

Inhoudsopgave

Documentgeschiedenis			
Versie	Datum	Hoofdstukken	Toelichting/Wijzigingen
1.0	Januari 2004	Alle hoofdstukken	Eerste definitieve versie
(2.0)	07-09-05	Hoofdstuk 11	Versie 1.0 → 2.0: actualisatie op basis van nieuwe inzichten; destijds via het wijzigingsjournaal van de VRC aangeboden op de website www.tunnelsafety.nl , als "versie 7, d.d. 7 september 2005"
(2.0)	18-09-06	Hoofdstuk 9 (paragraaf 9.4)	Versie 1.0 → 2.0: actualisatie op basis van nieuwe inzichten; destijds via het wijzigingsjournaal van de VRC aangeboden op de website www.tunnelsafety.nl , als "versie 2, d.d. 18 september 2006"
1.1	15 juni 2009	Hoofdstukken 1 t/m 5, hoofdstukken 7,8 en 10 en hoofdstukken 12 t/m 18 en 20	Versie 1.0 → 1.1: richtlijnen geharmoniseerd met wet- en regelgeving die vanaf mei 2006 van kracht is (terminologie waar nodig aangepast, enkele kleine discrepanties tussen VRC en regelgeving opgeheven). Wijzigingen aangegeven in blauw.
2.1	15 juni 2009	Hoofdstuk 9	Versie 2.0 → 2.1: idem (geharmoniseerd met wet- en regelgeving). Wijzigingen aangegeven in blauw.
3.0	15 juni 2009	Hoofdstuk 11	Versie 2.0 → 3.0: idem (geharmoniseerd met wet- en regelgeving); tevens actualisatie op basis van nieuwe inzichten. Wijzigingen aangegeven in blauw.

Hfdst..	Titel	Versie	Datum	Pagina
1	Inleiding	1.1	15-06-2009	1-1
2	Definities	1.1	15-06-2009	2-1
2.1	Algemeen			2-1
2.2	Groepen wegconstructies			2-1
2.3	Terminologie			2-4
3	Samenhang maatregelen	1.1	15-06-2009	3-1
3.1	Samenhang tussen veiligheidsmaatregelen			3-1
3.2	Tunnels met mechanische ventilatie			3-2
3.3	Constructies zonder mechanische ventilatie			3-3
4	Verkeerskundig	1.1	15-06-2009	4-1
4.1	Inleiding			4-1
4.2	Tracering			4-1
4.3	Het aantal rijstroken per buis			4-2
4.4	Dwarsprofiel			4-3
5	Energie	1.1	15-06-2009	5-1
5.1	Algemeen			5-1
5.2	Uitgangspunten voor het dimensioneren			5-1
6	Verlichting	1.0	Januari 2004	6-1
6.1	Algemeen			6-1
7	Afvoersysteem	1.1	15-06-2009	7-1
7.1	Algemeen			7-1
7.2	Het wegdek			7-1
7.3	Het rioleringsstelsel			7-2
7.4	De waterkelders			7-2
7.5	Pompinstallaties			7-4

Inhoudsopgave

Hfdst..	Titel	Versie	Datum	Pagina
8	Bescherming tegen brand	1.1	15-06-2009	8-1
8.1	Algemeen			8-1
8.2	Toepassingsgebied			8-1
8.3	Maatregelen			8-2
9	Bediening en bewaking	2.1	15-06-2009	9-1
9.1	Algemeen			9-1
9.2	Toepassingsgebied			9-1
9.3	Functie en eisen besturingsinstallatie			9-2
9.4	Bediening en besturing bij calamiteiten			9-3
10	Verkeersdetectie en verkeersregeling	1.1	15-06-2009	10-1
10.1	Algemeen			10-1
10.2	Verkeersdetectie			10-1
11	Vluchten	3.0	15-06-2009	11-1
11.1	Algemeen			11-1
11.2	Projectering van vluchtwegen			11-1
11.3	Toegankelijkheid van vluchtdeuren			11-2
11.4	Ontwerpaspecten			11-2
11.5	Aanduiding van de vluchtweg			11-8
12	Ventilatie	1.1	15-06-2009	12-1
12.1	Algemeen			12-1
12.2	Ontwerp ventilatiesysteem			12-2
12.3	Civiele aspecten			12-3
13	Communicatie	1.1	15-06-2009	13-1
13.1	Algemeen			13-1
13.2	Communicatiesystemen			13-1
14	Detectie van gevaarlijke situaties	1.1	15-06-2009	14-1
14.1	Algemeen			14-1
14.2	Toepassingsmogelijkheden			14-1
15	Brandbestrijding	1.1	15-06-2009	15-1
15.1	Algemeen			15-1
15.2	Voorzieningen voor de weggebruikers			15-2
15.3	Voorzieningen voor de brandweer			15-3
16	Kabels en leidingen	1.1	15-06-2009	16-1
16.1	Algemeen			16-1
16.2	Bereikbaarheid			16-1
16.3	Ontwerpaspecten			16-1
17	Hulpposten	1.1	15-06-2009	17-1
17.1	Algemeen			17-1
17.2	Ontwerpaspecten			17-1
17.3	Locatie en toepassing			17-2
18	Hulpverlening	1.1	15-06-2009	18-1
19	Beleving	1.0	Januari 2004	19-1
19.1	Algemeen			19-1
19.2	Normale omstandigheden			19-1
19.3	Calamiteitensituatie			19-2

Inhoudsopgave

Hfdst..	Titel	Versie	Datum	Pagina
20	Beheer en onderhoud	1.1	15-06-2009	20-1
20.1	Algemeen			20-1
20.2	Onderhoudssituaties			20-1
21	Compenserende maatregelen bij falen tunnelinstallaties	1.0	Januari 2004	21-1
21.1	Algemeen			21-1
21.2	Maatregelen			21-1

1 Inleiding

Het beslag op de steeds schaarser wordende ruimte groeit voortdurend. Bebouwingsdichtheden nemen nog steeds toe en ideeën met betrekking tot het gebruik van de 'derde dimensie' krijgen steeds meer gestalte. Naast de 'klassieke' wijze van tunnelbouw zijn en worden nieuwe technieken ontwikkeld (o.a. boren, verdiepte liggingen, overkappingen); ook wordt steeds vaker overwogen om auto(snel)wegen volledig te overkluisen om ruimte te maken voor leefgebieden, kantoren en wooneenheden. In deze context is een integrale aanpak van de veiligheidsproblematiek een absolute vereiste. De in het verleden gehanteerde richtlijnen (zoals de WUT-richtlijnen) waren hier onvoldoende op toegesneden.

Integrale veiligheidsfilosofie

Het Steunpunt Tunnelveiligheid van de Bouwdienst heeft een integrale benaderingswijze voor de veiligheidsproblematiek van ondergrondse verkeersinfrastructuur geformuleerd. Samengevat omvat deze filosofie 5 hoofdonderdelen (voor nadere toelichting zie de bijlage):

- A. Normen, richtlijnen en uitgangspunten.
- B. Veiligheidsbeschouwingen.
- C. Basismaatregelen.
- D. Aanvullende maatregelen en hun veiligheidseffectiviteit.
- E. De veiligheidsorganisatie.

De voorliggende bundel betreft het onderdeel C. De bundel bestaat uit twee delen die samen één geheel vormen. In het eerste deel '**VRC richtlijnen**' wordt een beschrijving gegeven van veiligheidsmaatregelen die in ondergrondse en verdiept gelegen weginfrastructuur *kunnen* worden toegepast. Let wel: hiermee wordt dus niet gezegd dat alle hier genoemde maatregelen ook daadwerkelijk moeten worden toegepast! Per maatregel worden richtlijnen geformuleerd met bijbehorende (korte) toelichting. Het tweede deel '**VRC bijlagen**' bevat bijlagen bij de meeste hoofdstukken van de richtlijnen. Hierin wordt een uitgebreide toelichting gegeven op de richtlijnen en achtergrondinformatie verschaft. Ook wordt doorverwezen naar relevante literatuur.

De in deze bundel vermelde maatregelen beperken zich louter tot de veiligheidsaspecten. Voor nadere vormgeving, detailleringen, uitvoeringswijzen en dergelijke wordt doorverwezen naar SATO¹.

Deze richtlijnen zijn bedoeld om primair de ontwerper, maar ook de overige bij de veiligheid betrokken partijen, te helpen om tot een afgewogen basispakket aan veiligheidsmaatregelen te komen.

Sinds mei 2006 is in Nederland een wet- en regelgeving met betrekking tot tunnelveiligheid van kracht geworden, o.a. de Wet Aanvullende Regels Veiligheid Wegtunnels (Warvw), het Besluit Aanvullende Regels Veiligheid Wegtunnels (Barvw) en de Regeling Aanvullende Regels Wegtunnels (Rarvw).² De integrale veiligheidsfilosofie van het Steunpunt Tunnelveiligheid is in hoofdlijnen opgenomen in deze wet- en regelgeving. De VRC geeft handvatten om het voorzieningenniveau aan de wettelijke eisen te laten voldoen. In de memorie van toelichting van het Barvw wordt dit als volgt benadrukt³:

¹ SATO: Specifieke Aspecten Tunnel Ontwerp. Overzicht van tunneldetails; in beheer bij de Bouwdienst van Rijkswaterstaat

² Voor een actueel overzicht van de wet- en regelgeving wordt verwezen naar www.overheid.nl

³ In de betreffende passage in de memorie van toelichting van het Barvw is per abuis een spelfout geslopen: "VCR" moet zijn: "VRC".

Artikelen 4 tot en met 14

Met betrekking tot de veiligheid van tunnels bestaan reeds geruime tijd zowel algemeen verbindende wettelijke voorschriften als «buitenwettelijke eisen en normen». Zo geeft het Bouwbesluit 2003 voor ventilatie en ontvluchting specifieke regels voor tunnels. Voorbeelden van «buitenwettelijke eisen en normen» waaraan tunnels getoetst worden, zijn de KIVI-handleiding voor verlichting in tunnels en de VCR-Richtlijn Basismaatregelen van de Bouwdienst van de Rijkswaterstaat. In de genoemde voorbeelden is sprake van een hoge veiligheidsstandaard die in de praktijk in het algemeen aangehouden wordt. Naar aanleiding van de richtlijn wordt een aantal van deze eisen en normen, al dan niet enigszins aangepast, door middel van dit besluit en de Regeling aanvullende regels veiligheid wegtunnels, alsmede de eerder genoemde wijziging van het Bouwbesluit 2003 en van de Regeling Bouwbesluit 2003, nu publiekrechtelijk vastgelegd.

Het beleid is dat het voorzieningenniveau van alle nieuw te bouwen RWS-tunnels aan de VRC richtlijnen wordt getoetst⁴. Bestaande tunnels dienen zoveel mogelijk aan de VRC richtlijnen te worden aangepast. Hierbij moet uiteraard rekening worden gehouden met de technische beperkingen (niet alle aanpassingen zijn mogelijk in een bestaande constructie) en de kosteneffectiviteit (het veiligheidseffect van de aanpassingen moet opwegen tegen de kosten).

Opbouw VRC richtlijnen

De VRC richtlijnen zijn als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 worden allereerst definities gegeven ten aanzien van de beschouwde groepen wegconstructies en gehanteerde terminologie.

In hoofdstuk 3 wordt vervolgens de onderlinge samenhang van de veiligheidsmaatregelen aangegeven. Tevens wordt hierin een voorkeursvolgorde voor het beschouwen van de diverse veiligheidsaspecten aangegeven.

Deze veiligheidsmaatregelen worden daarna nader beschreven in de hoofdstukken 4 tot en met 21.

Wenken voor gebruik

Met nadruk zij er op gewezen dat de VRC richtlijnen dienen te worden gehanteerd in samenhang met de handleidingen en richtlijnen die voor de overige onderdelen van de integrale veiligheidsfilosofie zijn (en worden) ontwikkeld.

Op het gebied van veiligheid in tunnels zijn er nog steeds allerlei ontwikkelingen gaande; het betreft zowel de regelgeving (nationaal en internationaal) als het ontwikkelen van nieuwe technieken en maatregelen. De VRC richtlijnen zullen, indien daar aanleiding toe is, aangepast worden aan deze ontwikkelingen. De vigerende versie van deze richtlijnen is te vinden op de website van het Steunpunt Tunnelveiligheid: www.tunnelsafety.nl

Bij toepassing binnen projecten zal de ontwerper duidelijk inzicht moeten geven in de voorgenomen veiligheidsmaatregelen in hun onderlinge samenhang, waarbij per maatregel een gedegen motivering mag worden verlangd op grond waarvan:

- wordt gemeend dat aan één of meerdere in deze bundel behandelde maatregelen geen inhoud wordt gegeven;
- de wél te hanteren maatregelen op hun juiste waarde kunnen worden getoetst.

