel binnen de tunnel als in de directe nabijheid van de tunnel.
- Het zorgen voor de noodzakelijke luchtverversing in onderhoudsbedrijf.

Zie voor nadere beschrijving § C.6.



Figuur C.8 / Ventilatievoorziening in de tunnel.

- **Vloeistofafvoersystemen**

*Beperken of voorkomen van plasvorming door het uit de tunnel afvoeren van water en andere vloeistoffen naar de omgeving (bijvoorbeeld het openbaar riool, het open water of een andere locatie buiten de tunnel).*

Het afvoersysteem heeft te maken met vier verschillende soorten water en vloeistoffen:

5. Regenwater. Dit is onder te verdelen in:
  - a. Vuilwater: regenwater dat in een hoofdkelder opgevangen is in de vuilvloeistofopslag of (afhankelijk van het type kelder) hoofdvloeistofopslag.
  - b. Schoonwater: regenwater dat in een hoofdkelder opgevangen is in de schoonvloeistofopslag of (afhankelijk van het type kelder) hoofdvloeistofopslag.
6. Verontreinigde vloeistof: water en/of andere vloeistoffen (bijvoorbeeld benzine die uit een tankwagen weglekt na een ongeval), eventueel met andere verontreinigingen. Verontreinigde vloeistof kan vrijkomen bij calamiteiten, blussen, of wassen van de verkeersbuis. Noot: tot aan de bouw van de Zeeburgertunnel is er geen rekening gehouden met het vervoer van gevaarlijke stoffen door tunnels.
7. Lekwater: water van buiten de tunnel dat in de tunnel komt door lekken in de tunnelconstructie.

Vloeistoffen die vrijkomen in een verkeersbuis worden via het wegdek, goten, putten en rioolbuizen verzameld in één of meer vloeistofkelders en uiteindelijk met pompen afgevoerd naar de omgeving. De bergingscapaciteit van een kelder moet voldoende zijn om de te verwachten vloeistofhoeveelheden bij een maatgevende regenbui (voor zover de watertoevoer de afvoercapaciteit van de pompen overtreft) tijdelijk te kunnen bergen.

Elke opslag heeft zijn eigen vloeistofpompinstallatie. Op basis van het gemeten vloeistofniveau voeren de pompen de vloeistof uit een opslag af via afvoerleidingen.

Door het gescheiden afhandelen van 'schoon water' en 'vuil water' kan aanzienlijk beperkt worden op de te behandelen hoeveelheid afvalwater uit de tunnel (het gescheiden/*first flush*-principe).



Figuur C.9 / Pompinstallatie.

Plasgroottebeperking zorgt ervoor dat het te verdampen oppervlak bij een calamiteit met brandgevaarlijke vloeistoffen beperkt is en dat de kans verkleind op het bereiken van de LEL en een gaswolkexplosie. Naast het voorkomen van een gaswolkexplosie in de tunnelbuis moet ook een eventuele explosie in de rioleringsbuis worden voorkomen, die ertoe kan leiden dat de tunnelconstructie alsnog bezwijkt of dat de explosie doorslaat in de waterkelders waardoor het kelderdak bezwijkt. Hiervoor zijn de zogeheten expansieoosters voorzien.

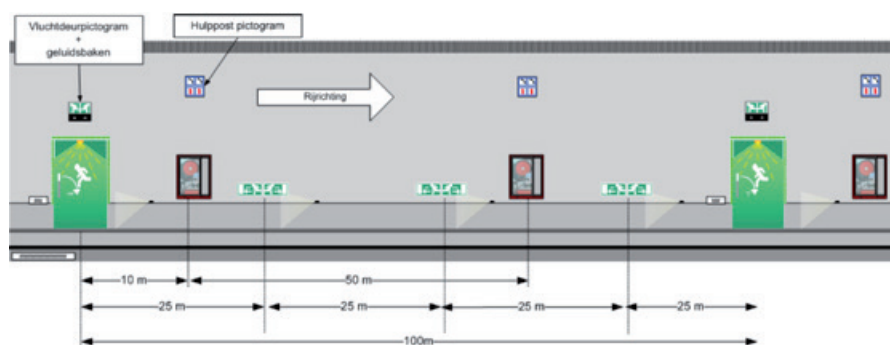
### C.3 Tunneltechnische installaties in het kader van zelfredzaamheid

De installaties in het kader van de zelfredzaamheid ondersteunen bij het veilig vluchten van personen uit de verkeersbuis.

