



Vlaanderen
is wegen en verkeer

Vlaamse Tunnelrichtlijn

Tunnelveiligheidsconcept

COLOFON

Titel	Vlaamse Tunnelrichtlijn: Tunnelveiligheidsconcept
Opgesteld door	Tom van Tintelen, senior consultant, DON Bureau in opdracht van Agentschap Wegen en Verkeer, Afdeling Wegen en Verkeer Antwerpen
Gereviseerd door	Commissie Tunnels, Projectgroep Tunnelrichtlijnen
Goedgekeurd door/op	Commissie Tunnels (20 juli 2023) Directieraad AWW (28 september 2023)
Versie	1.0

Agentschap Wegen en Verkeer

Graaf de Ferrarisgebouw
Koning Albert II-laan 20 bus 4
1000 BRUSSEL
T 02 533 79 22

<https://wegenverkeer.be/>

DOCUMENTGESCHIEDENIS

Versie	Datum	Auteur	Beschrijving
0.1	30.07.2022	Tom van Tintelen	Initiële versie
0.2	04.08.2022	Tom van Tintelen	Interne review door Hans Janssens en Han Admiraal
0.3	29.08.2022	Tom van Tintelen	Review door Tom Otten en Patrick van den Heuvel
0.4	05.09.2022	Tom van Tintelen	Opmerkingen review bijeenkomst 01-09-2022
0.5	12.01.2023	Tom van Tintelen	Opmerkingen review Sven Geerts en Commissie Tunnels
0.6	21.06.2023	Tom Otten (Red.)	Omzetting van document in sjabloon Vlaamse Tunnelrichtlijn
0.7	22.06.2023	Tom Otten (Red.)	Verwerking van feedback Projectgroep Tunnelrichtlijnen
0.8	26.06.2023	Tom Otten (Red.)	Redactioneel werk, o.a.: herschrijven inleiding, schrappen hoofdstuk 'Randvoorwaarden',
0.9	25.07.2023	Tom Otten (Red.)	Verwerken finale opmerkingen Commissie Tunnels en DON Bureau
1.0	28.09.2023	Tom Otten	Goedgekeurd door Directieraad AWV

INHOUDSOPGAVE

Colofon	2
Documentgeschiedenis	3
Inhoudsopgave	4
Afkortingen	5
0 Inleiding	6
1 Basisbeginselen tunnelveiligheidsconcept	7
1.1 Klaverblad tunnelveiligheid en vlinderdasmiddel	7
1.2 Hoofddoelstellingen tunnelveiligheid	10
1.2.1 Voorkomen van incidenten	10
1.2.2 Borgen van zelfredzaamheid	10
1.2.3 Hulpverlening mogelijk maken	10
1.2.4 Escalatie voorkomen	11
1.3 Onverwachte gebeurtenissen: incidenten en calamiteiten	11
1.4 Bedrijfsstoelstanden	12
2 Deelconcepten tunnelveiligheid	14
2.1 Vluchtconcept	14
2.2 Hulpverleningsconcept	15
2.3 Besturings-, bedienings- en bewakingsconcept	15
3 Functionaliteiten Tunnelveiligheid	17
3.1 Functionaliteit 'Incidenten voorkomen'	17
3.2 Functionaliteit 'Zelfredzaamheid borgen'	18
3.3 Functionaliteit 'Hulpverlening mogelijk maken'	19
3.4 Functionaliteit 'Escalatie voorkomen'	20
4 Tunnelveiligheidsdoelstellingen in de levenscyclus	22
4.1 Tunnelveiligheidsdoelstellingen in de alternatievenonderzoeks- en voorontwerpfase	22
4.2 Tunnelveiligheidsdoelstellingen in de ontwerpfase	22
4.3 Tunnelveiligheidsdoelstellingen in de (om)bouwfase	23
4.4 Tunnelveiligheidsdoelstellingen in de exploitatiefase	24
Referenties	25

AFKORTINGEN

AFKORTING	VERDUIDELIJKING
ADR	<i>Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route</i> - Vervoer van gevaarlijke stoffen

0 INLEIDING

De Vlaamse Tunnelrichtlijn is een verzameling van documenten die ontwerpregels en -richtlijnen voor tunnels omschrijven. De samenstelling van de Vlaamse Tunnelrichtlijn is een werk in ontwikkeling. Stelselmatig zullen er documenten en hoofdstukken toegevoegd en geüpdatet worden.

Het document 'Tunnelveiligheidsconcept' is een fundamenteel document waarin de grondslag wordt gelegd van het tunnelveiligheidsconcept dat aan de basis ligt van de Vlaamse Tunnelrichtlijn. Het document biedt een conceptueel kader waarin alle voorzieningen en processen geplaatst kunnen worden en waaraan ze ook kunnen worden gespiegeld. Het tunnelveiligheidsconcept beschrijft de behoeftes en de bijbehorende functies vanuit de diverse belanghebbenden, bijvoorbeeld de weggebruiker, de hulpverlening of de tunnelbeheerder. Op die manier biedt het document ook inzicht in het nut en de noodzaak van voorzieningen en processen voor een brede doelgroep.

Naast het tunnelveiligheidsconcept worden er ook enkele functies besproken waarin de meest betrokken stakeholders bij elkaar komen in de vorm van een aantal afgeleide concepten. Dit vergroot het onderling begrip en verklaart en bevordert de integraliteit van alle voorzieningen en processen.

Het conceptuele kader dat hier wordt vastgelegd wordt in latere hoofdstukken van de Vlaamse Tunnelrichtlijn doorvertaald naar concrete eisen met betrekking tot voorzieningen en procedures. Het is zo opgesteld dat het kan toegepast worden op elke tunnel vanaf 250 m, bijvoorbeeld ook op tunnels die niet bewaakt en bediend worden door het Verkeerscentrum. Om die reden is er soms geopteerd om een meer abstracte term te gebruiken voor functies die in de praktijk vaak door een bepaalde entiteit vervuld worden, maar die soms toch ook door andere personen of entiteiten worden vervuld.

Hoofdstuk 1 beschrijft bondig de basisprincipes van tunnelveiligheid aan de hand van het klaverblad tunnelveiligheid en het vlinderdasmodel. Het hoofdstuk beschrijft verder de hoofddoelstellingen van tunnelveiligheid, categoriseert onverwachte gebeurtenissen en biedt een basisinzicht in bedrijfstoestanden.

Hoofdstuk 2 gaat in op de deelconcepten van tunnelveiligheid, namelijk het vluchtconcept, het hulpverleningsconcept en het besturings-, bedienings- en bewakingsconcept.

Hoofdstuk 3 zet de hoofddoelstellingen van tunnelveiligheid om in functionaliteiten, namelijk incidenten voorkomen, zelfredzaamheid borgen, hulpverlening mogelijk maken en escalatie voorkomen.

Hoofdstuk 4 plaatst de hoofddoelstellingen tunnelveiligheid en bijbehorende functionaliteiten ten slotte in de context van de verschillende fasen in de levenscyclus van een tunnel.

Het document 'Tunnelveiligheidsconcept' is een levend document en kan worden aangepast tijdens de opmaak van de Vlaamse Tunnelrichtlijn. Het werd opgesteld door DON Bureau in opdracht van het Agentschap Wegen en Verkeer.

1 BASISBEGINSELEN TUNNELVEILIGHEIDSCONCEPT

1.1 KLAVERBLAD TUNNELVEILIGHEID EN VLINDERDASMODEL

Een tunnel is een lange, gesloten, bouwkundige constructie van minstens 250 m lang, gelegen op een wegdeel, met als doel andere (transport)infrastructuur te kruisen of de leefbaarheid van de omliggende omgeving te verhogen en die door zijn kenmerken specifieke veiligheidsmaatregelen vereist.

De geslotenheid van de constructie brengt bepaalde veiligheidsrisico's met zich mee die zich niet altijd stellen op de open weg. Zo wordt het wegbeeld onderbroken door de aanwezigheid van tunnelwanden, veranderende lichtomstandigheden, de langshelling en andere zichtbeperkende omstandigheden. Samen met de snelheidsverschillen door de hellingen, leidt dit tot een hogere rijtaakbelasting en bijgevolg ook tot een verhoogde kans op incidenten.

Het belangrijkste verschil met de open weg stelt zich echter wanneer er een ongeval plaatsvindt waarbij er brand uitbreekt of gevaarlijke stoffen (ADR) vrijkomen. De mogelijke gevolgen van dit soort incidenten zijn aanzienlijk ernstiger in vergelijking met de open weg en kunnen catastrofaal worden indien de tunnel niet voorzien is van de juiste veiligheidsvoorzieningen.