Om de kwaliteit van de richtlijnen verder te verbeteren, vragen wij u als gebruiker om onduidelijkheden en overig commentaar door te geven aan het Steunpunt Tunnelveiligheid (www.tunnelsafety.nl)

⁴ Dit is bevestigd door de minister van V&W, zie brief aan Tweede Kamer met kenmerk RWS SDG /prod2009/485/77282, d.d. 21 april 2009, betreffende commissievragen inzake de tunnels A73

2 Definities

2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk worden de in deze richtlijnen behandelde wegconstructies onderscheiden in 4 groepen:

1. Lange gesloten constructies: tunnels;
2. korte gesloten constructies;
3. gedeeltelijk gesloten constructies;
4. zijwaarts gesloten constructies.

In paragraaf 2.2 wordt per groep een definitie gegeven. Tevens wordt een aantal voorbeelden gegeven van constructies vallend onder de betreffende groep.

In paragraaf 2.3 wordt een aantal termen en begrippen verklaard.

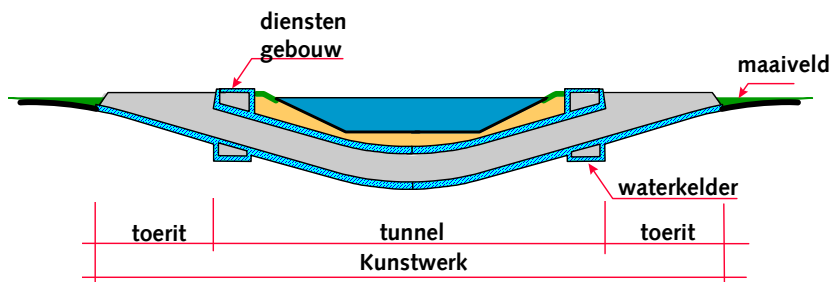
2.2 Groepen wegconstructies

2.2.1 Lange gesloten constructies: Tunnels

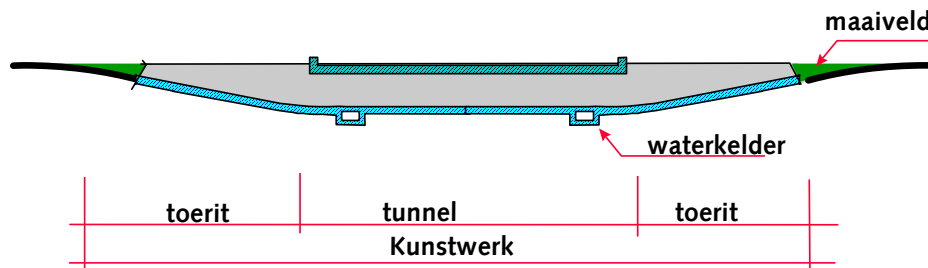
Tunnels zijn lange, **aan vier zijden omsloten** kunstwerken ten behoeve van een weg of spoorweg.

Voorbeelden zijn:

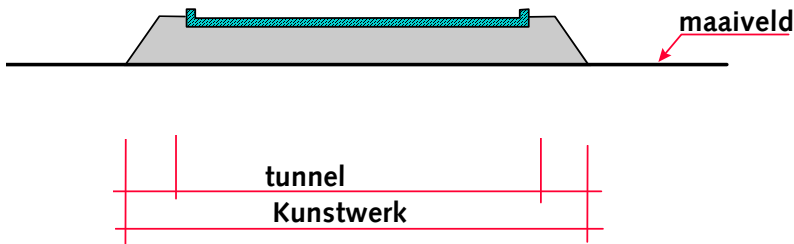
- Een tunnel onder een watergang



- Een tunnel onder maaiveld



- Een tunnel boven maaiveld



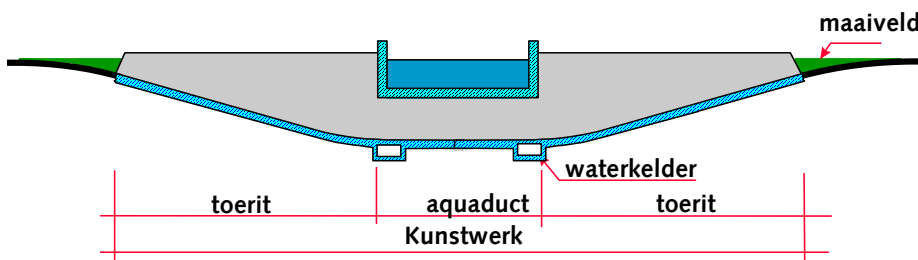
De Wet Aanvullende Regels Veiligheid Wegtunnels (Warvw) is van toepassing op wegtunnels langer dan 250m, uitsluitend dan wel mede bestemd voor motorrijtuigen, als bedoeld in artikel 1, eerste lid, onder c, van de Wegenverkeerswet 1994 (Warvw, art. 2, lid 1). De lengte van de tunnel wordt daarbij bepaald door het langste omsloten gedeelte. De VRC richtlijnen zijn daarentegen ook toepasbaar op kortere wegtunnels en andere tunnelachtige constructies in wegen (zie paragraaf 2.2.2 e.v.).

2.2.2 Korte, gesloten constructies

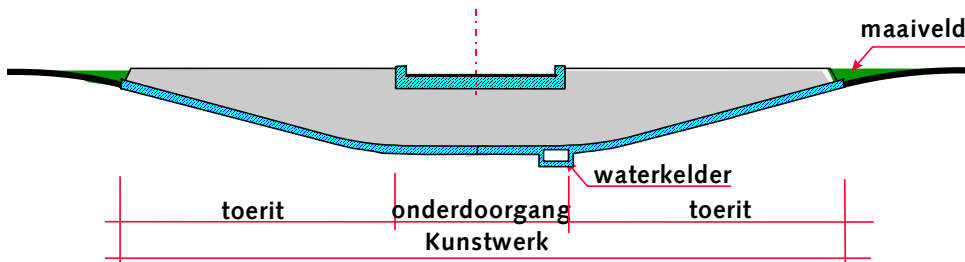
Korte, gesloten constructies zijn gesloten kunstwerken ten behoeve van een weg of spoorweg waarvan de lengte van het gesloten deel beperkt is.

Voorbeelden zijn:

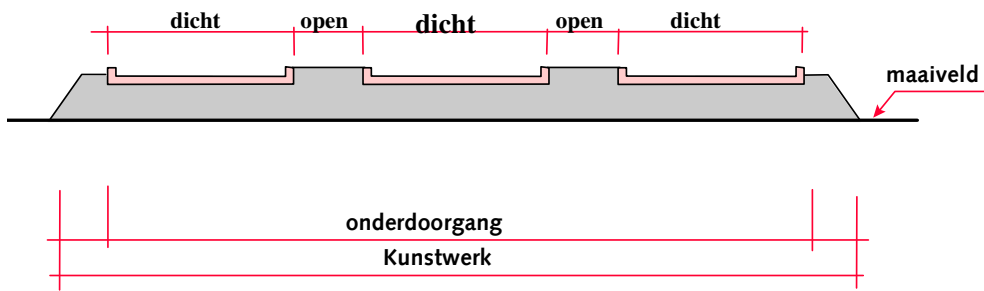
- Een aquaduct: een kort, gesloten kunstwerk dat water voert over een dal, een verkeersweg of een spoorweg.



- Een onderdoorgang: een kort, gesloten kunstwerk waarmee een weg of spoorweg onder een weg, spoorweg of maaiveld wordt geleid.



- Een DODO constructie: een kunstwerk met afwisselend korte, gesloten (dicht) en open delen, waarmee een weg of spoorweg onder wegen, spoorwegen of het maaiveld wordt geleid.

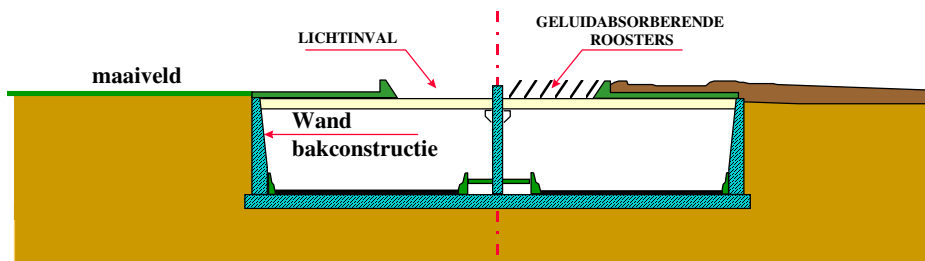


2.2.3 Gedeeltelijk gesloten constructies

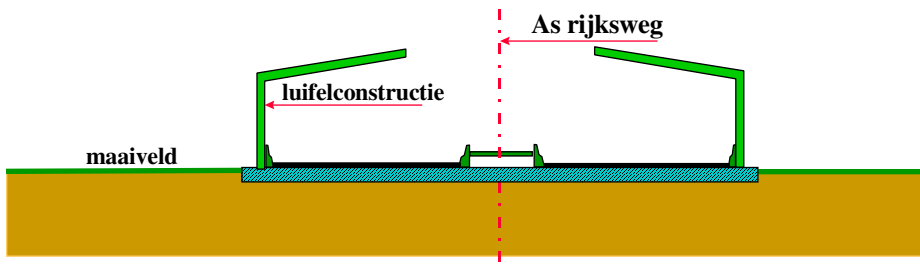
Gedeeltelijk gesloten constructies zijn grotendeels gesloten, rechthoekige kunstwerken ten behoeve van een weg of spoorweg.

Voorbeelden zijn:

- Een overkapte bakconstructie: een weg (beneden maaiveld) tussen wanden en voorzien van een grotendeels gesloten dakconstructie



- Een luifelconstructie: een constructie die een weg op maaiveld grotendeels afschermt van de omgeving om geluidsoverlast naar de omgeving te beperken. De constructie heeft een grotendeels gesloten karakter.

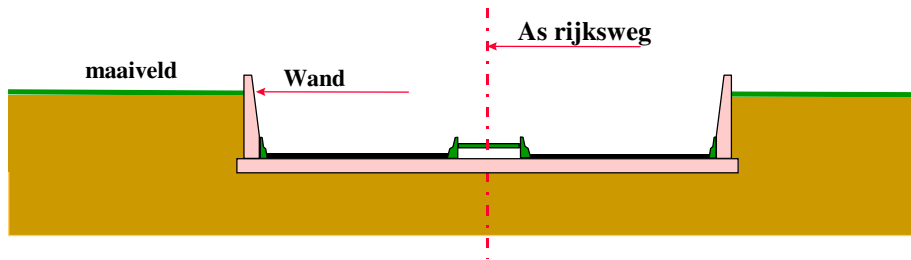
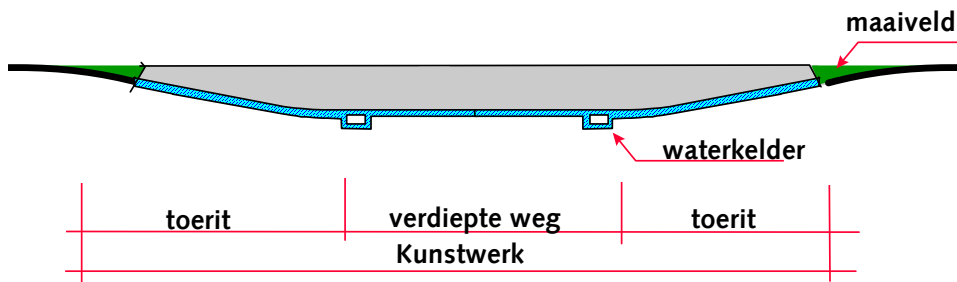


2.2.4 Zijwaarts gesloten constructies

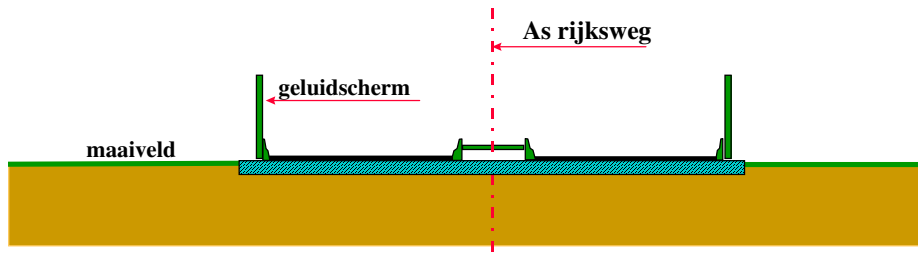
Zijwaarts gesloten constructies zijn open, rechthoekige kunstwerken ten behoeve van een weg of spoorweg.

Voorbeelden zijn:

- Een verdiepte weg: een open wegconstructie gelegen beneden het maaiveld.