- **Vluchtroutes**

De belangrijkste voorziening voor de zelfredzaamheid zijn de vluchtroutes. Voorwaarde is dat vluchtroutes obstakelvrij worden gehouden. Vluchtroutes voor tunnels bestaan er in vele variaties:

- Via vluchtdeuren naar een middentunnelkanaal en uitgang:
  - ... via kopdeuren van het middentunnelkanaal, of;
  - ... via laatste vluchtdeur van het middentunnelkanaal naar de ondersteunende buis.
- Via vluchtdeuren in een middenwand naar de ondersteunende buis.
- Via vluchtdeuren en een dwarsverbinding naar de ondersteunende verkeersbuis.



Figuur C.10 / Schematische weergave van mogelijke vluchtroutes.

In het huidige vluchtconcept wordt via het obstakelvrije middentunnelkanaal tegen de rijrichting van de calamiteitenbuis gevlucht. Er worden maatregelen getroffen om ervoor te zorgen dat de vluchtenden aan het einde van het middentunnelkanaal niet in de rook terecht komen, bijvoorbeeld door tunnelmonden te laten verspringen. In de Rarw, bijlage 3 artikel 20.3 lid 1, is bepaald dat aan het einde van de vluchtroute een verzamelplaats is die zich op een veilige afstand in relatie tot explosies bevindt (ten minste 150 meter van de tunnelmond).

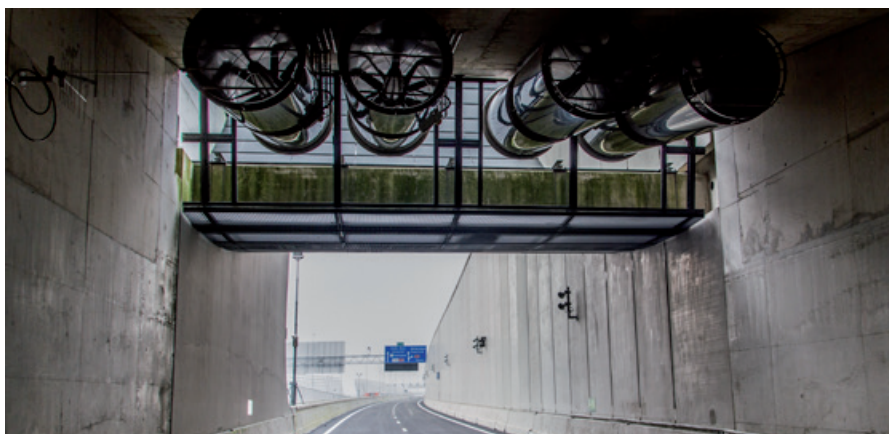
Een aantal van de installaties beschreven in § C.2 hebben ook een belangrijke rol bij de zelfredzaamheid. Dit betreft voornamelijk de luidspreker- en HF-installatie voor het toespreken en instrueren van de weggebruikers om het voertuig en de tunnel te verlaten, maar ook de tunnelverlichting (schakeling naar 100 procent) en tunnelventilatie tijdens calamiteitenbedrijf.

- **Tunnelventilatie tijdens calamiteitenbedrijf**

Doel van de ventilatie van een verkeersbuis tijdens calamiteitenbedrijf:

- Het beheersen van de beweging van rook, gassen en dampen die vrijkomen bij een calamiteit (brand, gevaarlijke stoffen, e.d.).
- Het afvoeren van warmte bij brand.

De aanvoer van zuurstof door de ventilatie zorgt voor een volledige verbranding en bijgevolg minder rook, minder kans op explosie, maar wel hogere temperaturen (die weer verlaagd worden door de aanvoer van koude lucht). Zie voor nadere beschrijving § C.6.



Figuur C.11 / Ventilatie bij ingang Tweede Coentunnel (Foto: beeldbank Rijkswaterstaat/Erlend Bakker).

- **Vluchtwegventilatie**

Door middel van een overdrukinstallatie wordt voorkomen dat stofwolken, rook of schadelijke gassen of dampen die vrijkomen bij een brand of ongeval vanuit de incidentbuis, de veilige ruimte kunnen binnendringen.

Zie voor nadere beschrijving § C.6.

- **Waarschuwings-en route-indicatiesystemen**

Directief ondersteunen van evacuatie door met visuele en auditieve middelen de aanwezigheid en locatie van een vluchtdoor aan te geven, door:

- het aangeven van de veilige richting met evacuatiepictogrammen op vluchtroute;
- aanstraalverlichting;
- geluidsbakens;
- dynamische vluchtroute-indicatie veilige ruimte.