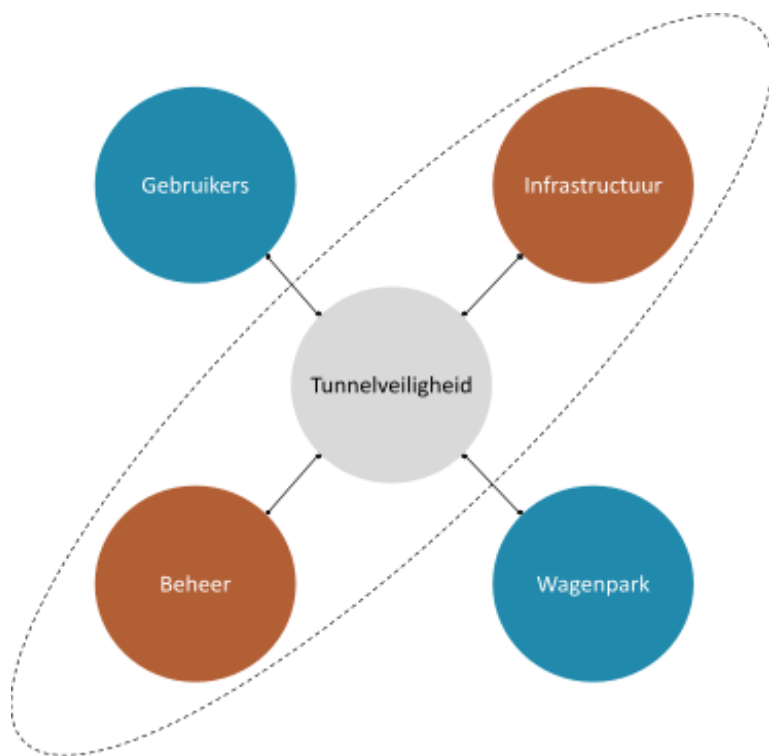
Tunnelveiligheid heeft dan ook als doel om een antwoord te kunnen bieden op de bijzondere veiligheidsrisico's die wegtunnels met zich meebrengen; en dit zowel tijdens het regulier gebruik van de tunnel (door incidenten te voorkomen), als tijdens een incident of calamiteit (door ook in die situaties de veiligheid te borgen). Preventieve maatregelen kunnen de kans op incidenten aanzienlijk verminderen. Bij een incident is het redden van mensenlevens de topprioriteit, op voorwaarde dat dit op een veilige manier kan gebeuren.

Het 'klaverblad tunnelveiligheid' (zie Figuur 1-1), dat aan de basis ligt van de Europese Richtlijn 2004/54/EG¹, plaatst tunnelveiligheid in relatie met vier belangrijke factoren die de veiligheid van tunnels beïnvloeden,² namelijk:

- de gebruikers;
- de infrastructuur;
- het beheer;
- en het wagenpark.

¹ Richtlijn 2004/54/EG van het Europees Parlement en de Raad van 29 april 2004 inzake minimumveiligheidseisen voor tunnels in het trans-Europese wegennet.

² Economic Commission for Europe, Inland Transport Committee, Ad hoc Multidisciplinary Group of Experts on Safety in Tunnels. (2001). *Recommendations of the Group of Experts on Safety in Road Tunnels: Final Report*. <https://unece.org/DAM/trans/doc/2002/ac7/TRANS-AC7-09e.pdf>

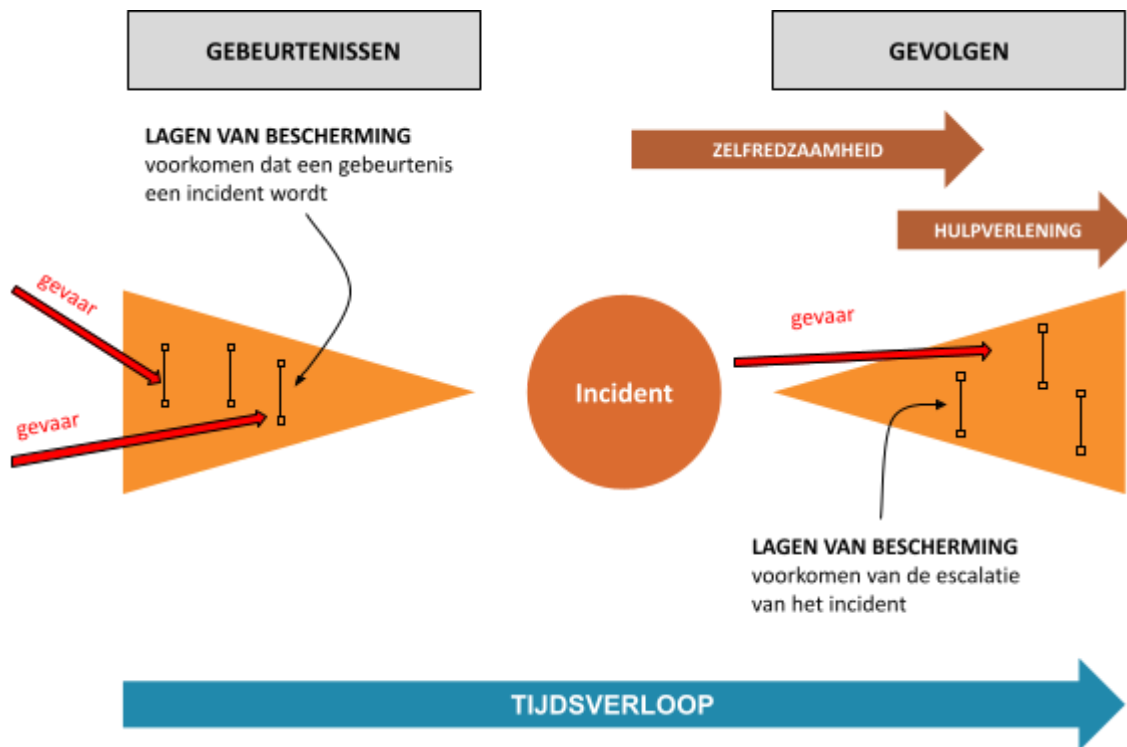


Figuur 1-1: Klaverblad tunnelveiligheid

Er zijn twee factoren waarop de tunnelbeheerder weinig tot geen invloed heeft. De eerste factor is het gedrag van de weggebruiker. Het rijgedrag binnen en nabij tunnels is bepalend voor de eigen veiligheid, die van andere weggebruikers en de hulpverlening. Maar ook het gedrag van weggebruikers tijdens en na een incident of calamiteit kan impact hebben op de veiligheid, bijvoorbeeld bij het voorkomen van verdere escalatie. De tweede factor is dat de kwaliteit van het wagenpark mede bepalend is voor de aard en de omvang van incidenten en calamiteiten. Het gedrag van de weggebruiker kan beïnvloed worden door bijvoorbeeld aandacht te besteden aan het rijden door tunnels in de rijopleiding, instructies te geven aan busschauffeurs en door specifieke opleidingen voor bestuurders van ADR-transporten. De kwaliteit van het wagenpark kan verbeterd worden door bijvoorbeeld technische keuringen.

Het ontwerp, de inrichting, het toegelaten verkeer en de aangebrachte voorzieningen van de infrastructuur vallen wel binnen de invloedssfeer en verantwoordelijkheid van de tunnelbeheerder. Dat geldt ook voor het beheer, inclusief de bediening en bewaking van de tunnel. De kwaliteit en uitvoeringsvorm van de infrastructuur en de inrichting van het beheer zijn dan ook belangrijke pijlers voor het tunnelveiligheidsconcept.

De basisbeginselen voor het tunnelveiligheidsconcept zijn afgeleid van het vlinderdasmodel (ook wel het 'BowTie-model' genoemd).