- Een weg voorzien van geluidsschermen: een weg, doorgaans op maaiveld, voorzien van schermen om geluidsoverlast naar de omgeving te beperken.



2.3 Terminologie

2.3.1 Termen ten aanzien van constructies

Bakconstructie:	Een U-vormig kunstwerk, al dan niet verdiept gelegen, ten behoeve van een weg of spoorweg.
Bedieningsgebouw:	Een gebouw waarin alle functies van de tunnelinstallaties bestuurd en bewaakt worden.
Centrale bediening:	Bediening van meerdere objecten, soms verkeerscentrale genoemd.
Dienstengebouw:	Een gebouw, op of naast een kunstwerk, waarin elektromechanische installaties van het kunstwerk zijn opgesteld.
Hoofdkelder:	Een waterkelder waarvan de nuttige berging mede is bepaald aan de hand van de hoeveelheid regenwater bij de maatgevende bui.
Middenkelder:	Een waterkelder in het gesloten deel van een tunnel. Kenmerkend voor een middenkelder is dat hierin in principe geen grote hoeveelheden regenwater terecht kunnen komen.
Pompenkamer:	Een droge ruimte, meestal boven de waterkelder, waarin de voorzieningen voor de pompinstallatie zijn opgenomen.
Toerit:	De constructie die de aansluiting verzorgt van de weg op maaiveld naar de tunnel, het aquaduct, de onderdoorgang of verdiepte weg.

Waterkelder: Een ruimte waarin regenwater, eventueel lekwater, bluswater en verloren vloeistoffen tijdelijk opgeslagen worden.

2.3.2 Begrippen ten aanzien van veiligheid

ALARP: As Low As Reasonably **Practical**. Zeer vrij vertaald zegt dit principe “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 zowel probabilistisch als deterministisch is geanalyseerd en akkoord bevonden”.

Barwv: [Besluit aanvullende regels veiligheid wegtunnels.](#)

Bediening: De activiteiten waarmee (vanuit een centraal gelegen ruimte) de afwikkeling van het verkeer en de werking van de verkeers- en tunneltechnische installaties, door operators ([wegverkeersleiders](#)), worden bewaakt en bij verstoringen of afwijkingen van de normale situatie wordt ingegrepen middels gestandaardiseerde handelingen, al dan niet geautomatiseerd.

Bewaking: De ‘controlerende’ activiteit die door een besturingsinstallatie wordt geïnitieerd in de vorm van een melding van technische storingen en/of brand, eventueel gevolgd door een automatische maatregel zonder menselijke tussenkomst.

Calamiteit: Een ernstig incident in de tunnel waarbij sprake is van: beknelling en/of ernstig gewond zijn van personen (zodanig dat de hulp van de brandweer nodig wordt geacht), brand of het vrijkomen van gevaarlijke stoffen.

Calamiteitenknop: Een knop (fysiek of op beeldscherm) die een groepscommando inschakelt waardoor met één handeling alle bij een calamiteit benodigde commando's worden gegeven en de daarbij behorende acties worden gestart.

Falen (tunnel): Een tunnel faalt als hij niet gebruikt kan worden voor het veilig doorlaten van het soort verkeer waarvoor hij is ontworpen.

Falen (installatie): Een installatie faalt als deze zijn hoofdfunctie niet of grotendeels niet meer vervult.

Rarwv: [Regeling aanvullende regels veiligheid wegtunnels.](#)

Vluchtroute: De totale weg die personen moeten afleggen van hun voertuig naar een veilige plaats tot buiten de constructie.

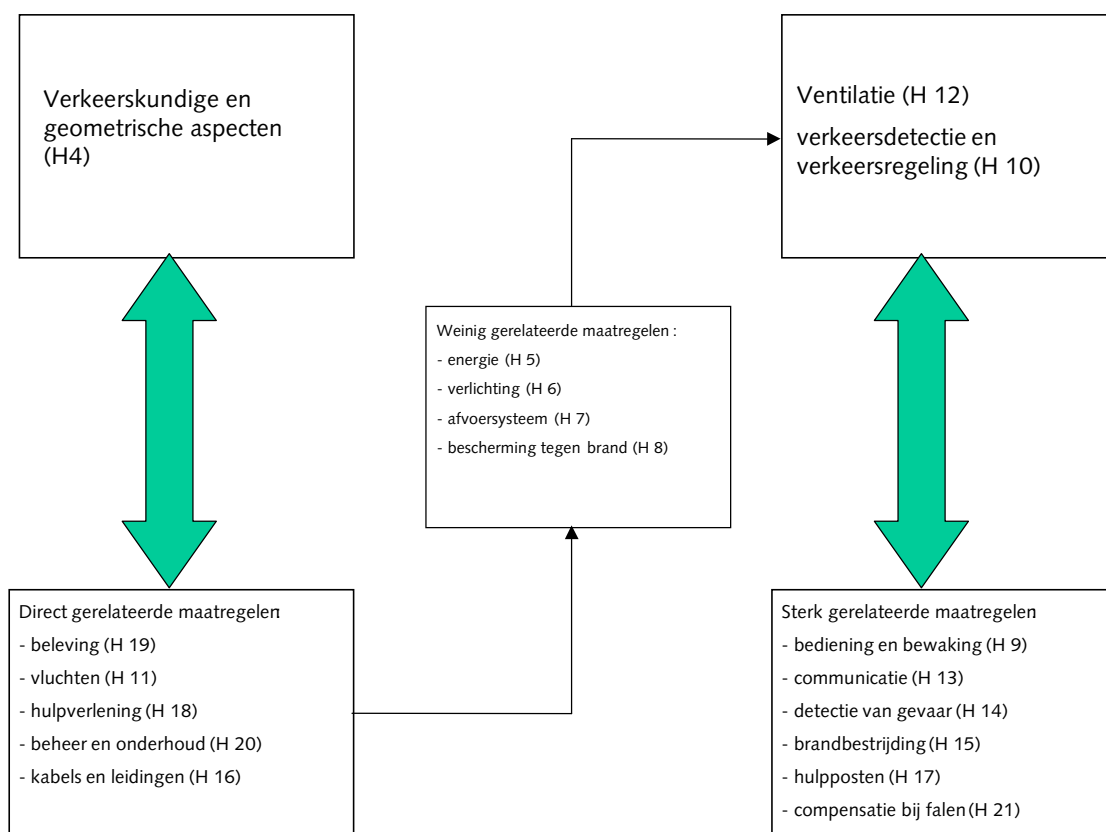
Vluchtweg: Een speciaal aangelegd onderdeel van een constructie waarlangs men kan ontvluchten.

Warwv: [Wet aanvullende regels veiligheid wegtunnels.](#)

3 Samenhang maatregelen

3.1 Samenhang tussen veiligheidsmaatregelen

De in deze richtlijnen beschreven veiligheidsmaatregelen hebben onderlinge relaties. Sommige maatregelen zijn nauwelijks gerelateerd aan andere maatregelen terwijl bij anderen er een sterk onderling verband is. Deze relaties leiden tot een voorkeursvolgorde voor het beschouwen van de diverse veiligheidsaspecten. In onderstaande figuur worden deze voorkeursvolgorde en de onderlinge relaties globaal in beeld gebracht.



In de eerste plaats zal op hoofdlijnen het geometrisch ontwerp van de constructie vastgelegd moeten worden. De hierop betrekking hebbende richtlijnen staan vermeld in hoofdstuk 4: verkeerskundige en geometrische aspecten.

Veiligheidsmaatregelen die een directe relatie hiermee hebben, hebben betrekking op:

- beleving (hoofdstuk 19);
- vluchtvoorzieningen (hoofdstuk 11);
- benaderbaarheid voor de hulpverlening (hoofdstuk 18);
- beheer en onderhoud (hoofdstuk 20);
- de voorzieningen voor de kabels en leidingen (hoofdstuk 16).

De maatregelen die betrekkelijk weinig relatie met andere maatregelen hebben dienen voor elke constructie afzonderlijk te worden bepaald.

Het betreft:

- de energievoorziening (hoofdstuk 5);
- de mate van verlichting (hoofdstuk 6);

- de benodigde afvoersystemen (hoofdstuk 7);
- de bescherming tegen brand (hoofdstuk 8).

De overige maatregelen hebben een sterk verband met mechanische ventilatie en verkeersdetectie en verkeersregeling. Over het wel of niet toepassen van deze twee maatregelen dient dus eerst een beslissing te worden genomen aan de hand van de richtlijnen in hoofdstuk 12 (ventilatie) en hoofdstuk 10 (verkeersdetectie en verkeersregeling). Onderstaand wordt de onderlinge relatie nader beschouwd afhankelijk van het wel of niet toepassen van mechanische ventilatie.

3.2 Tunnels met mechanische ventilatie

1. Toepassing van ventilatie impliceert toepassing van detectiesystemen die het noodzakelijk gebruik aankondigen waarop aansluitend met een concrete opstartactie wordt gereageerd. Er moet in dit geval dus minimaal sprake zijn van een bewaakte tunnel.

Indien aan de hand van hoofdstuk 12 is gekozen voor mechanische ventilatie dan moet deze uiteraard kunnen worden gebruikt en er zal dus iets aanwezig moeten zijn om deze automatisch dan wel handmatig te activeren. Er moet dus minimaal sprake zijn van detectie van de noodzaak tot ventileren. Ook is het hoe dan ook noodzakelijk dat na detectie daadwerkelijke opstart plaatsvindt. Het is denkbaar dat dit volautomatisch gebeurt, zonder dat er sprake is van menselijk waarnemen of ingrijpen. Mogelijke detectiemiddelen voor verontreiniging en/of brand zijn beschreven in hoofdstuk 14. Wat voor een bewaakte tunnel nodig is staat beschreven in hoofdstuk 9.

2. Ten behoeve van het vaststellen van verontreiniging dient een systeem te worden aangebracht voor het bepalen van de verontreinigingconcentratie. Dit systeem dient, bij het overschrijden van het verontreinigingcriterium, automatisch de ventilatie aan te sturen.

Voor een beschrijving van mogelijke systemen zie hoofdstuk 14.

3. Indien een branddetectie (dit is optioneel) wordt toegepast dan dient deze de ventilatie aan te sturen.

Voor een beschrijving van mogelijke systemen zie hoofdstuk 14.

4. Het uitschakelen van de mechanische ventilatie dient adequaat te zijn geregeld.

Wanneer de ventilatie is opgestart zal deze op zeker moment ook weer moeten worden uitgeschakeld. Het lijkt niet voor de hand liggend dat dit, in brandsituaties, geautomatiseerd gebeurt. Er zullen dus mensenhanden aan te pas moeten komen om de ventilatie weer uitgezet te krijgen. Theoretisch kan dit door een technische voorziening in of nabij de tunnel via welke iemand ter plekke de ventilatie kan uitschakelen (de beheerder of de brandweer). Praktisch lijkt dit echter niet! Voor elk alarm, vals of niet, zou er dan moeten worden uitgerukt.

5. Indien een verkeersdetectiesysteem wordt aangebracht dient er tevens een verkeersregelingssysteem te worden aangebracht en dient de tunnel te worden bediend.

Bij toepassing van mechanische ventilatie wordt in principe ook altijd verkeersdetectie toegepast. Een tunnel met ventilatie maar zonder verkeersdetectie is echter mogelijk. De keuze voor verkeersdetectie wordt normaal gesproken primair gemotiveerd vanuit de wens het verkeer te kunnen waarnemen (zie hoofdstuk 10). Een verkeersdetectie systeem is alleen zinvol wanneer met maatregelen ingegrepen kan worden. Het moet dus altijd gekoppeld zijn aan een verkeersregelingssysteem (zie hoofdstuk 10) en bediening (zie hoofdstuk 9).

6. Een bediende tunnel dient met camera's te worden bewaakt.

Als er sprake is van verkeersdetectie en daarmee van bediening moet de operator (wegverkeersleider) kunnen waarnemen wat er aan de hand is. Hij heeft dus zicht op de

situatie nodig. Daarom dient aan de verkeersdetectie een systeem voor waarneming te zijn gekoppeld in de vorm van camerabewaking (zie hoofdstuk 13).

7. Een bediende tunnel dient te zijn voorzien van communicatiemiddelen.

Beïnvloeding van het verkeer houdt niet op met het stilzetten ervan of het afkruisen van een rijstrook. In voorkomend geval is communicatie tussen operator en weggebruiker noodzakelijk teneinde het gewenste gedrag bij de weggebruiker te bewerkstelligen. Soortgelijk moet in voorkomend geval communicatie tussen hulpverleners onderling en tussen hulpverlening en operator mogelijk zijn.

Voor een concrete beschrijving van de mogelijkheden wordt verwezen naar hoofdstuk 13.