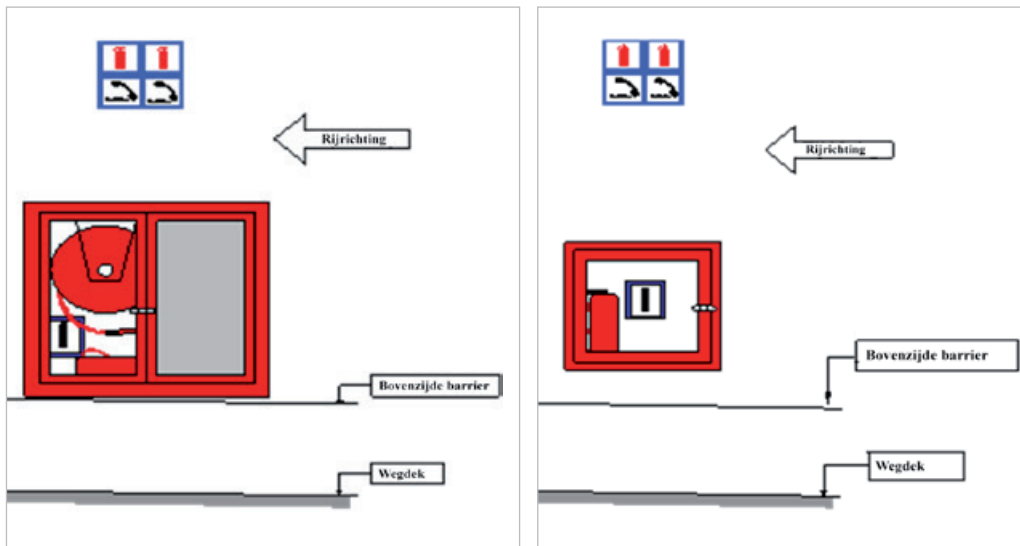


Figuur C.12 / Vluchtroute-informatie.

- **Hulpposten**

*Aanbieden van hulpmiddelen aan weggebruikers en hulpverleners, op een duidelijk herkenbare locatie, om een incident of eventuele gevolgen te melden en te bestrijden.*

Hulpposten dienen ter ondersteuning van de zelfredzaamheid van weggebruikers, en dienen daarom als zodanig herkenbaar te zijn.



*Figuur C.13 / Hulpposten, type 1 (links) en type 2 (rechts).*

Een hulppost type 1 bevat onder meer een noodtelefoon een draagbaar brandblusapparaat, inwendige verlichting en drie wandcontactdozen die elk geschikt zijn voor 230V en die elk 16A gezekeerd zijn. Als de tunnel langer is dan 500 meter, bevat deze hulppost bovendien een slanghaspel en een dubbele brandslangaan sluiting met elk een doorsnede van 2.5 inch. Een hulppost type 2 bevat een noodtelefoon, een draagbaar brandblusapparaat, inwendige verlichting en een wandcontactdoos geschikt voor 230V en die 16A gezekeerd is.

#### C.4 Ondersteuning hulpverlening

Dit betreft de fase waarin de professionele hulpverlening (OHD) aanwezig is om verdere escalatie te voorkomen en de calamiteit te bestrijden. Voorwaarde voor hulpverlening zijn calamiteitendoorsteeken bij de tunnelingang, om de tunnelingang rondlopende dienstwegen en aanval sdeuren. Enkele systemen die deze repressie ondersteunen, zijn hieronder weergegeven.