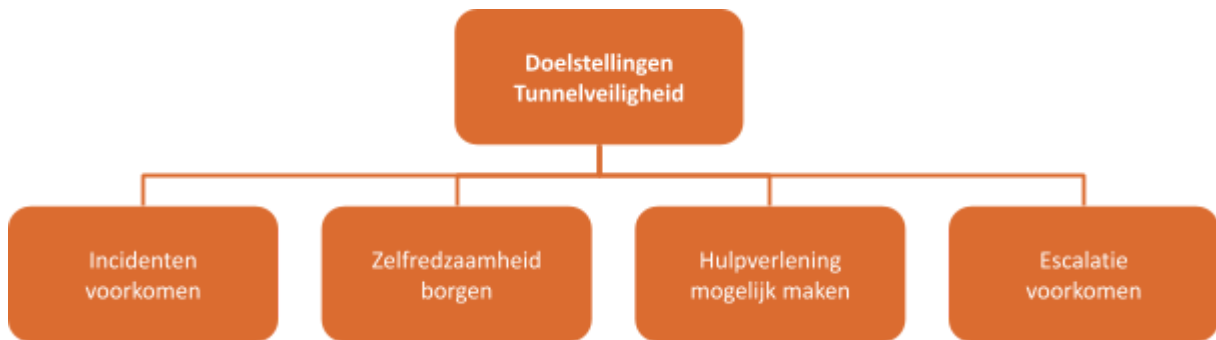
Figuur 1-2: Vlinderdasmodel tunnelveiligheid

Figuur 1-2 toont schematisch het verloop van een incident in de tijd. Aan de linkerzijde bevinden zich alle gebeurtenissen die kunnen leiden tot een incident. De aangebrachte 'lagen van bescherming' zorgen ervoor dat bepaalde gebeurtenissen niet leiden tot een incident. Ook aan de rechterzijde, waar de gevolgen van de incidenten worden weergegeven, vinden we lagen van bescherming die ervoor zorgen dat een incident niet verder escaleert. De figuur toont dat het enige tijd duurt alvorens de hulpverlening ter plaatse is. Tot die tijd zijn de aanwezigen in de tunnel op zichzelf aangewezen. Hiermee wordt het belang van zelfredzaamheid heel duidelijk weergegeven.

De lagen van bescherming worden bewust op een integrale wijze gerealiseerd en verdienen aandacht vanaf de allereerste planontwikkeling. Ze kunnen gerealiseerd worden in het weg- en tunnelontwerp, de elektromechanische voorzieningen en in geldende procedures.

1.2 HOOFDDOELSTELLINGEN TUNNELVEILIGHEID

Aan de hand van het vlinderdasmodel definiëren we hoofddoelstellingen inzake tunnelveiligheid die de basis vormen van het tunnelveiligheidsconcept (zie Figuur 1-3).



Figuur 1-3: Hoofddoelstellingen tunnelveiligheid

1.2.1 VOORKOMEN VAN INCIDENTEN

Het **voorkomen van incidenten** wordt in eerste instantie gerealiseerd in een degelijk weg- en tunnelontwerp, voor, in en na de tunnel, waarbij er zich geen ‘verrassingen’ voordoen voor de weggebruiker die kunnen leiden tot een incident. Het ontwerp van de tunnel is een voortzetting van het wegontwerp, waarbij er specifiek rekening gehouden wordt met de gevolgen van de omsloten constructie. Belangrijk in dit verband zijn bijvoorbeeld voorzieningen die de beleving van de weggebruiker tijdens het passeren positief beïnvloeden, zoals een goed zicht en een duidelijke wegmarkering. Het spreekt voor zich dat een tunnel bij de uitbating ervan ook goed onderhouden dient te worden om ervoor te zorgen dat de tunnelvoorzieningen blijven functioneren zoals bedoeld in het ontwerp.

1.2.2 BORGEN VAN ZELFREDZAAMHEID

Bij een onverwachte gebeurtenis zijn de weggebruikers in eerste instantie op zichzelf aangewezen. Het **borgen van zelfredzaamheid** is dan ook een belangrijk aspect binnen het tunnelveiligheidsconcept. De weggebruikers dienen hun eigen veiligheid te kunnen borgen totdat de hulpverlening op de locatie aangekomen is. Bij een onverwachte gebeurtenis, bijvoorbeeld bij een brandincident, kan het minuten duren voordat de brandweer ter plaatse kan zijn, dit in een situatie waarbij elke seconde telt. Zelfredzaamheid borgen betekent niet enkel dat het de weggebruiker mogelijk wordt gemaakt om zelfstandig op een veilige manier te kunnen wegvluchten van het incident, maar ook het bieden van middelen ter ondersteuning om de gevolgen van een incident te beperken (indien dit veilig mogelijk is).

1.2.3 HULPVERLENING MOGELIJK MAKEN

Voor de **hulpverlening** is het van belang dat de hulpdiensten het incident goed kunnen bereiken vanaf een veilige locatie. Vanaf deze veilige locatie kan vervolgens een verkenning worden gedaan en de interventie worden ingezet. Bij brand of een incident met gevaarlijke stoffen zal de veilige locatie in eerste instantie de ondersteunende koker van de tunnel zijn waar een reddingsvoertuig wordt opgesteld. Dit betekent dat bij de verkenning en de daaropvolgende interventie er weg van het reddingsvoertuig gewerkt moet worden. Dit vereist om een tunnelkoker zo uit te rusten dat dit ook mogelijk is voor de hulpdiensten. Nadat de brandweer kan inschatten dat de incidentkoker veilig is en voor interventies zonder brand of gevaarlijke stoffen rijdt de brandweer ook de incidentkoker in. De hulpdiensten maken zoveel mogelijk gebruik van een tweeflankenaanval, waarbij de tunnel vanuit twee zijden wordt benaderd. Deze strategie maakt dat de

hulpverlening voor de eerste inzet minder gevoelig is voor eventuele vertragingen veroorzaakt door het overige verkeer.

1.2.4 ESCALATIE VOORKOMEN

Voordat de hulpverlening ter plaatse is, heeft de verkeersleiding een regisserende, sturende (bedienen) en informerende rol. Een goed overzicht over het incident (inclusief de tunnel en haar omgeving), de mogelijkheid om instructies te geven aan de aanwezige weggebruikers, het bedienen van voorzieningen (ventilatie, afsluitbomen, signalering, enzovoorts) en het ter beschikking stellen van relevante informatie, geeft de verkeersleiding een duidelijk handelingsperspectief en kan verdere **escalatie voorkomen**.

In Tabel 2-1 worden de hoofddoelstellingen gerelateerd aan een incident, beschouwd doorheen de tijd. Calamiteiten blijven in deze tabel buiten beschouwing en het betreft momenten waarop één of meerdere hoofddoelstellingen *vooral* naar de voorgrond treden.

Tabel 2-1: Verband hoofddoelstellingen en tijdsverloop incident

	Voor incident	Tijdens incident		Na incident
		Voor aankomst hulpverlening	Na aankomst hulpverlening	
Incidenten voorkomen	✓			✓
Zelfredzaamheid borgen		✓		
Hulpverlening mogelijk maken			✓	
Escalatie voorkomen		✓	✓	✓

Deze hoofddoelstellingen worden hierna verder uitgewerkt in de benodigde functie, die vervolgens wordt uitgewerkt met processen en voorzieningen.

1.3 ONVERWACHTE GEBEURTENISSEN: INCIDENTEN EN CALAMITEITEN

In een tunnel kunnen zich heel wat onverwachte gebeurtenissen voordoen die het normaal gebruik van de tunnel verstoren. De effecten van onverwachte gebeurtenissen in tunnels kunnen sterk vergroot worden bij het ontstaan van brand. De snelle toename van hitte en de sterke rookontwikkeling bemoeilijken het gebruik van de beschikbare vluchtmogelijkheden. Bovendien bestaat de kans dat er uiterst brandbare of giftige stoffen aanwezig zijn die de effecten nog drastisch kunnen vergroten.

Onverwachte gebeurtenissen kunnen onderverdeeld worden in 'incidenten' en 'calamiteiten' (zie Figuur 1-4):

- een **incident** is elke gebeurtenis die de capaciteit van de weg (tunnel) nadelig beïnvloedt of kan beïnvloeden en als zodanig de doorstroming van het verkeer belemmert of kan belemmeren;
- een **calamiteit** is een ernstig incident waarbij sprake is van beknelling of het ernstig gewond zijn van personen (zodanig dat de hulp van de brandweer nodig wordt geacht), brand of het vrijkomen van gevaarlijke stoffen.