8. Er dienen voorzieningen ten behoeve van brandbestrijding te worden aangebracht.

Om weggebruikers de mogelijkheid te geven bij een beginnende brand een bluspoging te ondernemen kunnen brandbestrijdingsmiddelen worden aangebracht. In geval van mechanische ventilatie worden altijd draagbare brandblusapparaten en veelal tevens slanghaspels aangeboden.

Ook dienen blusvoorzieningen voor de brandweer te worden aangebracht.

Voor een concrete beschrijving van de blusvoorzieningen en de toepassing hiervan wordt verwezen naar hoofdstuk 15.

9. De communicatievoorzieningen en de brandbestrijdingsmiddelen moeten in hulpposten worden ondergebracht.

Voor een beschrijving van de inrichting van hulpposten wordt verwezen naar hoofdstuk 17.

10. Er dient een analyse te worden gemaakt van compenserende maatregelen bij het falen van tunnelinstallaties.

Zie hoofdstuk 21.

3.3 Constructies zonder mechanische ventilatie

Omdat er geen mechanische ventilatie voorhanden is, is een detectiesysteem met behulp waarvan een opstart van ventilatoren zou kunnen worden bewerkstelligd, evenmin nodig.

Wanneer de constructie deel uitmaakt van een groter traject dat in zijn geheel wordt bewaakt en bediend kunnen verkeersdetectie en verkeersregeling (hoofdstuk 10) en de daaraan gekoppelde bediening (hoofdstuk 9), CCTV (hoofdstuk 13) en communicatiemiddelen (hoofdstuk 13) een logisch maatregelenpakket vormen. In situaties waar dit niet het geval is zou een veiligheidsbeschouwing in bijzondere gevallen ook tot deze conclusie kunnen leiden.

Om weggebruikers de mogelijkheid te geven bij een beginnende brand een bluspoging te ondernemen kunnen brandbestrijdingsmiddelen worden aangebracht. Slanghaspels worden bij niet mechanisch geventileerde tunnels niet toegepast. Afhankelijk van de lengte en de omstandigheden dienen blusvoorzieningen voor de brandweer te worden aangebracht.

Voor een concrete beschrijving van de blusvoorzieningen en de toepassing hiervan wordt verwezen naar hoofdstuk 15.

Eventuele communicatievoorzieningen en brandbestrijdingsmiddelen moeten in hulpposten worden ondergebracht.

Voor een beschrijving van de inrichting van hulpposten wordt verwezen naar hoofdstuk 17.

4 Verkeerskundig

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat in op het wegontwerp in tunnels die onderdeel vormen van:

- nationale stroomwegen (autosnelwegen);
- regionale stroomwegen;
- gebiedsontsluitingswegen.

Nationale stroomwegen dienen te worden ontworpen volgens de Richtlijnen voor het Ontwerpen van Autosnelwegen (ROA), uitgebracht in begin jaren '90. Regionale stroomwegen en gebiedsontsluitingswegen dienen te worden ontworpen conform het Handboek Wegontwerp⁵.

Dit hoofdstuk heeft tot doel ontwerpers van tunnels een indruk te geven welke eisen en wensen vanuit het wegontwerp aan een tunnel worden gesteld. Voor een uitgebreide toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

4.2 Tracering

1. Bij het ontwerpen dient rekening te worden gehouden met in het landschap aanwezige elementen. De ingang van de tunnel en het verloop van de weg er naar toe dienen goed op te vallen tegen de omgeving.
2. Bij het naderen van een tunnelingang is het van belang dat de bestuurder zo min mogelijk tegen het licht van de (laagstaande) zon in hoeft te kijken teneinde verblinding te voorkomen. **Dit is ook van belang bij de tunneluitgang, vooral bij lange tunnels.**

Bij de uitgang van de westbuis van de Westerscheldetunnel zijn bijvoorbeeld maatregelen tegen verblinding genomen.

3. Aansluitingen in tunnels dienen zoveel mogelijk te worden vermeden vanwege de moeilijke oriëntatie.

Bij eventuele toepassing van aansluitingen vergt het invoegen vanaf een aansluiting, door de mindere zichtmogelijkheden, een langer 'puntstuk' dan normaal. Bij het uitrijden bij een aansluiting bestaat gevaar voor botsingen tegen de scheidingswand. Hier dient daarom een obstakelbeveiliger te worden geplaatst. Ook het tijdig zichtbaar zijn van bewegwijzering vormt veelal een probleem.

4. Zorg voor voldoende zichtlengte.

Het blijkt gunstig te zijn als autobestuurders kunnen anticiperen op het binnenrijden van de tunnel. Dit kan het beste door de toeritten in een ruime horizontale boog te leggen, waardoor de afstand tot het tunnelportaal (en voorliggende auto's) goed kan worden ingeschat. In de tunnel zelf dient voldoende zichtlengte⁶ aanwezig te zijn. Bij krappe bogen kan het daartoe nodig zijn de afstand van de wand tot de kantstreep te vergroten. Bij lange tunnels is het gewenst dat de autobestuurder het uitrijdportaal niet te lang van te voren in het zicht krijgt om te voorkomen dat hij zich daar te veel op fixeert.

Bij verticale bogen dient de zichtlengte als maatgevend criterium te worden gehanteerd bij de bepaling van de minimale onder- en bovenstraal. In de tot nu gebouwde tunnels zijn een minimum onderstraal $R = 2500\text{m}$ en bovenstraal $R = 10.000\text{m}$ gehanteerd.

⁵ Handboek Wegontwerp, ISBN 90 6628 354 8, CROW, Februari 2002

⁶ Voor de bepaling van de benodigde zichtlengte wordt verwezen naar de ROA 1991, hoofdstuk II, Alignment, paragraaf 4

5. Laat het wegontwerp toetsen door deskundigen.

4.3 Het aantal rijstroken per buis

6. In een tunnelbuis is uitsluitend eenrichtingsverkeer toegestaan (Barvw, art. 10, lid 2). In afwijking hiervan kan tweerichtingsverkeer toegestaan worden indien is aangetoond dat eenrichtingsverkeer in verband met fysieke, geografische of verkeerstechnische omstandigheden niet mogelijk is (Barvw art. 10, lid 3).

Tweerichtingsverkeer in één tunnelbuis is alleen in bijzondere omstandigheden toegestaan, onder strikte voorwaarden (zie memorie van toelichting bij art. 10 van het Barvw), De tunnelbeheerder moet aantonen dat in het bijzondere geval eenrichtingsverkeer niet mogelijk is vanwege fysieke, geografische of verkeerstechnische omstandigheden. Tweerichtingsverkeer kan nodig zijn in verband met onderhoudswerkzaamheden, die naar hun aard een tijdelijk karakter hebben, en bij hoge uitzondering ook in bijzondere situaties met een meer blijvend karakter. In alle gevallen blijft echter de eis gelden dat moet worden aangetoond dat eenrichtingsverkeer niet mogelijk is vanwege eerder genoemde omstandigheden.

7. Voor zover tweerichtingsverkeer is toegestaan, is de wegtunnelbuis voorzien van een systeem voor permanent toezicht en een systeem voor de afsluiting van rijstroken en is de toegestane maximumsnelheid ten hoogste 70 km per uur (Barvw, art. 10, lid 4).
8. Bij de keuze van het aantal rijstroken per buis dient rekening te worden gehouden met de wegfunctie. Buizen met één rijstrook mogen worden gekozen indien de weg de functie gebiedsontsluitingsweg type II of regionale stroomweg heeft.
9. De rijbaan vóór een tunnelbuis heeft hetzelfde aantal rijstroken als die in de tunnelbuis. Mogelijke vermindering van het aantal rijstroken voor de tunnelbuis vindt op een zodanige afstand voor de tunnelbuis plaats dat geen onrustige verkeersbewegingen als gevolg van die vermindering in de tunnelbuis kunnen optreden (Barvw art. 10, lid 1).

Voor nadere richtlijnen voor een veilig wegontwerp wordt verwezen naar het rapport "Wegontwerp in tunnels, Convergentie- en divergentiepunten in en nabij tunnels", d.d. 31 juli 2008.

10. Kort na een tunnel geen rijstrookvermindering toepassen.

Om te voorkomen dat filevorming in de tunnel optreedt.

11. De keuze voor het aantal rijstroken dient toekomstvast te zijn.

Toekomstvastheid hangt samen met de verwachte verkeersintensiteit en de aard en de omvang van het vrachttransport.

12. Een te bouwen wegtunnelbuis met een tunnallengte van meer dan 250 m heeft, voor een doelmatige doorgang voor wegvoertuigen, een vloer met een breedte van ten minste 7 m (Regeling Bouwbesluit, art. 5.58).

Het is de bedoeling dat de breedte zodanig is dat een vrachtwagen met pech nog kan worden gepasseerd door andere voertuigen.

Met "vloer" wordt hier overigens niet de breedte van de rijbaan bedoeld, maar de breedte van de constructieve tunnelvloer: "de rijbaanvloer is het voor de rijbaan bestemde gedeelte van de vloer van een wegtunnel" (Regeling Bouwbesluit, art. 1.1).

4.4 Dwarsprofiel

13. Het dwarsprofiel in een tunnel dient ten minste een hoogte te hebben van het profiel van vrije ruimte vermeerderd met de (eventueel) benodigde extra marges. Zie bijlage voor nadere informatie.
14. Uit het oogpunt van verkeersafwikkeling en verkeersveiligheid dienen voor de breedte van rijstroken de maten te worden gehanteerd, zoals in tabel 4.2 weergegeven⁷. De breedte van een rijstrook is gedefinieerd als de afstand tussen de binnenkant van de kantstreep en het hart van de deelstreep (of tussen het hart van twee deelstrepen).

Tabel 4.2: Te hanteren rijstrookbreedte (in m); afhankelijk van de ontwerpsnelheid

Wegtype	Ontwerpsnelheid Vo				
	120 km/h	100 km/h	90 km/h	< 90 km/h	80 km/h
nationale stroomweg (autosnelweg)	3,50	-	3,25	-	-
regionale stroomweg (≥2 rijstroken)	-	-	3,25	3,10	-
regionale stroomweg (1 rijstrook)	-	-	3,00	3,00	-
gebiedsontsluitingsweg I	-	3,25	-	-	3,10
gebiedsontsluitingsweg II	-	3,00	-	-	2,75

15. In afwijking van de ROA mogen in gesloten constructies voor objectafstanden de maten worden aanhouden zoals weergegeven in tabel 4.3.

Tabel 4.3: Maten voor objectafstanden in gesloten constructies

Wegtype	Ontwerpsnelheid Vo					
	120 km/h	100 km/h	90 km/h	< 90 km/h	80 km/h	60 km/h
Nationale stroomweg (autosnelweg)	1,00	-	0,60	-	-	-
Regionale stroomweg	-	-	0,60	-	-	-
gebiedsontsluitingsweg I en II	-	0,60	-	-	0,60	0,50

Volgens de EU-richtlijn tunnelveiligheid moeten tunnels zonder vluchtstrook worden voorzien van al dan niet verhoogde voetpaden. Met de in tabel 4.3 vermelde objectafstanden wordt hieraan voldaan.

16. Vluchtstroken worden uit overwegingen van kosteneffectiviteit over het algemeen in tunnels niet aangelegd.

Wel komt het voor dat er, indien de verwachte toekomstige verkeersintensiteiten dit rechtvaardigen, een ruimtelijke reservering in de tunnel worden aangebracht voor een toekomstige extra rijstrook (reserveringsstrook). Tot het moment van ingebruikname als rijstrook kan deze reserveringsstrook als vluchtstrook worden gebruikt.

17. In het gesloten deel van tunnels bij voorkeur geen langshellingen groter dan 4,5% toepassen. Voor te bouwen tunnels met een lengte groter dan 250m geldt wettelijk een maximale helling van 5% (Regeling Bouwbesluit, art. 5.56).

⁷ Zie: ROA hoofdstuk III Dwarsprofielen 1993, ⁷ Handboek Wegontwerp, ISBN 90 6628 354 8, CROW, Februari 2002

5 Energie

5.1 Algemeen

Gezien de variatie in aard en omvang van objecten zoals tunnels is het gewenst per object een variantenonderzoek te doen naar concepten voor energievoorziening, waarbij het gehele systeem van energietransport in het object, de wenselijkheid en locatie van interne bronnen en de grootte van vermogens wordt betrokken. Zaken als betrouwbaarheid van de netaansluiting op hogere niveaus in het elektriciteitsnet en bescherming van kabeltracés zijn daarbij belangrijke gegevens.

Bij overweging van het aanbrengen van een dubbele netaansluiting zal een bedrijfseconomische afweging dienen te worden gemaakt om een vergelijking met de aanleg van een eigen noodstroomvoorziening te kunnen maken.

De kosten van aanleg, opbouw van vastrechtkosten en exploitatiekosten gedurende de gebruiksduur van het object zijn mede bepalend bij de uiteindelijke keuze.