- **C2000-systeem**

*Verzorgen van de communicatie tussen de hulpdiensten onderling.*

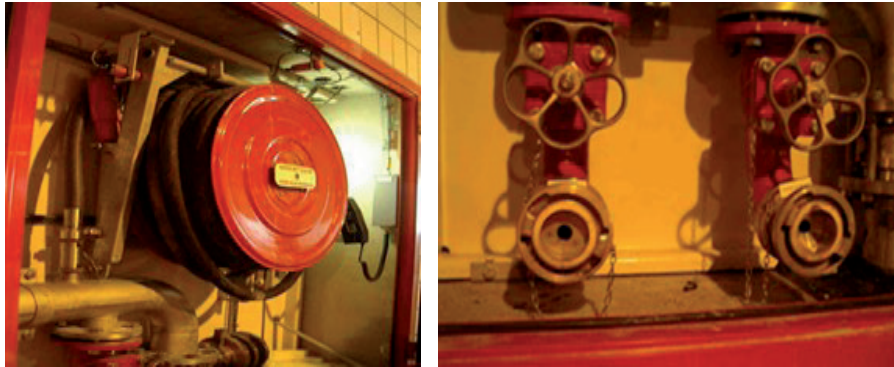
Na evaluatie van de brand in de Velsertunnel in 1978, waarbij de hulpverleners geen of zeer gebrekkig gebruik konden maken van draadloze radioapparatuur, zijn tunnels voorzien van een draadloos communicatiesysteem, waarmee de hulpdiensten via de HF-installatie verbinding kunnen onderhouden met de buitenwereld. Het gebruik van dit systeem is zeker nog niet optimaal, omdat de controlekamer wel kan meeluisteren maar niet rechtstreeks kan communiceren met de hulpverleners. Daarvoor moet gebruikgemaakt worden van de noodtelefooninstallatie, mobiele telefoon of communicatie via de meldcentrale.

- **Brandblussystemen**

*Beperken van schade in en aan de tunnel bij brand en het faciliteren van het hulpverleningsproces in de verkeersbuizen door middel van een blussysteem.*

De blusvoorziening bestaat uit:

- Een reservoir met bluswater.
- Een drukverhogingsinstallatie die door middel van pompen het water uit het reservoir op de juiste druk brengt om met voldoende debiet te kunnen blussen.
- Een stelsel van aanvoerleidingen.
- Een stelsel van distributieleidingen.
- Drukknoppen, alleen indien vereist bij de logische functievuller 'Hulppost'.
- Brandblussers.
- Brandhydranten.
- Watermist/sprinklersystemen (deze systemen vallen buiten de wet).
- Brandblusvoertuigen (dit valt buiten de wet).



Figuur C.14 / Brandblusvoorzieningen.

Tunnel- en vluchtwegventilatie en vluchtgangen of -wegen zoals beschreven in voorgaande paragrafen zijn van groot belang voor de hulpdiensten bij de bestrijding van incidenten en calamiteiten. Vluchtdeuren worden ook door de hulpdiensten gebruikt om van de ondersteunende tunnelbuis in de calamiteitenbuis te komen. In specifieke gevallen kan er ook sprake zijn van aparte aanvaldeuren (bv. Koning Willem-Alexandertunnel).

## C.5 Nadere beschrijving tunnelverlichting

Tunnelverlichting draagt primair bij aan een veilig en comfortabel gebruik van de tunnel. Voor een weggebruiker spelen daarbij de volgende aspecten een rol:

### 1. Positiebepaling

De weggebruiker moet zijn positie kunnen bepalen binnen de tunnel.

## 2. Zichtbaarheid

Gebruikers van een tunnel moeten voortdurend voldoende informatie krijgen over hun omgeving en andere weggebruikers. De informatie moet voldoende zijn voor oriëntatie en om tijdig te kunnen anticiperen op gebeurtenissen vóór hen. Zo nodig kunnen ze tijdig de snelheid aanpassen, uitwijken of op tijd stoppen. Het belangrijkste criterium is dat andere voertuigen op een zodanige afstand kunnen worden waargenomen en de situatie kan worden herkend, dat tijdig stoppen nog mogelijk is. Belangrijk aandachtspunt bij een verlichtingsontwerp is de overgang (overdag) tussen een hoog daglichtniveau buiten de tunnel (meer dan 10.000 lux) naar een veel lager lichtniveau binnen de tunnel (minder dan 500 lux). Vermeden moet worden dat een weggebruiker op enig moment onvoldoende informatie krijgt om tijdig te kunnen anticiperen op de situatie vóór hem. Een overgangsverlichting is noodzakelijk. Van buitenaf gezien kan de tunnelopening zich manifesteren als een donker gat. Dit 'zwarte gat effect' kan sterk worden gereduceerd door het contrast tussen de tunnelopening en zijn directe omgeving te verminderen.

## 3. Visuele geleiding

Visuele geleiding wordt bepaald door visuele aanwijzingen over het verloop van de weg. Dit aspect hangt slechts ten dele met tunnelverlichting samen, hoewel vooral in de tunnel het verloop van de weg kan worden afgeleid uit zowel de verlichtingsarmaturen als de aangestraalde constructie-elementen en wegdekbelijning.