Figuur 1-4: Onverwachte gebeurtenissen (incidenten en calamiteiten)

Als we de structuur van Figuur 1-4 verder detailleren en betrekken op de praktijk, geeft dit de volgende onderverdeling:

- Calamiteiten
 - Ernstige aanrijding/Kettingbotsing waarbij sprake is van beknelling of het ernstig gewond zijn van personen zodanig dat de hulp van de brandweer nodig wordt geacht
 - (vermoeden van) Brand/Gevaarlijke stoffen
 - Brand in het Verkeerscentrum
 - Bommelding
- Incidenten
 - Aanrijding
 - Uitsluitend materiële schade
 - Met (vermoeden van) letsel
 - Stilstaand Voertuig
 - Pech
 - Met (vermoeden van) onwelwording
 - Verloren lading
 - Los voorwerp
 - Afgevallen lading
 - Verdwaald Persoon
 - Spookrijder
 - Voetganger/Fietser/Dier
 - Betoging/Vandalisme
- Technisch falen
 - Ernstige storing tunneltechnische installaties

Voor deze onverwachte gebeurtenissen dienen scenario's te worden ontwikkeld om uniforme afhandeling te garanderen.

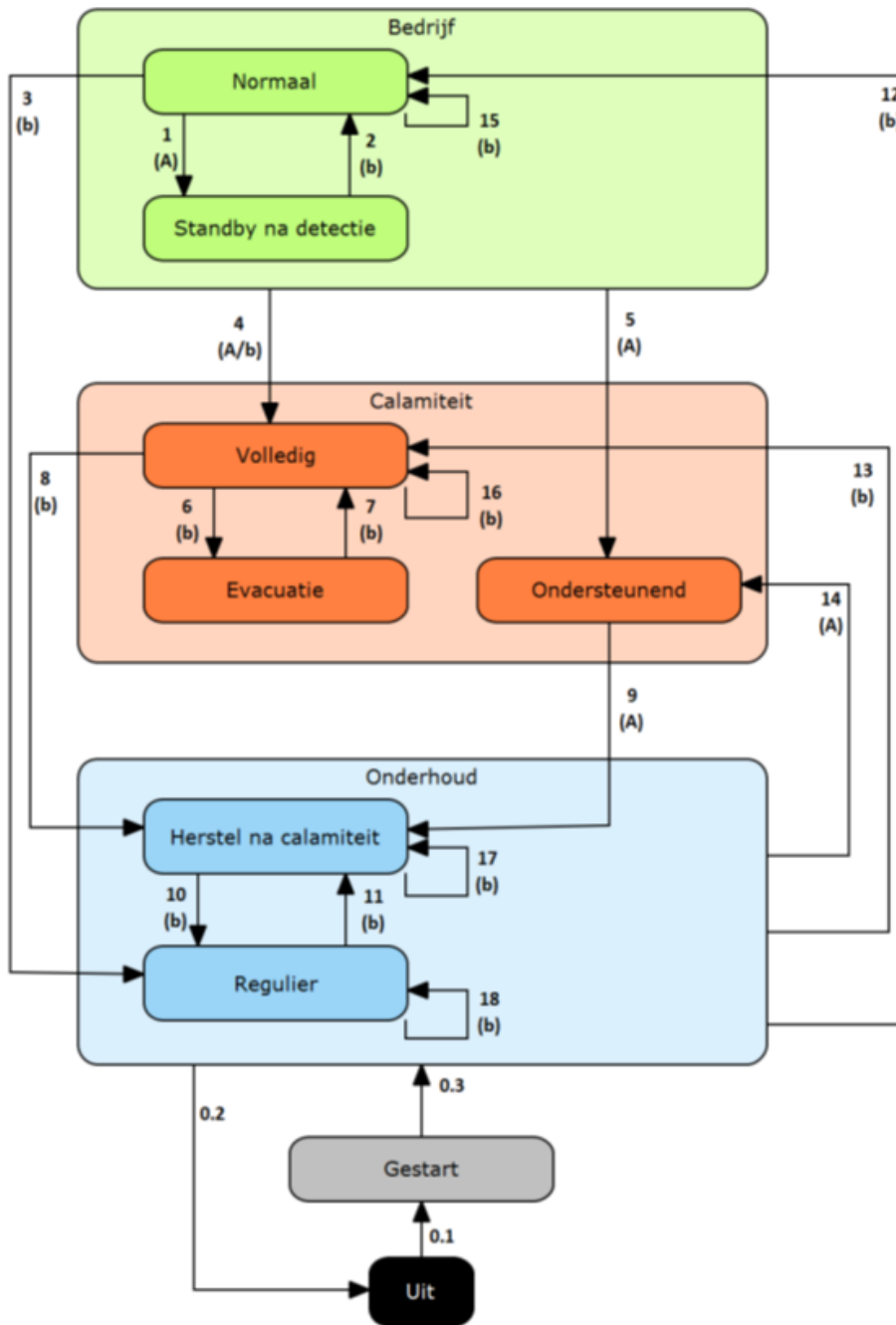
1.4 BEDRIJFSTOESTANDEN

In een tunnel bevinden zich tientallen voorzieningen die een rol spelen in tunnelveiligheid. Om het integrale en dynamische karakter en gedrag van deze voorzieningen te beschrijven, hanteren we een toestandsmodel. Hierin worden zowel de toestanden als de toestandsovergangen beschreven.

Het werken met bedrijfstoestanden en toestandsovergangen maakt het dynamisch gedrag van een tunnel functioneel en beperkt de noodzaak tot diepgaande, technische kennis van de achterliggende voorzieningen.

Ter illustratie

In Figuur 1-5 wordt, ter illustratie, het in Nederland gehanteerde toestandsmodel voor een tunnelkoker weergegeven door middel van drie hoofdtoestanden: 'Bedrijf', 'Calamiteit' en 'Onderhoud'. Binnen deze hoofdtoestanden zijn subtoestanden gedefinieerd die bepaalde acties duidelijk weergeven. Zo wordt naar de toestand 'Bedrijf - Standby na detectie' overgegaan als een bepaald sensorsysteem iets afwijkends heeft gedetecteerd. De overgang naar 'Calamiteit - Evacuatie' geeft aan dat de evacuatiesystemen zijn geactiveerd. De pijlen (A) en (b) in dit schema duiden een toestandsovergang aan die 'automatisch' of 'bediend' verloopt.



Figuur 1-5: Bedrijfstoestanden conform Nederlandse Landelijke Tunnelstandaard (ter illustratie)

2 DEELCONCEPTEN TUNNELVEILIGHEID

Bij een incident zijn er bepaalde hoofdrolspelers, namelijk de weggebruikers, de hulpverlening en de verkeersleiding. Tijdens een incident komen deze spelers ook met elkaar in aanraking. Om verder invulling te geven aan het tunnelveiligheidsconcept, worden in deze sectie drie onderliggende concepten uitgewerkt op basis van het perspectief van elk van de hoofdrolspelers:

- het vluchtconcept (vanuit het perspectief van de weggebruiker);
- het hulpverleningsconcept (vanuit het perspectief van de verschillende hulpverlening);
- het bedieningsconcept (vanuit het perspectief van het Verkeerscentrum).

Deze concepten hebben belangrijke raakvlakken. Het vluchtconcept en het hulpverleningsconcept moeten er samen voor zorgen dat vluchtende weggebruiker en de hulpverlener elkaar vinden tijdens een incident. Het hulpverleningsconcept en het bedieningsconcept moeten de juiste informatie-uitwisseling tussen de hulpverlening en de verkeersleiding borgen ter ondersteuning van het totale hulpverleningsproces.

2.1 VLUCHTCONCEPT

Een goed vluchtconcept moet ertoe leiden dat weggebruikers op een snelle en hinderloze manier een **veilige ruimte kunnen bereiken** die leidt naar een veilige locatie (verzamelplaats) buiten de tunnel. De weggebruikers dienen daarbij steeds naar de hulpverlening toe te vluchten om elkaar zo snel mogelijk te vinden. Dit proces wordt door de verkeersleiding ondersteund op basis van informatie uit de tunnel.

Het zo snel mogelijk bereiken van een veilige ruimte veronderstelt dat er in de tunnel voorzieningen zijn getroffen om zowel de weg naar als de toegang tot de veilige ruimte onder alle omstandigheden (ook bij slecht zicht en rookomstandigheden) inzichtelijk te maken. Het is een vereiste dat de **toegang tot de veilige ruimte obstakelvrij** is.

Onder 'veilige ruimte' wordt hier verstaan: een **beschermde omgeving** (brandcompartiment) waardoor gevlucht kan worden. Dit is met name ter bescherming tegen hoge temperaturen en het binnendringen van rook en schadelijke gassen of dampen. Tevens geeft deze veilige ruimte richting aan de verdere vluchtroute naar de verzamelplaats.