Een uitgebreide toelichting op mogelijke energiebronnen, de gevolgen van stroomuitval en de indeling naar bedrijfsvoering is te vinden in de bijlage.

5.2 Uitgangspunten voor het dimensioneren

1. De voor een evacuatie van tunnelgebruikers in een tunnel aanwezige essentiële voorzieningen, systemen en installaties die zijn aangesloten op een voorziening voor elektriciteit, zijn aangesloten op een voorziening van noodstroom als bedoeld in artikel 2.47, tweede lid, van het Bouwbesluit 2003 (Barvw, art. 12).

De voor de evacuatie van tunnelgebruikers aanwezige voorzieningen, systemen en installaties zijn in ieder geval: vluchtwegventilatie, communicatiesysteem (m.n. luidsprekersysteem en HF), besturing, bediening, vluchtwegverlichting, vluchtwegbewegwijzering, geluidsbakens en evacuatieverlichting.

Tabel 5.1 geeft een overzicht van externe energiebronnen (onderverdeeld naar onderbrekingsinterval) en de daarbij benodigde aanvullingen per bedrijfstype.

Tabel 5.1: Overzicht externe energiebronnen en benodigde aanvullingen

EXTERNE ENERGIEBRON	ENERGIEBEHOEFTE			
	BASISLAST		PIEKLAST	
Onderbrekingsinterval	Normaal bedrijf		Calamiteitenbedrijf	
	Kritisch	Niet-kritisch	Vluchten	Brandbestrijding
<1x per 3 jaar	Aanvullen met nobreak + noodstroom	Aanvullen met noodstroom	Aanvullen met noodstroom	Geen aanvullingen
<1x per 6 jaar	Aanvullen met nobreak + beperkte noodstroom	Geen aanvullingen	Aanvullen met noodstroom	Geen aanvullingen
<1x per 10 jaar	Aanvullen met Nobreak	Geen aanvullingen	Aanvullen met noodstroom	Geen aanvullingen

Tabel 5.2 geeft een overzicht van bedrijfstypen, waaraan gekoppeld een indeling van functies en systemen welke toegepast kunnen worden in gesloten constructies.

Tabel 5.2: Overzicht bedrijfstypen en systemen.

BEDRIJFTYPE	NORMAAL BEDRIJF			CALAMITEITEN BEDRIJF		Toelichting
	Kritisch		Niet-kritisch	Vluchten	Brand- bestrijding	
Functies	Verkeers- geleiding	Besturing bediening en bewaking	Alle overige functies, behalve brandbestrijding en vluchten			
Systemen						
Tunnelverlichting	X		X			Bij normaal bedrijf deels kritisch en deels niet-kritisch, zie hoofdstuk 6
Overige verlichting			X			
Pompinstallaties c.a.			X			Incl. ventilatie pompenruimte
Tunnelventilatie			X	X	X	In calamiteiten- bedrijf moet tunnelventilatie aan betrouwbaarheids- eisen voldoen, zie hoofdstuk 12
Vluchtwegventilatie				X		
Meet- en detectiesystemen		X				
Verkeerssignalering	X					
Verkeersdetectie (SDS,SOS)		X				
Slagbomen		X				
Overige verkeersvoorz.			X			
Brandblussysteem					X	Inclusief verwarmings- systemen
Communicatie- systemen		X				
Gebouwverl.-verw.			X			
Gebouwbewaking		X				
Besturing, bediening		X				Inclusief transmissie- systemen
Vluchtwegverlichting	X					Volgens veiligheidsnorm
Evacuatieverlichting				X		
Geluidsbakens				X		

6 Verlichting

6.1 Algemeen

Dit hoofdstuk behandelt lichttechnische aspecten in de verkeersruimten van (grotendeels) gesloten constructies. Ruimten in een tunnel die niet behoren tot de verkeersruimte dienen te zijn verlicht conform de daarvoor geldende wettelijke voorschriften en normen. De verlichting van vluchtwegen is beschreven in hoofdstuk 11.

Verlichting van verkeersruimten in (grotendeels) gesloten constructies heeft de volgende doelen:

- het waarborgen van een veilige situatie bij het berijden van de weg die door de constructie voert;
- het tijdens een incident of calamiteit voorzien in een voldoende lichtniveau voor weggebruikers en hulpdiensten;
- het tijdens onderhoud voorzien in een voldoende lichtniveau.

Voor een uitgebreide toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

1. De verlichting van (gedeeltelijk) gesloten constructies dient te worden ontworpen aan de hand van de NSVV Aanbeveling 'Verlichting van tunnels en onderdoorgangen' 2003.
2. De verlichting dient te worden ontworpen op de gebruikssituatie: het veilig passeren van een tunnel.

Het verlichtingsniveau van de normale gebruikssituatie is bij calamiteiten in de tunnelbuis eveneens voldoende voor zowel vluchtende weggebruikers als hulpdiensten om (aan de rookvrije zijde van de brand) de situatie te kunnen overzien en zich te oriënteren. Voor specifieke hulpverlenende werkzaamheden zal mogelijk aanvullende verlichting noodzakelijk zijn. Er kan redelijkerwijs worden aangenomen dat hulpdiensten altijd een mobiele verlichting bij zich hebben vanwege de diversiteit aan nachtelijke situaties waarin zij moeten optreden.

Ook onderhoudssituaties zijn niet bepalend voor het ontwerp van een verlichtingssituatie, specifieke omstandigheden daargelaten.

3. De verlichtingsinstallatie dient zodanig te zijn opgebouwd dat wanneer bij brand de kabels van een deel van de installatie versmelten of losraken niet de complete installatie kan uitvallen. De verlichtingsinstallatie dient daarom in secties te zijn opgebouwd. Het kabeltracé dient zich zoveel mogelijk buiten de verkeersruimte te bevinden of tenminste te zijn afgeschermd tegen brand en geweld van buitenaf (zie hoofdstuk 16).

7 Afvoersysteem

7.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt onder 'afvoersysteem' verstaan: de voorzieningen die benodigd zijn voor het adequaat afvoeren, opvangen en wegpompen van overtollig water en andere vloeistoffen uit de (gesloten) constructie en/of aansluitende open bakken en eventuele aangrenzende terreinen.

Het afvoersysteem wordt in het onderstaande opgesplitst in: het wegdek, het rioleringsstelsel, de waterkelders en de pompinstallaties. Voor een uitgebreide toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

Maatregelen ter voorkoming van verspreiding en ontbranding van gevaarlijke stoffen, zoals beschreven in dit hoofdstuk, dienen te worden genomen ongeacht de categorieëneling van de betreffende tunnel. De kosten van de in dit verband te nemen maatregelen zijn beperkt.

7.2 Het wegdek

1. Voorkom zoveel mogelijk het ontstaan van (benzine)plassen groter dan 500m² (bij uitstromingen van 1,8m³ per minuut). Pas in het gesloten gedeelte van een tunnel met langshellingen als toplaag geen ZOAB (zeer open asfaltbeton) toe.

Het toepassen van ZOAB als toplaag in het gesloten gedeelte van een tunnel met langshellingen wordt sterk ontraden omdat bij toepassing van ZOAB als toplaag, bij een eventuele uitstroming van benzine uit een tankwagen:

- *door het duidelijk afwijkende stromingsgedrag een aanmerkelijk groter plasoppervlak ontstaat dan bij DAB (dicht asfaltbeton) of beton;*
- *per eenheid van oppervlak meer verdamping optreedt dan bij DAB (evenwel afhankelijk van de verzadigingsgraad in het ZOAB);*
- *de verblijftijd van een, eventueel explosief, gasmengsel in de tunnelbuis veel langer is dan bij DAB of beton;*
- *slechts een beperkte hoeveelheid benzine de riolering bereikt; veel blijft in het ZOAB. Bij constructies waarbij de lengte van het gesloten gedeelte kort is (zoals aquaducten) is toepassing van ZOAB aanvaardbaar omdat de oppervlakte van een eventuele benzineplas beperkt blijft (kleiner dan 500m²).*

2. Bij toepassing van ZOAB op de toeritten dient aan de overgang van ZOAB naar DAB of beton bij de ingang van een tunnel de nodige zorg te worden besteed in verband met het uittreden van water. Hiertoe het ZOAB tot circa 20m in het gesloten gedeelte van de tunnel door laten lopen.

3. Er dient een dwarshelling van minimaal 2% te worden toegepast.

In het algemeen is een dwarshelling van 2% voldoende om de afwatering van het wegdek niet maatgevend te doen zijn ten opzichte van de (inlaatcapaciteit van de) riolering. Bij toepassing van grote langshellingen (> 4,5%) of een combinatie van een langshelling met een grote breedte is een grotere dwarshelling aan te bevelen.

4. De belijning dient te zijn voorzien van brede, op langshellingen schuinlopende, afwateringssleuven.

De afwateringssleuven zijn nodig omdat wegdekbelijning van thermoplastisch materiaal ondanks de geringe dikte toch een obstakel vormt bij de afwatering van het wegdek (waardoor er vloeistof aan de wegdekzijde van de belijning over grote afstand naar beneden stroomt).

Spoorvorming kan de afwatering nadelig beïnvloeden!

7.3 Het rioleringsstelsel

5. Op toeritten dient het rioleringsstelsel te worden gedimensioneerd op hemelwaterafvoer. Toepassing van een open goot verdient de voorkeur. Het afvoersysteem hoeft op de toeritten niet te worden gedimensioneerd op explosies omdat zowel de kans als het gevolg van explosies bij toeritten veel kleiner zijn dan in het gesloten gedeelte van een tunnel.

Indien een afvoersysteem met ingestorte buizen en inlaatputten op de toeritten wordt toegepast zal onderzocht moeten worden of een explosie in de buizen kan leiden tot bezwijken van de vloer. Ook dient dan rekening te worden gehouden met extra ontluuchtingsmogelijkheden bij de ingang naar de kelder.

6. De riolering in het gesloten gedeelte bij voorkeur laten bestaan uit rioolbuizen met inlaatputten. De capaciteit van de riolering baseren op minimaal 4m³ per minuut; buisdiameter minimaal 200mm. **De afstand tussen de inlaatputten niet groter maken dan 20m en op opgaande hellingen niet groter dan 10m.**

Als maatgevende uitstroomhoeveelheid van benzine wordt gatgrootte 2 aangehouden (gemiddeld 1,8m³ per minuut, zie bijlage). Aangezien bij de gatgrootte-indeling slechts een gemiddeld uitstroomdebiet kon worden aangegeven, in verband met de beperkte hoeveelheid beschikbare gegevens, is besloten de capaciteit van de riolering te baseren op 4m³ per minuut; dit wordt ruim voldoende geacht om het uitstroomdebiet behorend bij gatgrootte 2 te kunnen afvoeren⁸.

De benodigde buisdiameter is afhankelijk van de langshelling.

7. Indien een afvoersysteem met rioolbuizen in een gesloten gedeelte zonder ballastbeton wordt toegepast zal moeten worden aangetoond dat een explosie in de buizen niet kan leiden tot het bezwijken van de vloer.

In een gesloten gedeelte met ballastbeton zal bij een eventuele explosie alleen het ballastbeton worden beschadigd (niet het constructiebeton), hetgeen acceptabel wordt geacht aangezien zo'n beschadiging binnen een aanvaardbare periode kan worden hersteld.

8. Ter plaatse van de inlaat naar de waterkelders dienen extra inlaatroosters met een open oppervlak van totaal minimaal 0,25m² te worden aangebracht.

In het diepste gedeelte van de tunnel (bij de middenkelder) dienen extra inlaatroosters te worden geplaatst omdat bij een eventuele explosie in de riolering deze extra ontluuchting de kans op het doorschieten van de vlam naar de middenkelder aanzienlijk verkleint. Bovendien wordt de kans op het ontstaan van een plas in het diepste gedeelte van de tunnel hierdoor verkleind.

7.4 De waterkelders

9. De minimale streefwaarde voor de nuttige berging van een middenkelder is 30m³ (te rekenen vanaf 1^e inschakelniveau tot het hoogst toelaatbare niveau).

De bedoeling hiervan is dat de maximale hoeveelheid vrijkomende benzine (aangehouden op 30m³) volledig kan worden geborgen in de kelder. Omdat het eigenlijk gaat om het voorkomen van een plas op het wegdek is met deze richtlijn een veiligheid ingebouwd.

10. De minimale streefwaarde voor de nuttige berging van een hoofdkelder is 240m³ (te rekenen vanaf 1^e inschakelniveau tot het hoogst toelaatbare niveau).

Gebaseerd op de berging van verontreinigd bluswater. In de meeste gevallen zal de maatgevende nuttige berging echter worden bepaald door de hoeveelheid regenwater bij de maatgevende bui.