## 4. Beleving van de tunnel

De tunnel moet zich van buitenaf gezien niet voordoen als een zwart gat. Binnen de tunnel moet voorkomen worden dat een weggebruiker zich opgesloten of onzeker voelt. Goede verlichting draagt bij aan oriëntatie en comfort.

## 5. Vermijden van verblinding van bestuurders

Algemeen moet getracht worden verblinding op enige plaats buiten of binnen de tunnel te vermijden. Vóór de tunnel moet zo nodig de hemel door bouwkundige voorzieningen worden afgeschermd indien bij lage zonnestanden kans op verblinding ontstaat, hetzij rechtstreeks hetzij via reflectie door bijvoorbeeld gebouwgevels. Binnen de tunnel moeten armaturen zodanig zijn geplaatst dat automobilisten vanuit een normale waarnemingspositie niet rechtstreeks in de lamp kunnen kijken. Bij het verlaten van de tunnel bestaat overdag kans op verblinding als de automobilist vanuit de relatief donkere tunnelomgeving het heldere vlak van de tunneluitgang voor zich ziet. Dit kan vooral optreden bij lange rechte hellingen waarbij (vanuit de tunnel gezien) binnen de omlijsting van de tunneluitgang hoofdzakelijk hemel zichtbaar is. Bij hellingen die overwegend op het zuidelijk halfmond van de hemel gericht zijn, kan bij lage zonnestanden en/of bij hoge hemelhelderheid verblinding ontstaan. Dit effect kan worden verminderd door lange, relatief donkere tunnels via een bocht in de buitenlucht te laten uitmonden, waardoor pas aan het einde van de tunnelbuis de buitenlucht zichtbaar wordt, of door aan het eind van de tunnel hemelafschermende maatregelen te nemen.

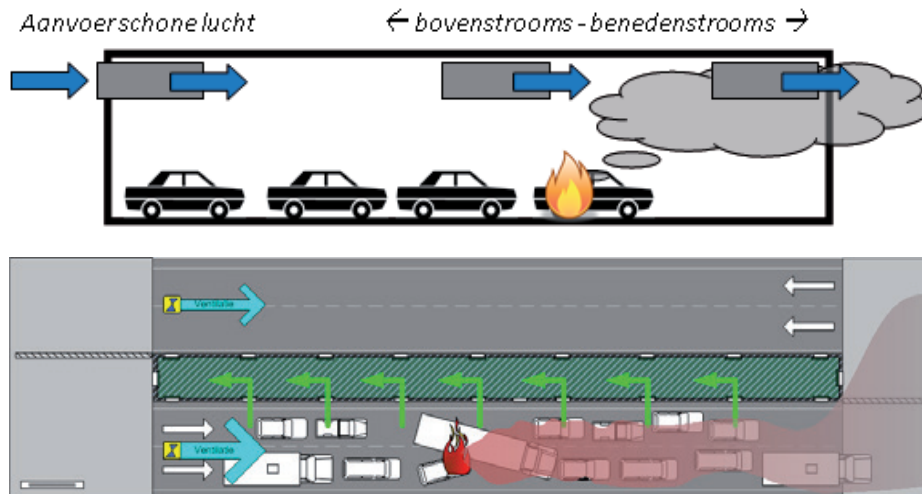
De grondslag voor de verlichtingsberekening van een tunnel zijn de NSVV-aanbevelingen voor het verlichten van tunnels en onderdoorgangen<sup>4</sup>.

## C.6 Nadere beschrijving ventilatie

In de praktijk en uit nader onderzoek is gebleken dat het tunnelventilatiesysteem en de overdrukventilatie elkaar sterk beïnvloeden. Bij het ontwerp moeten deze systemen daarom integraal worden beschouwd om een veilige vluchtweg te creëren, zie de paper Dynamisch gedrag van het ventilatiesysteem<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> [www.nsv.nl/publicaties/richtlijn-tunnelverlichting-pdf](http://www.nsv.nl/publicaties/richtlijn-tunnelverlichting-pdf)

<sup>5</sup> [www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl/wp-content/uploads/2015/02/Nieuwe-Aanpak-Veilige-Vluchtweg.pdf](http://www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl/wp-content/uploads/2015/02/Nieuwe-Aanpak-Veilige-Vluchtweg.pdf)



Figuur C.15 / Luchtstromen bij brand.