De verzamelplaats dient op een veilige manier te bereiken zijn, maar moet ook op zichzelf een veilige plek zijn om te verblijven in afwachting van de hulpverlening. Ook de bereikbaarheid van de verzamelplaats door de hulpverlening is van groot belang.

Dit generieke vluchtconcept zal voor de verschillende typen tunnels als volgt worden ingevuld:

- Tunnels met een middentunnelkanaal
 - o Vluchten door een middentunnelkanaal naar een verzamelplaats aan de ingangen van de tunnel. Een middentunnelkanaal is een aparte vluchtkoker tussen de twee tunnelkokers in en toegankelijk via de vluchtdeuren (nooduitgangen). Via de kopdeuren van het middentunnelkanaal kan de verzamelplaats bereikt worden.
- Tunnels met dwarsverbindingen (boortunnels)
 - o Vluchten via een de dwarsverbinding naar de andere (ondersteunende) koker. De dwarsverbinding is een aparte ruimte tussen de twee kokers met aan beide zijden een aan de binnenzijde vergrendelde vluchtdeur (nooduitgang).
- Tunnel met een tussenwand.
 - o Vluchten door de tussenwand direct naar de andere (ondersteunende) koker. Hier is geen sprake van een veilige tussenruimte. Dit vraagt extra aandacht, daar de ondersteunende koker tevens deel uitmaakt van de vluchtroute.

De uiteindelijk aan te brengen voorzieningen ter ondersteuning van een vluchtconcept zijn daardoor afhankelijk van het type wegtunnel en het type vluchtconcept en borgen dat een vluchtende niet in gevaar kan komen tijdens het gehele vluchtproces.

2.2 HULPVERLENINGSCONCEPT

Het hulpverleningsconcept behandelt de basisprincipes voor:

- het veilig en snel kunnen bereiken van een incident in een wegtunnel en;
- zo snel mogelijk actief te worden in de afhandeling van het incident.

Essentieel hierin is de beoordeling van het onverwachte voorval: incident of calamiteit. In eerste instantie zal dit bij een bediende tunnel altijd door de verkeersleiding worden gedaan aan de hand van beelden uit de tunnel. Incidenten zullen door de verkeersleiding verder worden afgehandeld middels eventuele verkeersmaatregelen en het inschakelen van de hulpverlening. Bij een indicatie van een calamiteit zal direct de ondersteuning van de hulpverlening worden gevraagd.

Indien er videobeelden van de tunnel beschikbaar zijn, bijvoorbeeld vanuit een centrale, dan is het essentieel dat de hulpverlening hier toegang toe krijgt. Videobeelden zijn een belangrijke bron van informatie voor de beeldvorming, die uiteindelijk bepalend is voor de aanvalsstrategie.

In Vlaanderen worden calamiteiten door de hulpverlening in principe altijd bij voorkeur benaderd en verkend vanuit de incidentkoker. Dit bespaart tijd en heeft als bijkomend voordeel dat alle benodigde materialen direct in de incidentkoker aanwezig zijn. Indien het onzeker is dat de hulpdiensten het incident op een voldoende veilige manier via de incidentkoker kunnen benaderen, wordt het incident verkend of aangevallen vanuit de ondersteunende koker. Vanuit deze veilige omgeving kan de calamiteit worden verkend via de vlucht- of aanvaldeuren. De keuze van de aanvaldeur is in de eerste plaats afhankelijk van de beeldvorming. Indien er onvoldoende informatie beschikbaar is bij de beeldvorming, begint de verkenning bij de eerste deur gezien vanuit de rijrichting in de incidentkoker terugwerkend tot de laatste nog veilige deur voor de calamiteit. In nauwe samenspraak met de verkeersleiding, die de calamiteit via camerabeelden kan overzien, kan dit proces versneld worden door dichter bij de calamiteit te beginnen.

Het principe van de tweeflankenaanval impliceert dat sommige hulpvoertuigen van de ene naar de andere tunnelkoker oversteken, bijvoorbeeld via een calamiteitendoorsteek. Dit gebeurt in overleg met de Leider Van de Operaties (LVO). In dat geval wordt de tunnel afgesloten.

Incident en calamiteiten worden altijd **met de rijrichting mee** benaderd. Het lijkt soms aantrekkelijk bij een afgesloten tunnel tegen het verkeer in te rijden maar dit heeft al vaker tot ongevallen geleid. Daarnaast is dit bij toepassing van langsventilatie erg risicovol wanneer de situatie escaleert naar brand doordat de rook en hitte in de rijrichting wordt verdrongen. Toch kan het in sommige situaties de beste aanpak blijken. In dat geval moeten er duidelijke afspraken gemaakt worden bij alle betrokkenen.

Essentieel voor de hulpverlening is een veilige, goed verlichte, werkruimte met volledige ondersteuning van ASTRID-communicatie. Bij calamiteiten is de ondersteunende koker hiervoor vaak de meest aangewezen locatie.

2.3 BESTURINGS-, BEDIENINGS- EN BEWAKINGSCONCEPT

Het besturings-, bedienings- en bewakingsconcept heeft als doel de bedienaar maximaal te ondersteunen in zijn of haar taken en daar waar mogelijk verkeerde beslissingen te voorkomen. De karakteristieken voor dit besturings-, bedienings- en bewakingsconcept zijn gehaald uit ervaringen met een breed scala van objectbedieningen. De bedienaar is hier degene die als taak heeft de bediening en bewaking daadwerkelijk op te volgen. Vanwege het conceptuele karakter is hier nog geen relatie getrokken met een daadwerkelijke invulling in de praktijk.

Het besturings-, bedienings- en bewakingsconcept is gericht op **functionele bediening** in tegenstelling tot technische bediening. Daarmee wordt de bedienaar niet meer belast met het in de juiste volgorde in- of uitschakelen van de tot een bepaalde functie behorende technische installaties. De bedienaar initieert een bepaalde functie, monitort het verloop en neemt, indien gevraagd, noodzakelijke beslissingen. De aansturing van de specifieke afloop van de functie naar de betrokken installaties wordt door het bediensysteem verzorgd. De technische bediening van de installaties wordt ondergebracht in een **onderhoudsbediening**. Deze is specifiek gericht op het voor onderhoudsdoeleinden bedienen en monitoren van de diverse technische installaties. Hiermee is het ook mogelijk geworden onderhoudsbediening bij een ander, meer technisch georiënteerd, type bedienaar onder te brengen.

Het bedienconcept is verder **trigger-based**. Dit houdt in dat de bedienaar door het bediensysteem wordt gealarmeerd om aandacht te besteden aan een bepaalde situatie. Triggers kunnen veroorzaakt worden door alarmen uit het bediensysteem of door periodieke noodzakelijke activiteiten. Een alarm uit het bediensysteem kan bijvoorbeeld worden gegeven vanuit een snelheidonderschrijdingssysteem ten teken van een langzaam rijdend of stilstaand voertuig. Een voorbeeld van trigger voor een periodiek noodzakelijke activiteit kan zijn het attenderen op de noodzaak tot het periodiek bekijken van de tunnel. Om de attentiewaarde naar de bedienaar te verhogen kunnen triggers vanuit het systeem worden ondersteund met audio- en/of lichtsignalen op of rondom de bedienplek. Trigger-based bedienconcepten openen ook de mogelijkheden om meerdere objecten door één bedienaar te laten bedienen als de taaklast dat toelaat. Trigger-based bedienen stelt hoge eisen aan de kwaliteit (beschikbaarheid en betrouwbaarheid) van de detectiesystemen.

Binnen het bedienconcept wordt onderscheid gemaakt in zogenaamde **operationele alarmen** en **technische alarmen**. Operationele alarmen zijn alarmen van functionele aard die direct met de bedienings- en bewakingstaak te maken hebben. Technische alarmen hebben meer het karakter van een storingsmelding vanuit een technische installatie. De bedienaar wordt alleen geconfronteerd met operationele alarmen. Technische alarmen worden opgevolgd door de verantwoordelijke onderhoudspartij. De bedienaar wordt wel op de hoogte gesteld van het falen van een bepaalde installatie zodat hij conform de faaldefinities kan bepalen of hij actie moet ondernemen. Operationele alarmen worden, indien van toepassing, ondersteund door het automatisch opschakelen van een of meerdere camerabeelden voor het creëren van **situationeel overzicht**.