⁸ Nader onderzoek zal nog worden opgestart naar de gewenste capaciteit van het rioleringsstelsel en de inlaatputten.

Voor de maatgevende bui dienen de neerslagcurven te worden aangehouden, zoals vastgelegd in het rapport "Extreme-neerslagcurven voor de 21^e eeuw, Vaststelling van de, voor ontwerptoeepassingen maatgevende, extreme-neerslagcurven", opgesteld door Meteoconsult, (oktober 2006) in opdracht van de Bouwdienst Rijkswaterstaat

11. Het verdampend oppervlak in de waterkelders dient beperkt te worden gehouden.

Hoewel de kans op een explosie in de kelder door andere maatregelen al tot een minimum wordt beperkt dient te worden voorkomen dat het vloeistofoppervlak onnodig groot wordt.

12. Ontluchting/beluchting bij hoofdkelders bij voorkeur niet laten uitkomen in het gesloten gedeelte van de tunnel en zeker niet in het middenkanaal. De ontluchting zo hoog mogelijk of op het maaiveld aanbrengen. Indien een ontluchting/beluchting uitkomt in één van de tunnelbuizen dient deze te zijn voorzien van een vlamdover. Ontluchting/beluchting bij de middenkelder aanbrengen naar één van de tunnelbuizen en voorzien van een vlamdover. De ontluchting/beluchting dient zo hoog mogelijk in de tunnelbuis uit te komen.

Bij het volstromen van de kelder ontstaat hierin een overdruk. Om te voorkomen dat deze druk een zodanige waarde krijgt dat de kelder ten gevolge van deze druk niet (snel genoeg) vol kan stromen, moet deze ontlucht worden. De ontluchting/beluchting mag niet uitkomen in het middenkanaal (vluchtroute). De ontluchting/beluchting zo mogelijk boven de wandbekleding in de tunnelbuis uit laten komen (geen onderbreking wandbekleding; geen invloed van onderhoud wandbekleding). Bij ontluchting die uitkomt in een tunnelbuis een vlamdover toepassen.

13. Tussen rioleringsysteem en kelder dient een waterslot te worden aangebracht. Bij middenkelders als hoogte van het waterslot minimaal 200mm en maximaal 1000mm aanhouden. Een doorstroomoppervlak van minimaal 0,3m² aanhouden. Bij hoofdkelders als hoogte van het waterslot minimaal 500mm en maximaal 1000mm aanhouden. Een doorstroomoppervlak van minimaal 1m² aanhouden.

Het waterslot dient om een dampvrije scheiding tussen de tunnelbuizen en de waterkelder te maken. De minimale hoogte van het waterslot is bij hoofdkelders gesteld op 500mm omdat dit bij hoofdkelders (meestal in tegenstelling tot middenkelders) zonder grote bezwaren kan worden gerealiseerd. Aan de hoogte van het waterslot wordt een maximum van 1000mm gesteld omdat benzine lichter is dan water en er dus overhoogte aan benzine nodig is om het waterslot te laten lopen.

Als doorstroomoppervlak minimaal 0,3m² aanhouden (rekening houden met vervuiling) om te voorkomen dat de inlaat naar de waterkelder maatgevend wordt voor het ontstaan van een plas op het wegdek bij de waterkelder. Bij hoofdkelders is een zeer veilige grens van 1m² aangehouden.

Om redenen van onderhoud zal veelal een zandvang nodig zijn (regelen in overleg met de beheerder).

14. De kelder dient dampdicht te worden gescheiden van het middenkanaal en de tunnelbuizen.

Hiermee wordt voorkomen dat dampen zich vanuit de waterkelder kunnen verspreiden en daardoor de kans op ontsteking van buitenaf tot een minimum beperkt. Uiteraard vormt de ontluchting/beluchting voorzien van een vlamdover op deze maatregel een noodzakelijke uitzondering.

15. De kelder dient zo goed mogelijk te worden gescheiden van de pompenkamer. Een dampdichte scheiding wordt niet verlangd omdat dit moeilijk te garanderen is en niet nodig in verband met overdruk en explosieveilige apparatuur.

Een geheel dampdichte scheiding tussen kelder en pompenkamer is in verband met onderhoud aan de pompen en dergelijke niet te garanderen.

16. Waterkelders dienen zoveel mogelijk rechtop lopend begaanbaar te zijn in verband met schoonmaken.
17. In verband met de ARBO-voorschriften dienen er minimaal 2 onafhankelijke toegangsluiken naar een kelder te worden aangebracht.
18. Ter voorkoming van mogelijke aantasting van de voegconstructie door bepaalde gevaarlijke stoffen dient een kelder niet over een dilatatievoeg door te lopen.
19. Het afvoeren van vloeistof uit de kelder naar een tankwagen dient mogelijk te worden gemaakt.

Het leeghalen van een kelder na een calamiteit dient op een veilige manier te geschieden; hiertoe dient een koppelpunt voor een tankwagen (eventueel tankschip) te worden aangebracht.

7.5 Pompinstallaties

20. Tussen het eerste inschakelniveau en het uitschakelniveau minimaal aanhouden het hoogste van:
 - 100mm waterhoogte;
 - 6m³;
 - (bij middenkelders) de inhoud van 1 afvoerleiding + 2m³.

Een minimum van 100mm en 6m³ wordt aangehouden om het aantal starts van de pompen te beperken.

Om aftappen in de winter mogelijk te maken moet bij middenkelders ook de inhoud van 1 afvoerleiding (+ 2m³ extra) kunnen worden geborgen tussen in- en uitniveau. (Uiteraard is het handig eerst de langste leiding af te tappen en daarna de kortste!)

21. De afvoercapaciteit van de pompinstallatie van een waterkelder dient minimaal 2m³ per minuut te zijn. Per kelder minimaal 2 pompen toepassen. Bij hoofdkelders dient de afvoercapaciteit te kunnen worden bereikt met het aantal geïnstalleerde pompen min één.

Capaciteit minstens 2m³ per minuut om in voorkomende gevallen de maximale bluscapaciteit af te kunnen voeren. Bij onderhoud mag slechts 1 pomp buiten bedrijf zijn.

22. Apparatuur in een kelder dient geschikt te zijn voor gebruik in zone 1.

De kelder wordt beschouwd als zone 1. Zone 1 is een omgeving waarbinnen de kans op een explosief mengsel onder normaal bedrijf groot is; er is dus sprake van overdrijving.

23. Apparatuur in de pompkamer dient geschikt te zijn voor gebruik in zone 2.

Hoewel de kans op het binnendringen van dampen vanuit de kelder door de eerder vermelde maatregelen al klein is geworden wordt de pompkamer aangemerkt als zone 2. Zone 2 is een omgeving waarbinnen de kans op een explosief mengsel gering is en dit mengsel maar korte tijd bestaat.

24. Schakelapparatuur bij voorkeur niet in de pompkamer aanbrengen.

25. Voor doorgaande afvoerleidingen dient HDPE druktrap 10 te worden toegepast. De afvoerleidingen dienen vervangbaar te zijn.

26. Om te voorkomen dat door statische elektriciteit een ontsteking van een mogelijk in de kelder aanwezig gasmengsel kan ontstaan dienen de afvoerleidingen van de middenkelder uit te komen onder het uitschakelniveau van de pompen in de hoofdkelders.

Een alternatief is het aarden van de uitstroomopening van de afvoerleiding. De afvoerleiding niet in de zandvangen uit laten komen.

27. Bij het optreden van een calamiteit dienen de pompen van de middenkelder direct te worden stopgezet. Om overstromen van de kelder te voorkomen dienen de pompen echter automatisch te starten bij het hoogst toelaatbare niveau. Naar beide hoofdkelders een afvoerleiding aanbrengen. Vanuit de controlekamer dient de afvoerleiding naar één van de hoofdkelders te kunnen worden afgesloten (bij calamiteiten pompen van het tot stilstand gekomen verkeer af).

Er is niet gekozen om standaard automatisch te pompen naar beide hoofdkelders omdat een aantal stoffen (zoals stollende vloeistoffen) bij voorkeur niet moeten worden verpompt en om verspreiding naar andere ruimten (de hoofdkelders) zoveel mogelijk te voorkomen. Indien toch wordt gepompt dan bij voorkeur pompen naar de hoofdkelder waar het kleinste aantal personen aanwezig is, dit is meestal de kelder die gelegen is bij de uitgang van de tunnelbuis waarin de calamiteit is opgetreden. De afsluiters van de afvoerleidingen mogen nooit beide dicht zijn.

28. Bij een calamiteit dienen de pompen van de hoofdkelders direct te worden stopgezet. Om overstromen van de kelders te voorkomen dienen de pompen tijdig automatisch te starten en daarna weer tijdig automatisch te stoppen.

De pompen stopzetten om te voorkomen dat gevaarlijke stoffen in het milieu terechtkomen. Overstromen van een hoofdkelder mag echter nooit voorkomen omdat anders de gevaarlijke stoffen de tunnel in kunnen stromen; hiertoe dienen de pompen tijdig weer automatisch te starten. Om de kans te verkleinen dat gevaarlijke stoffen (aangenomen wordt dat het meestal stoffen betreft die lichter zijn dan water) alsnog in het milieu terechtkomen dienen de pompen na de automatische start tijdig weer te stoppen. Uiteraard kan ook nog worden overwogen om vanuit de middenkelder naar de andere hoofdkelder te gaan pompen indien de ene dreigt over te stromen.

29. Om te beletten dat bij een calamiteit gevaarlijke dampen uit de tunnelbuizen en/of de kelders in de pompkamers komen, moet in die situatie in de pompkamers een overdruk ten opzichte van de druk in de betreffende tunnelbuis (en de kelders) heersen; voor de maximaal optredende druk in de tunnelbuizen moet in dit verband 50Pa worden aangehouden.

In verband met het ontbreken van voldoende gegevens over de drukken die tijdens het ventileren van een tunnelbuis optreden is de maximum druk in de tunnelbuis op 50Pa gesteld. Voor het berekenen van de overdruk behoeft geen rekening te worden gehouden met een kortstondig verhoogde druk in de kelder ten gevolge van het volstromen van de kelder.

30. De pompen dienen te worden aangesloten op de noodstroomvoorziening.

Bij tunnels die zijn voorzien van noodstroom door middel van een aggregaat de pompen aansluiten op de noodstroomvoorziening. Hiermee wordt voorkomen dat bij het wegvallen van het openbare net, in combinatie met regenval (op termijn) wateroverlast in de tunnel zal ontstaan en de tunnel dus zal moeten worden afgesloten.

31. De pompkamer dient zo goed mogelijk gescheiden te zijn van het middenkanaal en/of andere omringende ruimten (doorvoeren dichtmaken, drangers op de deuren).

Het dicht maken van doorvoeren en het aanbrengen van drangers op de deuren zijn relatief goedkope maatregelen die de kans op het binnendringen van dampen via de pompkamer in het middenkanaal verkleinen; dit geldt niet zo zeer bij een calamiteit (dan zowel in het middenkanaal als de pompkamers overdruk) maar voor situaties waarbij ongemerkt gevaarlijke stoffen in de kelder terecht zijn gekomen.

8 Bescherming tegen brand

8.1 Algemeen

Of tunnel(achtige) constructies moeten worden beschermd tegen mogelijke gevolgen van brand is vooral afhankelijk van de vraag wat de economische gevolgen zijn van het (gedeeltelijk) verloren gaan van de constructie. Het nemen van beschermende maatregelen kan worden gezien als een vorm van 'verzekering' tegen niet of moeilijk te dragen kosten. Op basis hiervan zal bij onder waterwegen gelegen constructies (vrijwel) altijd gekozen worden voor bescherming en bij viaducten slechts in bijzondere situaties. Zie hiervoor de uitgebreide toelichting in de bijlage.

8.2 Toepassingsgebied

1. Neem bij onder waterwegen gelegen constructies beschermende maatregelen. Uitgangspunt daarbij is de bescherming van de tunnel tegen de potentiële gevolgen van een koolwaterstof brand volgens de RWS-kromme. De temperaturen stijgen hierbij tot ca. 1350 °C en de brandduur is twee uur.

Bij tunnels onder open water met een lengte van meer dan 250m is wettelijk bepaald dat een uiterste grenstoestand van een hoofddraagconstructie niet mag worden overschreden bij de volgens NEN 6702 bepaalde bijzondere belastingcombinaties die kunnen optreden bij brand, gedurende 120 minuten bij nieuwbouwtunnels en 60 minuten bij bestaande tunnels (Regeling Bouwbesluit, art. 5.1 resp. 5.2).

De RWS-eisen met betrekking tot brandbescherming zijn dus strenger dan de wettelijke eisen. Niet alleen is de brandbelasting conform de RWS-kromme zwaarder dan die conform NEN 6702, maar er wordt wat de bescherming tegen brand betreft ook geen onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande tunnels. Bovendien hebben de eisen met betrekking tot de hittewerende bekleding geen betrekking op de uiterste grenstoestand (zie bijlage).