### Tunnelventilatie

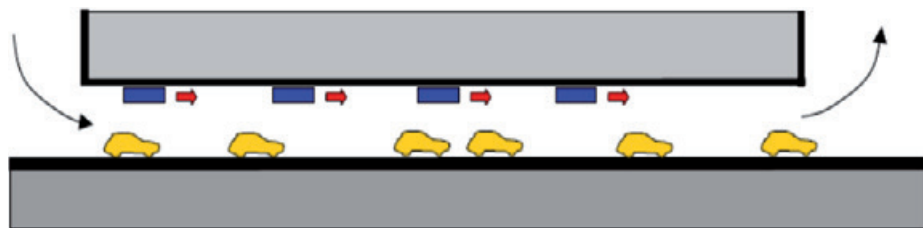
Tunnelventilatie dient voor:

1. het beheersen van de verontreinigingsgraad van de tunnellucht. Maatgevende verontreinigingen zijn CO, NO<sub>2</sub> en stof;
2. het beheersen van temperatuur in de tunnel. In zeer lange tunnels kan temperatuurverhoging ten gevolge van opwarming door het verkeer een ventilatiecriterium zijn;
3. het in een gewenste richting wegventileren van rook en gassen die bij een calamiteit kunnen vrijkomen;
4. het bewerkstelligen van een volledige verbranding ter plaatse van de brand. Onvolledige verbranding ter plaatse kan leiden tot herontsteking (explosie) van onverbrande verdampingsproducten elders in de tunnel.

Er bestaan in hoofdzaak drie methoden om tunnels kunstmatig te ventileren, zie ook het Handboek Tunnelventilatie<sup>6</sup>:

#### Langsventilatie

Door de impulswerking van normaal rijdend verkeer wordt in de tunnelbuis een langsventilatiestroom opgewekt die in het algemeen voldoende is om de tunnel te ventileren. Bij stagnerend verkeer, ernstige verontreiniging en brand is deze ventilatiestroom niet meer toereikend of valt deze geheel weg. Tijdens deze situatie wordt de luchtstroom met kunstmatige langsventilatie opgewekt, ondersteund of in stand gehouden, om luchtverontreiniging in voldoende mate af te voeren en/of rook en gassen uit de tunnelbuis weg te ventileren. Hierbij wordt ventilatielucht via de tunnelingang aangevoerd, door het gehele langsprofiel getransporteerd en via de tunneluitgang weer afgevoerd uit de tunnel. De tunnelbuis zelf is hierbij als het ware het ventilatiekanaal.



Figuur C.16 / Schematische weergave langsventilatie.

6 [https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Aanbevelingen%20Tunnelventilatie%20\(2005\)\\_tcm21-75663.pdf](https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Aanbevelingen%20Tunnelventilatie%20(2005)_tcm21-75663.pdf)

Langsventilatie is de enige vorm van ventilatie waarmee de luchtstroming in de lengterichting van de tunnel kan worden beheerst en waarmee het mogelijk is om bij brand de rook en gassen van het tegen de calamiteit gestrande verkeer weg te blazen. Dit is het voornaamste argument om langsventilatie toe te passen. Bovendien is voor langsventilatie een aanzienlijk geringer ruimtebeslag noodzakelijk dan voor dwarsventilatie en is de methode daarmee ook kostentechnisch aantrekkelijk.

Omdat alle ventilatielucht via de tunnelingang wordt aangezogen en pas bij de uitgang van de tunnel weer geloosd kan worden, beperkt de in wet- of regelgeving toegelaten maximale concentratie schadelijke stoffen en de te verwachten verkeersintensiteit de tunnellenge waarbij nog langsventilatie kan worden toegepast. Afhankelijk van het gebruik en de aangebrachte voorzieningen ligt naar verwachting de maximale lengte waarbij langsventilatie in tunnels kan worden toegepast tussen de vier en zes kilometer. Bij toepassing van langsventilatie is het voorkomen van *backlayering*, het terugstromen van rook en gassen tegen de ventilatiestroom, in het algemeen maatgevend. Voor de berekening moet worden uitgegaan van een minimale ventilatiesnelheid (kritische snelheid) van 2,5 meter per seconde.

Om te voorkomen dat rook en gassen uit de incidentbuis kunnen recirculeren naar de niet-incident buis is, om de luchtstroom tegen de rijrichting in te kunnen manipuleren, omkeerbaarheid van de langsventilatie noodzakelijk. Ook worden er civiele aanpassing aan de tunnelmond uitgevoerd om de kans op recirculatie te verkleinen.