Om de bedienaar binnen dit bedienconcept verder te ondersteunen worden de eerder genoemde **bedrijfstoestanden** geïntroduceerd. Aan deze bedrijfstoestanden is een specifieke toestand en volgordelijkheid in inschakelen van de diverse individuele installatie gekoppeld. Het gebruik van bedrijfstoestanden voorkomt het individueel, op technische basis, moeten bedienen van meerdere installaties in tijdkritische situaties. Het brengt snelheid en uniformiteit in de bediening en biedt de bedienaar de mogelijkheid zich te focussen op de verdere afhandeling van het incident of de calamiteit.

Bij aanwezigheid van zowel lokale als centrale bediening is het van belang de verkeersleiding een identieke omgeving aan te bieden. Dit vergemakkelijkt de overgang en voorkomt gewenningsfouten. Nut en noodzaak van zowel centrale en lokale bediening (en eventueel noodbediening) is een beschikbaarheidsvraagstuk.

3 FUNCTIONALITEITEN TUNNELVEILIGHEID

In de volgende paragrafen worden de toegelichte hoofddoelstellingen van tunnelveiligheid nader uitgewerkt naar de gewenste functionaliteiten. Het is belangrijk te benadrukken dat het gaat om het definiëren van de gewenste functionaliteit en nog niet het invullen van de technische voorzieningen die nodig zijn om de functie te vervullen.



Figuur 3-1: Doelstellingen Tunnelveiligheid

3.1 FUNCTIONALITEIT 'INCIDENTEN VOORKOMEN'

In het kader van preventie is het van belang de tunnel te voorzien van functies waarmee incidenten zoveel mogelijk worden voorkomen. Door het creëren van overzicht over de verkeerssituatie en een duidelijke rijrichting dient afwijkend verkeersgedrag, mogelijk leidend tot incidenten, zoveel mogelijk te worden vermeden. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het kort aanraken van het rempedaal met een kettingreactie bij de achteropkomende weggebruikers tot gevolg.

In Figuur 3-2 wordt de functionaliteit 'Incidenten voorkomen' nader uitgewerkt.



Figuur 3-2: Functionaliteit 'Incidenten voorkomen'

Bij het naderen en binnenrijden van een tunnelkoker gedurende de dag moeten onze ogen zich aanpassen aan een veranderende verlichtingssituatie (oogadaptatie). Bij het naderen van de ingang van een tunnel wordt deze overdag door de weggebruiker als een zwart gat ervaren. Zonder maatregelen kan dit leiden tot afremgedrag met een verhoogde kans op incidenten met het achterliggend verkeer.

Oogadaptatie kan functioneel worden ondersteund door **dynamische ingangs- en uitgangsverlichting**. Dit zorgt ervoor dat zowel de ingang van een tunnel als het gebied direct na de tunnel er onder alle omstandigheden identiek uitziet en objecten, bijvoorbeeld andere weggebruikers of een afgevalen lading, goed zichtbaar zijn.

Ook omgevingsmaatregelen, bijvoorbeeld daglichtroosters of objecten rondom de in- en uitgang, kunnen van positieve invloed zijn. Een geleidelijke, rustige overgang (in intensiteit en lichtkleur) van de openbare verlichting naar de tunnelverlichting ondersteunt tevens het passagecomfort.

Zichtvermindering in een tunnel ontstaat door het blijven hangen van luchtvervuiling in de tunnel. Meestal is er voldoende luchtsnelheid in de tunnel door het doorgaande verkeer. Door snelheidsvermindering of tegenwind kan vervuiling echter blijven hangen. Autonome ventilatie op basis van daadwerkelijk gemeten zicht is hiervoor een goede functionele oplossing.

Bij het binnenrijden van een tunnel is vaak het einde van de tunnel nog niet in zicht. Er kunnen diverse maatregelen worden genomen om de geleiding naar de uitgang te ondersteunen. Dit gebeurt uiteraard op de eerste plaats door de normale belijning op de weg, maar er kan ook **lijnverlichting** voorzien worden. Lijnverlichting is tunnelverlichting die door de weggebruiker wordt ervaren als een te volgen lijn.

Verder is het van belang afwijkende verkeerssituaties in en rondom de tunnel, zoals af- en toeritten, te vermijden. De ontwerprichtlijnen hiervoor zijn terug te vinden in het *Vademecum weginfrastructuur (VWI) deel Europese hoofdwegen*.³

3.2 FUNCTIONALITEIT 'ZELFREDZAAMHEID BORGEN'

Het borgen van zelfredzaamheid tijdens een calamiteit wordt verzorgd door functioneel zowel het beperken van de gevolgen van het incident als veilig vluchten mogelijk te maken, vooral in de periode tussen het optreden van een calamiteit en de daadwerkelijke aanwezigheid van de hulpverlening. De keuze om de gevolgen van het incident te beperken (bijvoorbeeld een poging om een kleine brand te blussen) dan wel veilig te vluchten, is aan de weggebruiker. Ondersteuning hierbij door de verkeersleiding is daarbij erg wenselijk. Het borgen van zelfredzaamheid speelt vooral bij een calamiteit.

In Figuur 3-3 wordt het borgen van zelfredzaamheid functioneel uitgewerkt.



Figuur 3-3: Functionaliteit 'Zelfredzaamheid borgen'

Het **beperken van de gevolgen van een incident** wordt gefaciliteerd door direct handelend te kunnen optreden bij een brand en direct in contact te kunnen komen met de verkeersleiding voor overleg en nadere instructies. Van belang is dat de genoemde functie op vaste afstanden beschikbaar is en duidelijk herkenbaar aanwezig is in de voertuigkoker.

³ Agentschap Wegen en Verkeer. (2023). *Vademecum weginfrastructuur (VWI) deel Europese hoofdwegen*.

Om zo snel mogelijk de **communicatie met de verkeersleiding** tot stand te brengen, dient het gebruik van deze functie direct onder de aandacht te worden gebracht bij de verkeersleiding middels één of meerdere operationele alarmen. Het openen van een kast met voorzieningen kan hiervoor al een *trigger* zijn. Direct daaraan gekoppeld dienen ook beelden voor de verkeersleiding te worden ingeschakeld om de situatie te kunnen overzien.

In geval van calamiteiten dient **veilig vluchten** te worden ondersteund. Ten eerste door op een duidelijke, ondubbelzinnige manier een **veilige vluchtroute aan te geven** met visuele en/of auditieve middelen, die ook onder slechte zichtomstandigheden waargenomen kan worden. Ten tweede door de veiligheid en dus ook de **leefbaarheid op de vluchtroute te garanderen**. In geval van een calamiteit met brand of gevaarlijke stoffen betekent dit het bieden van bescherming tegen hoge temperaturen en het voorkomen van verstikking door rook of gevaarlijke stoffen. Het onder overdruk brengen van de ondersteunende koker voor de calamiteit (bekeken vanuit de rijrichting) en van de vluchtroute na de nooduitgangen door middel van ventilatie is daarvoor de meest geëigende methode.

3.3 FUNCTIONALITEIT ‘HULPVERLENING MOGELIJK MAKEN’

De functionaliteit ‘**hulpverlening mogelijk maken**’ heeft een grote verwevenheid met de functionaliteit ‘**escalatie voorkomen**’. Dit heeft met name te maken met de rol van de verkeersleiding in beide functionaliteiten. De verkeersleiding is de regisseur over het incident tot de komst van de hulpverlening ter plaatse.

Gedurende de inzet van de hulpverlening is actuele **informatie over het incident** essentieel zodat op elk moment kan worden ingeschat welke maatregelen moeten worden genomen. Verder is het van belang voor de hulpverlening dat de aanvalsroute zo snel mogelijk wordt vrijgemaakt en dat de in de tunnel aanwezige voorzieningen in staat van paraatheid worden gebracht.

In Figuur 3-4 wordt de functionaliteit verder uitgewerkt tot op een niveau waarop er bepaalde voorzieningen of processen kunnen worden gekoppeld. De keuze tussen voorzieningen en/of processen is onderdeel van de gekozen hulpverleningsstrategie.



Figuur 3-4: Functionaliteit ‘Hulpverlening mogelijk maken’

Essentieel in de actuele informatie aan de hulpverlening over het incident of de calamiteit is de exacte locatie, de aard en de ernst van het incident. Deze informatie vormt immers de basis voor hun aanvalsstrategie. Als de hulpverlening zelf direct toegang heeft tot deze informatie, kunnen zij zelfstandig deze rol uitvoeren.