Uit onderzoek is gebleken dat bij onder waterwegen gelegen constructies beschermende maatregelen (toepassen van hittewerende bekleding) een verantwoorde investering vormen ongeacht het wel of niet toestaan van het vervoer van (brand)gevaarlijke stoffen.

2. Maak een afweging voor het wel of niet toepassen van beschermende maatregelen bij niet onder waterwegen gelegen constructies.

Bij landtunnels (overkappingen) met een lengte van meer dan 250m is wettelijk bepaald dat een uiterste grenstoestand van een hoofddraagconstructie niet mag worden overschreden bij de volgens NEN 6702 bepaalde bijzondere belastingcombinaties die kunnen optreden bij brand, gedurende 60 minuten bij nieuwbouwtunnels en 30 minuten bij bestaande tunnels (Regeling Bouwbesluit, art. 5.1 resp. 5.2).

In het algemeen worden bij viaducten, onderdoorgangen en dergelijke geen beschermende maatregelen getroffen omdat herstel van de (hoofd)verbinding relatief snel te realiseren is. Het is echter denkbaar dat de economische belangen zo groot zijn dat bescherming gewenst is (bijvoorbeeld bij de kruising van de weg met een taxibaan van Schiphol, of bij over grote lengte overkapte wegen, zoals de overkapping A2 Leidsche Rijn bij Utrecht).

3. Bij rechthoekige tunnels dient, bij toepassing van bescherming, in elk geval het plafond en het bovenste gedeelte van de wanden (drukzone) te worden beschermd.

Het gaat hierbij om het beschermen van de buigzone (wapening) van het dak en de zone met hoge drukspanningen waar schade kan leiden tot blijvende schade of het verloren

gaan van de constructie. Uit nader onderzoek is gebleken dat geen excessief afspatten op de resterende wandgedeelten (enige schade is hier acceptabel) plaatsvindt bij de tot dusver gebruikelijke betonkwaliteiten bij zinktunnels.

4. Bij ronde tunnels dient, bij toepassing van bescherming, het gehele bovenste deel van de constructie (van wegdek tot wegdek) te worden beschermd.

Deze constructie wordt voornamelijk op druk belast. Afspatschade (wat op kan treden bij afspatgevoelig beton) op enige plaats kan uiteindelijk leiden tot het verloren gaan van de tunnel. Bijzondere aandacht verdient hierbij de bescherming van de lining net boven het wegdek; veelal wordt daar een betonnen barrieprofiel (Stepbarrier) aangebracht. Doorgaand afspatten van de barriër kan na enige tijd ook tot afspatten van de lining leiden. Mogelijke oplossingen voor dit probleem zijn bijvoorbeeld: het toepassen van polipropyleen vezels in het beton van de barriër of het doorzetten van de hittewerende bekleding achter de barriër.

5. Afsluitende rubbers bij voegen afdoende beschermen.

Bij voorkeur geen temperaturen boven de 80 °C toelaten.

8.3 Maatregelen

6. Beschermende maatregelen kunnen zijn:

Uitwendige maatregelen:

- a) het toepassen van hittewerende bekleding;
- b) het koelen van de buitenkant bij stalen constructies;
- c) het koelen door middel van een sprinklerinstallatie;
- d) het toepassen van een dubbele wand.

Inwendige maatregelen:

- e) het toepassen van polipropyleenvezels als toevoeging aan het betonmengsel;
- f) het toepassen van staalvezelbeton.

- Ad a. *het toepassen van hittewerende bekleding*

Zowel plaatmaterialen als gespoten materialen komen in aanmerking. In principe komt ook materiaal in aanmerking dat in de kist wordt gestort. Voor een nadere toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

- Ad b. *het koelen van de buitenkant bij stalen constructies.*

Bij brandproeven aan een stalen damwand is gebleken dat, indien zich aan de achterzijde van de damwand grind en water bevinden, de temperatuur van het staal niet hoger wordt dan 100 °C; bij een proef met aan de achterzijde zand en water werd de temperatuur van het staal zodanig hoog dat te weinig reststerkte overbleef. Bij onder water gelegen stalen (buis)tunnels lijkt toepassing mogelijk van een grindlaag aan de zijkanten en bovenzijde van de tunnel mits de zich vormende waterdamp blijvend een vrije ontwijkmogelijkheid heeft.

- Ad c. *het koelen door middel van een sprinklerinstallatie.*

Bij de Betuwelijn zijn de tunnels van een sprinklerinstallatie voorzien. Door middel van een proef is aangetoond dat een sprinklerinstallatie in staat is het beton zodanig te koelen dat de temperatuur op het verder onbeschermd betonoppervlak beduidend lager dan 100 °C blijft, waardoor de wapening koel blijft en geen afspatten optreedt. Veel aandacht moet worden gegeven aan de betrouwbaarheid van het sprinklersysteem.

In principe kan met (automatische) blussystemen, die voorkomen dat een grote brand ontstaat in feite hetzelfde worden bereikt. Bij toepassing dienen echter hoge eisen te worden gesteld aan de effectiviteit en betrouwbaarheid.

- Ad d. *het toepassen van een dubbele wand*

Bij het toepassen van een extra (voorzet)wand kan worden bereikt dat deze wand verloren mag gaan mits de tweede wand (hoofdconstructie) intact blijft.

- Ad e. *het toepassen van polipropyleenvezels als toevoeging aan het betonmengsel. Uit brandproeven is gebleken dat bij toepassing van polipropyleenvezels in het beton, afhankelijk van het vezelgehalte, de mate van afspatten significant kan worden beperkt. Het principe van de werking is gebaseerd op het smelten van de vezels (bij circa 150 °C) waardoor kanaaltjes ontstaan; de ontstane waterdamp kan hierdoor ontsnappen met als gevolg dat geen te hoge trekspanningen ontstaan. De goede werking van de vezels wordt in hoge mate beïnvloed door de combinatie van hoeveelheid en diameter van de toegepaste vezels. Zeer fijne vezels beperken het afspatten meer dan grove vezels; gebleken is dat met toepassing van voldoende vezels het afspatten zelfs nagenoeg geheel te voorkomen is. Uit beperkt onderzoek is inmiddels gebleken dat het toepassen van polipropyleenvezels de duurzaamheid van de constructie niet nadelig beïnvloedt. Mogelijk biedt het toepassen van polipropyleenvezels een oplossing voor constructies waar de wapening geen belangrijke blijvende constructieve functie heeft (bijvoorbeeld boortunnels).*
- Ad f. *het toepassen van staalvezelbeton. Staalvezels hebben een beperkte gunstige invloed op het afspatgedrag.*
7. Hittewerende bekleding dient te voldoen aan en te zijn getest volgens de procedure beschreven in het document '[Fire testing procedure fore concrete tunnel linings](#)', document nummer 2008-Effectis-R0695, september 2008.

In grote lijnen komt dit neer op:

- *het aantonen van de geschiktheid van het materiaal bij 1350 °C;*
- *het aantonen van voldoende hechting van het materiaal gedurende de brandproef (aan de bevestiging worden tevens minimum eisen gesteld);*
- *bij beton met hogere dichtheid dan het beton dat tot op heden bij Rijkswaterstaat gebruikt wordt voor de bouw van afgezonken verkeerstunnels: aantonen dat geen afspatten optreedt;*
- *bij beton met een dichtheid gelijk aan of lager dan de tot op heden gebruikte betonkwaliteit voor afgezonken verkeerstunnels: aantonen dat de temperatuur van het beton (en staal) niet boven de gestelde grens uitkomt.*

9 Bediening en bewaking

9.1 Algemeen

Voor een uitgebreide toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

9.2 Toepassingsgebied

1. In tunnels met uitsluitend bewaking dient de besturingsinstallatie te zijn gericht op bewaking van:
 - Tunneltechnische installaties (pompen, tunnelventilatie, tunnelverlichting enzovoort).
 - Gebouwtechnische installaties (van de dienstgebouwen bij de tunnel).
2. Bij tunnels, die worden bewaakt en bediend, dient de besturingsinstallatie te zijn gericht op bewaking en – voor zover niet autonoom werkend - de bediening van:
 - Verkeersinstallaties.
 - Tunneltechnische installaties (pompen, tunnelventilatie, tunnelverlichting enzovoort) en communicatiesystemen (zoals CCTV en [noodtelefoon](#)).
 - Gebouwtechnische installaties.

Bij tunnels langer dan 500m is aansluiting op een bedieningscentrale wettelijk verplicht (Barvw, art. 9).

3. Indien de tunnel centraal wordt bediend (vanuit een buiten de tunnel gelegen centrale van waaruit meerdere objecten worden bewaakt en bediend) dient een transmissiesysteem te worden aangebracht om alle voor bewaking en bediening relevante informatie vanuit de tunnel(omgeving) te transporteren naar de centrale bediening en visa versa.

Daarbij zijn meerdere systemen denkbaar, met als belangrijkste:

- *Een systeem, waarbij uitsluitend centraal kan worden bediend en er op de tunnellocatie geen regiefuncties voorhanden zijn. Uitvallen van de centrale bediening leidt bij dit systeem tot volledig verlies van de bediening en bewaking van de tunnel. Om de kans hierop te beperken dient de datatransmissie redundant te worden uitgevoerd. Dit systeem wordt thans toegepast in Noord-Holland.*
- *Een systeem waarbij naast de centrale bediening een (sobere) lokale bediening wordt geïnstalleerd. In dit geval kan de datatransmissie enkelvoudig van uitvoering zijn en dient er personeel beschikbaar te zijn om in geval van nood lokaal te gaan bedienen. Dit systeem wordt thans toegepast in Zuid Holland.*

Vanwege de voldoende betrouwbaarheid ($\geq 0,999$) gaat de voorkeur uit naar een enkelvoudige transmissieverbinding, gecombineerd met een sobere lokale bediening. Er dienen dan lokaal minimaal de volgende voorzieningen aanwezig te zijn:

- *Beeldschermstelsel.*
- *Telefoon.*
- *[Bediening noodtelefoon](#).*
- *Audio bediening (HF, luidsprekerinstallatie).*
- *Video bediening: 2 detailbeelden van camera's naar keuze.*

9.3 Functie en eisen besturingsinstallatie

4. Aan een besturingsinstallatie dienen de volgende eisen te worden gesteld:

Eis	Doel
Intrinsieke beschikbaarheid op tijdsbasis $\geq 0,999$ ⁹	gegarandeerde ontwerppraktijk
Voeding via No break installaties	gegarandeerde bewaking en besturing
Gelijksoortige apparatuur	sneller storingen oplossen

5. Onder meer op basis van ergonomische overwegingen en met betrekking tot de acties van de operator ([wegverkeersleider](#)) in geval van een calamiteit dienen aan een besturingsinstallatie de volgende randvoorwaarden te worden opgelegd:
- Overzichtelijke presentatie van de diverse installaties aan de operator, zodat deze operator in staat is om zich daarmee een juist beeld te vormen van de status van alle installaties.
 - Voldoende beperking in de gegevensstroom naar de operator, ter voorkoming van een 'gegevenswaterval' waar een operator niet meer adequaat mee om kan gaan.
 - Aanwezigheid van mogelijkheden om, zowel automatisch als handmatig, direct te kunnen reageren op afwijkingen van individuele installaties.
 - Een scheiding van installaties in verkeersinstallaties, tunneltechnische installaties en bouwtechnische installaties.
 - Voldoende mate van betrouwbaarheid van de gehele besturingsinstallatie.
 - Voldoende mate van beschikbaarheid van de gehele besturingsinstallatie.
 - Het ontwerp dient zo te zijn gemaakt dat, bij uitval van systeemonderdelen, te allen tijde een (verkeers)technisch veilige toestand blijft bestaan.
6. De volgende installaties dienen onder noodbesturing te kunnen functioneren:
- verkeerslichten;
 - verkeerssignalering (indien er geen MTM is; MTM heeft geen noodbediening);
 - slagbomen;
 - hoogtemelding.
7. Installaties dienen, voor zover mogelijk, bij uitval van de bediening (en/of besturing) automatisch terug te vallen in een vóór-ingestelde veilige stand (fail-safe mode). Dit geldt bijvoorbeeld voor:
- de tunnelverlichting (schakelt naar een optimaal niveau);
 - de vuilwaterpompen (hoogwaterdetectie wordt ultieme schakelmogelijkheid);
 - eventuele vluchtdeurvergrendeling (valt automatisch vrij);
 - vluchtgangventilatie (schakelt in);
 - de brandbluspompen (starten);
 - de energievoorziening van de tunnel (geborgd door schakelvergrendeling van de netaansluiting).