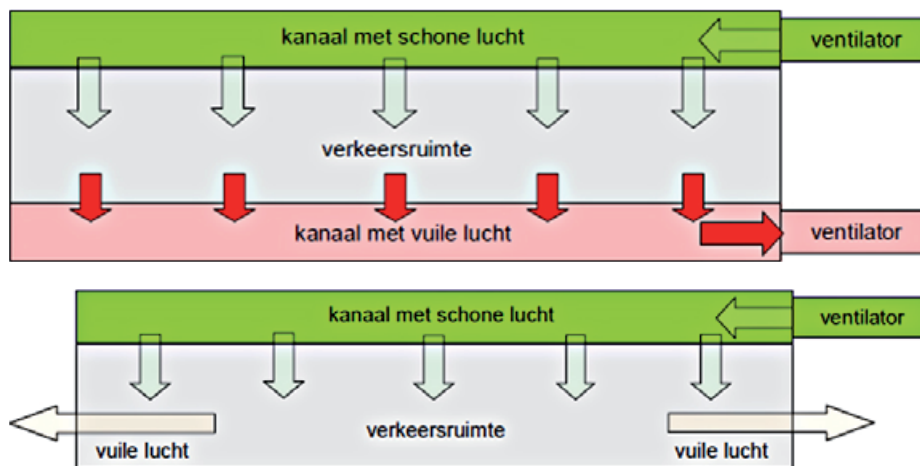
Conform bijlage 4, artikel 11.1, lid 1 van de Rarvw wordt de ventilatie in Nederlandse rijks-tunnels uitgevoerd als mechanische langsventilatie.

#### Dwarsventilatie

Via ventilatiekanalen over de volle lengte van de tunnel wordt aan één zijde van het dwarsprofiel verse lucht toegevoerd, terwijl aan de andere zijde van het dwarsprofiel verontreinigde lucht wordt afgezogen. Bij dit type ventilatie is het niet mogelijk gas- en rookstroming in de lengterichting van de tunnel te beheersen. Om tijdens brand beheersing van gas- en rookstroming in de lengterichting van de tunnel mogelijk te maken, moet een dwarsventilatiesysteem worden aangevuld met een beperkte vorm van langsventilatie (semi-dwarsventilatie).

#### Semi-dwarsventilatie

Dit is een combinatie van langsventilatie en dwarsventilatie, waarbij over de volle lengte van de tunnel lucht wordt toegevoerd. Lucht wordt afgevoerd via de in- en uitgangen van de tunnelbuis. Ook bij dit type ventilatie is beheersing van de gas- en rookstroming in lengterichting van de tunnelbuis niet mogelijk zonder aanvullende voorzieningen.



Figuur C.17 / Schematische weergave dwarsventilatie (boven) en semi-dwarsventilatie (onder).

**Vluchtgangventilatie**

Het doel van vluchtgangventilatie is de vluchtgang vrijhouden van rook en andere gassen uit de tunnelbuis tijdens een calamiteit. De voor vluchtgangventilatie benodigde ventilatielucht moet worden aangezogen uit een rookvrije locatie:

- Bij voorkeur uit de buitenlucht. In tunnels met een middenkanaal is dit altijd mogelijk.
- Indien het onmogelijk is om buitenlucht aan te trekken, dan mag lucht worden aangezogen uit de aangrenzende niet-calamiteitenbuis. Deze situatie doet zich voor in boortunnels met dwarsverbindingen, waarbij de dwarsverbinding gebruikt wordt als vluchtgang naar de niet-calamiteitenbuis.

De installatie moet geschikt zijn om in de vluchtgang een overdruk ten opzichte van de tunnelbuis te handhaven, zodanig dat er zowel bij gesloten als bij maximaal drie willekeurig geopende vluchtdeuren geen rook en gassen uit de tunnelbuis de vluchtgang kunnen binnenstromen. Hierbij moet de maximale gemiddelde luchtsnelheid in een geheel geopende deuropening beperkt blijven tot 6-8 meter per seconde. Dit in verband met het kunnen openen en sluiten van de deuren.