Het **vrijmaken van de aanvalsroute** en het **activeren van veiligheidsvoorzieningen** is afhankelijk van de aard en de ernst van het incident of de calamiteit. Om uniformiteit te garanderen in het handelen van de verkeersleiding worden er vijf initiële maatregelen gedefinieerd voor de diverse incidenten of calamiteiten (zie Tabel 3-1).

Tabel 3-1: Initiële maatregelen voor de diverse incidenten of calamiteiten

Naam	Actie	In geval van ...
Maatregel I	voertuigkokers afsluiten met calamiteitenknop én evacuatieknop	<ul style="list-style-type: none"> - brand - vrijkomen van een gevaarlijke stof
Maatregel II	voertuigkokers afsluiten met calamiteitenknop	<ul style="list-style-type: none"> - ernstige aanrijding - kettingbotsing
Maatregel III	incidentkoker afsluiten	<ul style="list-style-type: none"> - te hoog voertuig - bommelding - loslopende dieren in de voertuigkoker
Maatregel IV	incidentstrook afkruisen gevolgd door het afsluiten van de incidentkoker (na aankomst hulpdiensten)	<ul style="list-style-type: none"> - aanrijding met letsel - onwel geworden persoon - voetgangers of fietsers - spookrijder - koker afsluiten na aankomst hulpverlening
Maatregel V	incidentstrook afkruisen	<ul style="list-style-type: none"> - aanrijding met schade - pech - los voorwerp - afgevalen lading - morsing - als er geen sprake is van 'blijvend gevaar' voor aanwezigen in de tunnel

Bovenstaande maatregelen zijn zowel bedoeld om de hulpverlening te faciliteren als om de veiligheid van de weggebruikers in de tunnel zo goed mogelijk te borgen. Van wezenlijk belang daarbij is dat bij calamiteiten meteen de instroom van het verkeer wordt beperkt.

Het activeren van veiligheidsvoorzieningen verloopt ofwel door het veranderen van de toestand van de tunnel ofwel door het uitvoeren van functionele bedieningen, in overeenstemming met het bedienconcept. Een voorbeeld van het uitvoeren van een functionele bediening is het afsluiten van een tunnelkoker. Hierbij zijn meerdere installaties betrokken, maar dit zit onder één functioneel commando met eventueel bepaalde beslismomenten. Het activeren van een calamiteitenknop is één van de mogelijkheden om de tunnel van toestand te doen veranderen.

Nadat de hulpverlening ter plaatse is, kan de verkeersleiding verder ondersteunen in het op verzoek bedienen van de diverse installaties.

3.4 FUNCTIONALITEIT 'ESCALATIE VOORKOMEN'

Het voorkomen van escalatie is de dagelijkse activiteit van de verkeersleiding. Door de tunnel periodiek (en mogelijk tijdens drukke momenten frequenter) te bekijken, wordt er steeds een actueel beeld gevormd van de verkeerssituatie in en rond de tunnel. Hiermee wordt het verrassingsmoment bij het optreden van een incident weggenomen. Want ook tijdens een incident is de taak van de verkeersleiding om escalatie van een incident te voorkomen, door zo veel mogelijk de veiligheid te borgen van de nog aanwezige weggebruikers in de tunnel en eveneens het hulpverleningsproces op gang te brengen en te ondersteunen.

Tot de komst ter plaatse van de hulpverlening is de verkeersleiding de regisseur van behandelen van het incident. De verkeersleiding volgt de volgende processtappen om escalatie van een incident of calamiteit te voorkomen:

- vaststellen van de aard van het voorval;
- bepalen van de afhandelingstrategie;
- instellen van initiële maatregelen;
- informeren en oproepen;
- instellen bijkomende maatregelen;
- herstellen en normaliseren;
- loggen en registreren.

Om uniformiteit te garanderen in het handelen van de verkeersleiding werden er vijf initiële maatregelen voor de diverse incidenten en calamiteiten gedefinieerd in tabel 2 van het vorige hoofdstuk.

Tunnelmonitoring door de verkeersleiding kan functioneel worden ondersteund door het bediensysteem door de informatievoorziening zoveel mogelijk te automatiseren. Denk hierbij aan het volledig automatisch oproepen van beelden bij een verkeerskundig alarm.

In Figuur 3-5 wordt de functionaliteit 'Escalatie voorkomen' functioneel uitgewerkt.



Figuur 3-5: Functionaliteit 'Escalatie voorkomen'

4 TUNNELVEILIGHEIDSDOELSTELLINGEN IN DE LEVENSCYCLUS

De tunnelveiligheidsdoelstellingen en bijbehorende functionaliteiten spelen een belangrijke rol gedurende de gehele levenscyclus van een tunnel, die begint in de planfase en eindigt bij de uiteindelijke sloop. In zijn levenscyclus wordt een tunnel ontworpen, gerealiseerd, geëxploiteerd, een aantal malen gerenoveerd en uiteindelijk gesloopt. Renovaties zijn noodzakelijk vanwege veroudering of nieuwe wetgeving.

4.1 TUNNELVEILIGHEIDSDOELSTELLINGEN IN DE ALTERNATIEVENONDERZOEKS- EN VOORONTWERPFASE

In de alternatievenonderzoeks- en voorontwerpfase is in het kader van tunnelveiligheid de inpassing in de verkeerstechnische omgeving van belang. Hierin speelt het voorkomen van incidenten een grote rol. Zowel voor, in als na de tunnel wordt de verkeersveiligheid bekeken en dient rekening gehouden te worden met de minimale afstand tot convergentie- en divergentiepunten.

Aangezien het gebied stroomafwaarts van een incident met brand niet volledig rookvrij kan gehouden worden, moet een tunnel samen met de omliggende weginfrastructuur zodanig ontworpen worden dat er geen structurele file in de tunnel kan ontstaan. Dit moet grondig bestudeerd worden aan de hand van macrosimulaties (filegevoeligheid van het traject waarop de tunnel ligt) en microsimulaties (invloed van afritten, verkeerslichten, ...). Daarnaast is de bereikbaarheid van de tunnel voor de hulpverlening van enorm belang. De alternatievenonderzoeks- en voorontwerpfase is het moment om gezamenlijk met alle betrokkenen na te denken over de bereikbaarheid tijdens incidenten of calamiteiten. Hieruit kunnen eisen volgen die meegegeven worden aan de ontwerpfase. Het vastleggen hiervan kan in een eerste versie van een calamiteitenbestrijdingsplan.

Tot slot kunnen de tunnelveiligheidsdoelstellingen opnieuw geformuleerd worden zodat de gewenste functionaliteit in het kader van tunnelveiligheid meegenomen kan worden naar de ontwerpfase.

4.2 TUNNELVEILIGHEIDSDOELSTELLINGEN IN DE ONTWERPFASE

Tunnelveiligheid wordt gewaarborgd door zowel techniek als processen. In een scenarioanalyse kunnen deze aspecten worden samengebracht om de organisatie af te stemmen en voor te bereiden op de uitwerking van processen, procedures en technische functionaliteiten. Het doel hiervan is om ervoor te zorgen dat het geheel aan techniek, organisaties en processen effectief functioneert en zo de veiligheid maximaal wordt gegarandeerd.

Voor het ontwerpen van de voorzieningen in het kader van tunnelveiligheid is een multidisciplinair ontwerpproces noodzakelijk waarin de tunnelinfrastructuur, het verkeerskundig wegontwerp en de tunnelvoorzieningen integraal op elkaar af worden gestemd. Belangrijk daarbij is gedurende de gehele ontwerpfase steeds het beheer en onderhoud tijdens de exploitatiefase mee te nemen in de ontwerpbeslissingen.

Dit ontwerpproces verloopt meestal in een paar iteraties waarbij de functies daadwerkelijk worden geborgd in het wegontwerp, het ontwerp van de tunnelinfrastructuur en het ontwerp van de tunnelvoorzieningen. De borging van dit proces wordt ingevuld door een structureel en gedocumenteerd verificatie- en validatieproces.



Figuur 4-1: Tunnelveiligheid ontwerpen

Ook bij renovaties is er sprake van een ontwerpfase. Deze is eigenlijk nog complexer omdat er rekening moet worden gehouden met het feit dat de tunnel voor het grootste deel van de tijd open moet blijven of tussen (micro)renovaties weer open moet worden gesteld.