Opmerkingen:

- A. Tijdens een calamiteit moet alleen gevlucht worden uit de zone waar rook en gassen aanwezig zijn. Dit is in een langsgeventileerde tunnel het geval aan de stroomafwaartse zijde van een brand. In deze zone moet dus tijdens calamiteiten waarbij rook en gassen vrijkomen, onder alle omstandigheden een luchtstroom vanuit de vluchtgang richting tunnelbuis ontstaan.
- B. Zoals eerder is opgemerkt, wordt in tunnelbuizen waarin langsventilatoren zijn opgehangen de drukverdeling in de lengterichting van de tunnelbuis beïnvloed door deze ventilatoren. Bij ventilatorclusters kan een vrij groot drukverschil worden verwacht. Bij het bepalen van het drukverschil tussen de vluchtgang en de verkeersbuis moet hiermee rekening worden gehouden. Het verdient aanbeveling ventilatoren in de tunnelbuis zodanig te plaatsen dat bij werkende tunnelventilatie het drukverschil over twee opeenvolgende vluchtdeuren minimaal is.





# Colofon

Dit is een uitgave van het Kennisplatform Tunnelveiligheid.



De Bouwcampus, Van der Burghweg 1, 2628 CS Delft  
Postbus 582, 2600 AN Delft  
085 4862 410 • [info@kennisplatformtunnelveiligheid.nl](mailto:info@kennisplatformtunnelveiligheid.nl)  
[www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl](http://www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl)

## Auteurs

- Roel Scholten (eerste uitgave, voormalig coördinator KPT), COB/NedMobiel
- Ben van den Horn (tweede uitgave, coördinator KPT), COB/Arcadis
- Ron Beij (expert KPT), Brandweer Amsterdam-Amstelland
- Leen van Gelder (expert KPT), Soltegro
- Evert Worm (eerste uitgave), voormalig veiligheidsbeambte Rijkswaterstaat

## Eindredactie en opmaak

Marije Nieuwenhuizen, COB/Gryffin

## Publicatiedatum

Eerste uitgave: november 2016  
Tweede uitgave: augustus 2018

## Coverfoto

*Late Night Speeding*, Flickr/JFXie

## Downloaden

Dit rapport is gratis te downloaden via [www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl](http://www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl).

## Hergebruik

Teksten uit dit rapport mogen vrij worden overgenomen, mits voorzien van een duidelijke bronvermelding. Voor hergebruik van figuren en foto's dient u vooraf toestemming te vragen van de aangegeven bronhouder. Als er geen bron is vermeld, dan kunt u terecht bij het KPT.

*Het KPT en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van de uitgave. Toch moet niet worden uitgesloten dat er fouten of onvolledigheden in voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker. Het KPT sluit, mede ten behoeve van degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die voortvloeit uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade voortvloeit uit opzet of grove schuld zijdens het KPT en/of degenen die aan deze uitgaven hebben meegewerkt.*

Verwijzingen, achtergronden en ontstaansgeschiedenis

## Tunnelveiligheid verklaard

Dit naslagwerk legt de ontstaansgeschiedenis van het tunnelveiligheidsdenken in Nederland en de achterliggende overwegingen uit, met als doel mensen die nieuw intreden in de tunnelwereld, of mensen die op zoek zijn naar meer achtergrond, beeld en gevoel te geven bij het waarom van vigerende standaardvoorzieningen en -uitvoeringen. Deze publicatie richt zich vooralsnog uitsluitend op wegtunnels.

Door toenemende vergrijzing verdwijnt kennis over de achtergrond van huidige standaarden en werkwijzen voor tunnelveiligheid in hoog tempo uit de sector. Het is niet meer vanzelfsprekend dat de mensen die nu aan tunnels werken, in staat zijn om aspecten van tunnelveiligheid en de samenhang daartussen te kunnen duiden. Reden voor het Kennisplatform Tunnelveiligheid (KPT) om deze kennis te verzamelen, te ordenen en te verspreiden in een publicatie.

Omdat veel veiligheidsmaatregelen geborgd zijn in wet- en regelgeving, begint deze publicatie met een overzicht hiervan. Het naslagwerk is verder ingedeeld volgens de vier factoren die integrale veiligheid bepalen: de weg, het voertuig, de mens en de organisatie. Voorzieningen ten behoeve van het vluchten van weggebruikers worden ook beschreven. Daarnaast is er een apart hoofdstuk over de onderlinge samenhang tussen de veiligheidsaspecten en de analysemethodieken die daarbij gehanteerd worden. In de bijlagen is een groot aantal referenties opgenomen en wordt dieper ingegaan op gebruikelijke tunneltechnische installaties.



### Contact

[info@kennisplatformtunnelveiligheid.nl](mailto:info@kennisplatformtunnelveiligheid.nl)  
[www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl](http://www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl)  
+31 (0)85 4862 410