Bij het optimaliseren van de veiligheid passen we het ALARA-principe toe. ‘ALARA’ staat voor: *As Low As Reasonably Achievable*. Vrij vertaald betekent dit: “Gebruik in het hele ontwerptraject je verstand en kijk waar er met minimale extra investeringen op praktische wijze nog extra veiligheidswinst te boeken valt, ook wanneer de constructie met een kwantitatieve risicoanalyse en een scenarioanalyse is getoetst.” Gewoon goed nadenken levert met weinig extra kosten vaak een effectieve veiligheidsverbetering.

De processen en voorzieningen zullen integraal ontworpen en onderhouden moeten worden. Daarbij is een integraal ontwerp van belang waarin installaties en processen in samenhang worden uitgewerkt. Om te borgen dat processen en voorzieningen blijven werken is een goed onderhoudsprogramma een noodzaak.

4.3 TUNNELVEILIGHEIDSDOELSTELLINGEN IN DE (OM)BOUWFASE

In de (om)bouwfase wordt hetgeen in de ontwerpfase is ontworpen definitief gebouwd. Dit speelt zowel in nieuwbouw als in geheel of gedeeltelijke renovatie. In geval van renovatie gaat het om aanpassingen aan het bestaande systeem waarbij integratie een cruciale rol speelt met uitdagingen die vaak nog veel complexer zijn dan in nieuwbouw.

In de (om)bouwfase is het gedegen integraal testen van de nieuwe systemen van het grootste belang evenals het opleiden, trainen en oefenen (OTO) met deze nieuwe systemen. Essentieel hierbij is het vroegtijdig betrekken van alle partijen die in de exploitatiefase de systemen gaan gebruiken en beheren.

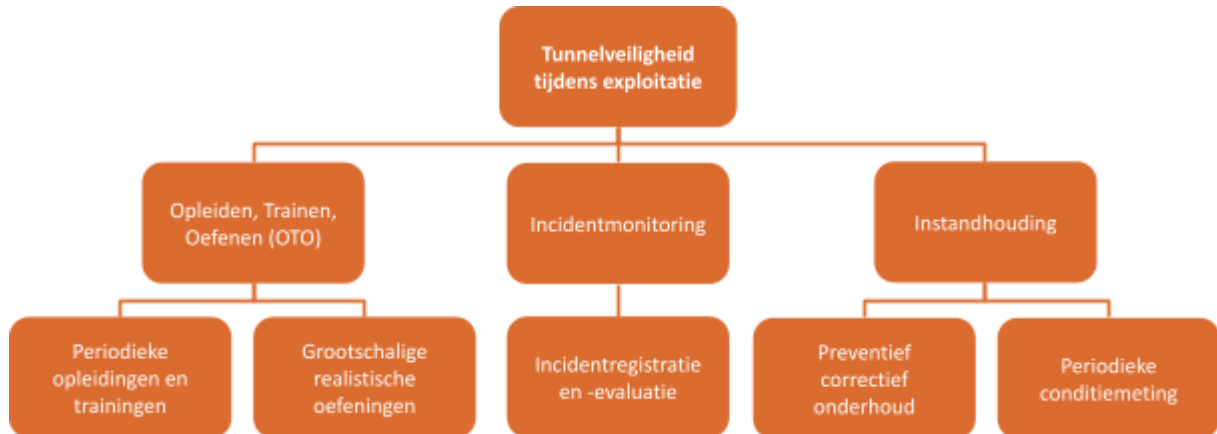
Voor het testen is een gedegen (I)FAT/(I)SAT/SIT-traject noodzakelijk. Tijdens de fabrieksafname (*Factory Acceptance Test, FAT*) wordt aangetoond dat het systeem aan de gevraagde specificaties voldoet. Met een inbedrijfstelling (*Site Acceptance Test, SAT*) wordt aangetoond dat het systeem binnen de tunnel zijn functie vervuld. Middels een geïntegreerde test (I) wordt ook de koppeling met de bovenliggende besturing getest. Tenslotte wordt met een integrale afnametest (*Site Integration Test, SIT*) aan alle belanghebbenden aangetoond dat de gevraagde integrale functionaliteit van alle voorzieningen correct functioneert onder de gegeven omstandigheden. Een door alle betrokkenen geaccepteerde SIT is een voorwaarde voor openstelling van een tunnel. Indien de tunnelveiligheid niet in het geding is kan bij hoge uitzondering nog gewerkt worden met een restpuntenlijst met duidelijk gestelde termijnen.

De (om)bouwfase wordt afgesloten met het opleveren van een Tunnelveiligheidsdossier. Hiermee wordt de overdracht naar de exploitatiefase gerealiseerd.

De opbouw van het Tunnelveiligheidsdossier start al in de planologische fase en groeit met de voortgang van het project. Bij overdracht naar de (om)bouwfase moet het definitief zijn en van voldoende detailniveau voor de operatie bij openstelling.

4.4 TUNNELVEILIGHEIDSDOELSTELLINGEN IN DE EXPLOITATIEFASE

Om aan de tunnelveiligheidsdoelstellingen te kunnen blijven voldoen gedurende de gehele exploitatiefase van een tunnel zijn een aantal processen en activiteiten in het gebruik en het asset management van de tunnel en haar voorzieningen noodzakelijk.



Figuur 4-2: Tunnelveiligheid tijdens de exploitatiefase

Om te leren omgaan met de tunnel en haar voorzieningen is een degelijk OTO-programma (Opleiden, Trainen, Oefenen) noodzakelijk. Initieel wordt er een opleiding gegeven om de betrokkenen vertrouwd te maken met de voorzieningen zodat ze weten hoe ermee om te gaan. Om te borgen dat deze kennis niet wegzakt na verloop van tijd zijn periodieke opleidingen en trainingen ter opfrissing noodzakelijk voor alle betrokkenen. Grootschalige realistische oefeningen, waarbij onverwachte gebeurtenissen worden nagespeeld, zijn daarnaast een zeer adequaat middel om gezamenlijk met alle belanghebbenden te leren van incidenten en calamiteiten. Een goede evaluatie en het op basis daarvan eventueel aanscherpen van procedures is daarin een essentieel onderdeel van de PDCA-cyclus (*Plan, Do, Check, Act*). Het is noodzakelijk dat alle betrokkenen worden meegenomen in deze cyclus.

Om ervoor te zorgen dat de aanwezige voorzieningen op ieder willekeurig moment ook volledig doen wat ze moeten doen, is degelijk asset management noodzakelijk. Dat betekent dat er regelmatig onderhoud nodig is, zowel preventief als correctief, om de functies van de voorzieningen goed en betrouwbaar te kunnen blijven vervullen. Daarnaast is het van belang dat de systemen gemonitord worden op EOS- (*End of Service*) en EOL-status (*End of Life*) om de ondersteuning en leverbaarheid van componenten te garanderen. Het storingsgedrag van systemen dient in dit kader ook te worden geanalyseerd. Hierbij is het toenemen van de storingsfrequentie een indicator voor een noodzakelijke renovatie.

Om dit assetmanagementproces te monitoren zijn periodieke onafhankelijk conditiemetingen noodzakelijk. In het kader van deze conditiemetingen is het soms noodzakelijk om daadwerkelijk de functionaliteit te testen. Daar waar dit niet mogelijk is, dienen periodieke keuringen door onafhankelijke instanties te worden uitgevoerd.

Asset management houdt ook in dat er gedurende de levenscyclus van een tunnelsysteem kleinere en grotere renovaties moeten worden uitgevoerd. De verzamelde informatie is daarbij van belang voor het opzetten van een effectieve renovatieplanning.

Tot slot moet er een leerproces (PDCA) worden ingericht rondom daadwerkelijke incidenten. Incidenten moeten worden geregistreerd en geëvalueerd. Als daaruit blijkt dat voorzieningen niet hebben gepresteerd zoals verwacht of niet zijn gebruikt zoals bedoeld, zullen deze opnieuw moeten worden beschouwd en eventueel verbeterd.

REFERENTIES

- Economic Commission for Europe, Inland Transport Committee, Ad hoc Multidisciplinary Group of Experts on Safety in Tunnels. (2001). *Recommendations of the Group of Experts on Safety in Road Tunnels: Final Report*. <https://unece.org/DAM/trans/doc/2002/ac7/TRANS-AC7-09e.pdf>
- Europese Commissie. (2004). *Richtlijn 2004/54/EG van het Europees Parlement en de Raad van 29 april 2004 inzake minimumveiligheidseisen voor tunnels in het trans-Europese wegennet*. PB L 167, 39-43.
- Agentschap Wegen en Verkeer. (2023). *Vademecum weginfrastructuur (VWI) deel Europese hoofdwegen*.