⁹ Cijfers afkomstig uit rapport 'Variantenstudie Calandtunnel' en 'Beschikbaarheidsrapport VCNH'. Deze beschikbaarheid is, mits goed ontworpen, in de praktijk goed haalbaar.

Onderbouwing vanuit veiligheidsfilosofie ontbreekt vooralsnog. De hier genoemde waarde is een 'best guess', gebaseerd op navolgende uitgangspunten:

- er is sprake van een combinatie van onafhankelijke gebeurtenissen en
- bij eventueel toch samenvallende gebeurtenissen vallen de systemen terug op een 'fail-safe' stand

9.4 Bediening en besturing bij calamiteiten

*De bediening en besturing van de tunnelinstallaties bij calamiteiten kan niet los worden gezien van de wijze van afhandeling van incidenten door de **tunneloperator (wegverkeersleider)**, de wegininspecteur en de hulpdiensten. Dit wordt voor elke tunnel vastgelegd in een Veiligheidsbeheersplan.*

In deze paragraaf worden richtlijnen gegeven voor de bediening en besturing bij calamiteiten. In de bijlage zijn voorbeelden en toelichtingen opgenomen. Onder meer is daarin een schematische weergave opgenomen van de afhandeling van een incident in het besturingssysteem.

8. In het besturingssysteem dienen voor een adequate afhandeling van calamiteiten de volgende bedrijfstoestanden te zijn gedefinieerd:
 - Stand-by fase na detectie
 - Calamiteitenbedrijf (met of zonder evacuatie)

Met behulp van de Stand-by fase na detectie worden alvast die maatregelen getroffen, die nodig zijn bij een calamiteit, maar die geen hinder opleveren voor de verkeersafwikkeling. Door inschakeling van het Calamiteitenbedrijf worden de overige maatregelen getroffen, die nodig zijn voor de afhandeling van een calamiteit. Gedurende het verloop van een incident kunnen de tunnelinstallaties in de bovengenoemde bedrijfstoestanden terecht komen door middel van geheel of gedeeltelijk geautomatiseerde commando's.

9. Het besturingssysteem dient zodanig te worden geprogrammeerd, dat bij het inschakelen van het **Stand-by fase na detectie** ten minste de volgende acties worden uitgevoerd:
 - Vluchtweg in gereedheid brengen;
 - Verlichting in de incidentbuis op optimaal niveau inschakelen;
 - Tunnelventilatie in de incidentbuis in calamiteitenstand schakelen.
10. Het besturingssysteem dient zodanig te worden geprogrammeerd, dat bij het inschakelen van het **Calamiteitenbedrijf** ten minste de volgende acties worden uitgevoerd:
 - Alle acties zoals genoemd bij de Stand-by fase na detectie;
 - De voor afhandeling van de calamiteit benodigde tunnelbuizen afsluiten voor verkeer;
 - Ventilatie naastgelegen tunnelbuis in calamiteitenstand schakelen;
 - Pompen van de brandblusinstallatie inschakelen en het brandblussysteem onder druk brengen (indien van toepassing);
 - Alle vuilwaterpompen stoppen en het inschakelregime in de calamiteitenstand zetten;
 - Voorzieningen hulpdiensten activeren.
11. Het besturingssysteem dient zodanig te worden geprogrammeerd, dat bij ingeschakeld **Calamiteitenbedrijf met evacuatie** alle acties worden uitgevoerd voor de ondersteuning van het vluchtproces.

Zie hoofdstuk 11 voor een overzicht van deze maatregelen.

12. Er dient te worden voorzien in automatische acties bij het optreden van (meerdere) detectiesignalen.

Hierbij kunnen de volgende typen automatische acties worden onderscheiden:

- *Het wijzigen van de instellingen van één of meer tunnelinstallaties;*

- *Het instellen van de Stand-by fase na detectie;*
- *Het instellen van het Calamiteitenbedrijf.*

Automatische acties kunnen ofwel direct, ofwel met een vertraging worden uitgevoerd. Dit laatste geeft de operator (wegverkeersleider) de mogelijkheid om de acties te annuleren.

13. Bij elke automatische actie dient de operator te worden geattendeerd op de detecties en op de acties die door het besturingssysteem genomen zijn of (zullen) worden.

Dit kan door middel van één of meer van de volgende signalen:

- *Dialogvenster in het beeldscherm van de operator met een mogelijkheid tot herstellen (of annuleren) van de acties die worden genomen;*
- *Attentiesignaal (auditief en/of visueel);*
- *Camerabeeld van de sectie waarin detectie is opgetreden.*

14. Bij de keuze van de uit te voeren actie bij bepaalde (combinaties van) detectiesignalen dient een afweging te worden gemaakt tussen enerzijds de kans dat er sprake is van een (ernstig) incident (betrouwbaarheid van de detectie) en anderzijds de mate waarin de te nemen acties ingrijpen in het verkeer.

Ook het optreden van onbeheersbare situaties door technisch falen kan worden afgehandeld met behulp van automatische acties, zie onder andere hoofdstuk 21.

15. De operator dient te beschikken over een gemakkelijk bedienbare (fysiek aanwezige) **Calamiteitenknop**, waarmee tunnelinstallaties via één handeling in Calamiteitenbedrijf worden geschakeld. Er dient ten minste voor elke rijrichting een aparte Calamiteitenknop aanwezig te zijn. Tussen het moment van indrukken en het schakelen naar Calamiteitenbedrijf dient een instelbare tijdvertraging van enige seconden aanwezig te zijn.

Na het gebruik van de calamiteitenknop heeft de tunneloperator nog enkele seconden bedenktijd. Hij heeft daarmee de tijd om te controleren of de juiste tunnelbuis is geselecteerd en om een eventuele vergissing direct te herstellen. Als de tunneloperator niet reageert, start het calamiteitenbedrijf voor de geselecteerde tunnelbuis na enkele seconden automatisch.

Een schematische weergave van deze handeling is in bijlage 9.7 opgenomen (links onderaan).

De operator dient bij het optreden van één of meer detectiesignalen te beschikken over een gemakkelijk (op een scherm) bedienbaar '**groepscommando calamiteit**', waarmee de tunnelinstallaties via één handeling in Calamiteitenbedrijf worden geschakeld.

Een schematische weergave van deze handeling is in bijlage 9.7 opgenomen (dialogvensters 1 en 2).

De operator dient, uitsluitend bij ingeschakeld Calamiteitenbedrijf, te beschikken over een gemakkelijk (op een scherm) bedienbaar '**groepscommando evacuatie**', waarmee de tunnelinstallaties via één handeling in Calamiteitenbedrijf met evacuatie worden geschakeld.

Een schematische weergave van deze handeling is in bijlage 9.7 opgenomen (dialogvenster 3).

16. De operator dient in staat te zijn een goed overzicht te krijgen en te houden van de status van de verschillende installaties en systemen die door de groepscommando's worden geschakeld.

*Door de acties van de Stand-by fase na detectie of het Calamiteitenbedrijf bijvoorbeeld in een afzonderlijk dialoogvenster op het beeldscherm weer te geven wordt voor de **operator (wegverkeersleider)** het overzicht over de situatie vergemakkelijkt.*

17. Terugkeren naar de status die aanwezig was voordat een groepscommando werd gestart dient, per installatie, eenvoudig mogelijk te zijn.

De Stand-by fase na detectie en het Calamiteitenbedrijf kunnen alleen worden hersteld door menselijk ingrijpen. Automatische terugschakeling naar Normaal bedrijf is niet mogelijk.

*Door het presenteren van herstelcommando's in een dialoogvenster na het activeren van een groepscommando kan de **operator** achteraf overbodige commando's terugdraaien indien de calamiteit van een andere orde was dan zich aanvankelijk liet aanzien.*

10 Verkeersdetectie en Verkeersregeling

10.1 Algemeen

Voor een uitgebreide toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

1. Een verkeersinstallatie dient te worden aangebracht:
 - bij tunnels zonder vluchtstrook;
 - indien dit voor onderhoudswerkzaamheden nodig of gewenst is;
 - indien bij vluchten gebruik moet worden gemaakt van een andere tunnelbuis;
 - indien een risicoanalyse dit uitwijst.
2. Ten behoeve van het uitvoeren van werkzaamheden dient rekening te worden gehouden met de CROW richtlijnen voor werken op autosnelwegen (publicatie 96A).

Deze richtlijnen schrijven voor dat op rijbanen met 3 of meer rijstroken in verband met het aanbrengen van afzettingen altijd een vaste verkeersinstallatie moet worden aangebracht. Daarbij wordt er vanuit gegaan dat de verkeersintensiteit op een 3-strooks rijbaan per definitie zó groot is dat handmatig of rijdend afzetten te gevaarlijk is.

Op 2-strooks rijbanen geldt de regel dat handmatig of rijdend aanbrengen van rijstrookafzettingen alleen is toegestaan als met zekerheid kan worden voorkomen dat filevorming op de niet-afgezette rijstrook ontstaat.

Onder normale omstandigheden zal bij afzetting van één rijstrook van een 2-strooks rijbaan filevorming ontstaan indien een verkeersintensiteit van meer dan 2000 à 2200 voertuigen per uur over beide rijstroken wordt samengevoegd op één rijstrook. Onder ongunstige omstandigheden (bijvoorbeeld bij zijdelingse belemmeringen of een onoverzichtelijke situatie) zal bij afzetting van één rijstrook van een 2-strooks rijbaan filevorming ontstaan indien een verkeersintensiteit van meer dan 1400 à 1500 voertuigen per uur over beide rijstroken wordt samengevoegd op één rijstrook.

Geadviseerd wordt om vóór en in tunnels met 2-strooks rijbanen, bij een te verwachten verkeersintensiteit van meer dan 1500 voertuigen per uur een vaste verkeersinstallatie aan te brengen.

3. De vermindering van het aantal rijstroken, ten behoeve van onderhoud of de afhandeling van incidenten, dient vóór de ingang van de tunnel (nooit in de tunnel!) plaats te vinden. De versmalling dient op ruime afstand zichtbaar te zijn voor het aankomend verkeer; hierbij rekening houden met zichtbeperking door eventuele kanteldijken.
4. Gezien het essentiële karakter van verkeersinstallaties dienen deze te worden aangesloten op een UPS (Uninterrupted Power Supply) om plotseling uitvallen van verkeersaanduidingen (bijvoorbeeld tijdens rijstrookafzettingen bij pech, ongeval of onderhoud) te voorkomen.

Tunnels die niet voorzien zijn van een alternatieve energievoorziening, om ook op lange termijn de stroomvoorziening voort te kunnen zetten, zullen na wegvallen van het openbaar net, na het einde van de bedrijfsperiode van de UPS stroomloos worden. De bedrijfsperiode van de UPS in deze tunnels dient zodanig te worden gekozen dat veilig, blijvend afsluiten van de tunnel door middel van de verkeersinstallatie mogelijk is.

10.2 Verkeersdetectie

5. Automatische verkeersdetectie is noodzakelijk in tunnels waarin bij een calamiteit gevluht dient te worden via een parallelle verkeersbuis.
6. Automatische verkeersdetectie is noodzakelijk bij filedetectie systemen.

7. Automatische verkeersdetectie is gewenst in door operators ([wegverkeersleiders](#)) bediende tunnels.

Van een tunneloperator kan niet worden verwacht dat hij voortdurend het verkeer in een tunnel observeert. Automatische verkeersdetectie maakt het mogelijk zeer snel te reageren en te anticiperen op veranderingen in het gedrag en de doorstroming van het verkeer in de tunnel zonder dat een operator voortdurend het verkeer moet observeren.

In tunnels met een verkeersinstallatie die bedoeld is voor verkeersmaatregelen anders dan voor onderhoud, is daarom automatische verkeersdetectie nodig bij een hoge verkeersintensiteit, ook bij aanwezigheid van een vluchtstrook.

In tunnels met gemiddeld zeer weinig verkeer zou een automatische verkeersdetectie achterwege kunnen worden gelaten omdat in deze tunnels door de weggebruiker tijdig kan worden geanticipeerd op door pech of ongeval stilstaande voertuigen. Voorts is er in tunnels met zeer weinig verkeer voldoende gelegenheid voor weggebruikers om via de [noodtelefoon](#) de tunnelbewaking te attenderen op incidenten zonder dat zij daar zelf door in gevaar komen.

11 Vluchten

11.1 Algemeen

Voor een uitgebreide toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

1. De noodzaak tot het aanleggen van vluchtwegen en de wijze waarop deze worden geprojecteerd dient te worden gezien in samenhang met:
 - De mate van geslotenheid van de constructie;
 - De mogelijke grootte van de brand;
 - De ontruimingstijd;
 - De aanwezigheid van mechanische ventilatie;
 - Het al dan niet bediend zijn van de tunnel;
 - De helling van het wegdek (zowel in langsrichting als in dwarsrichting).

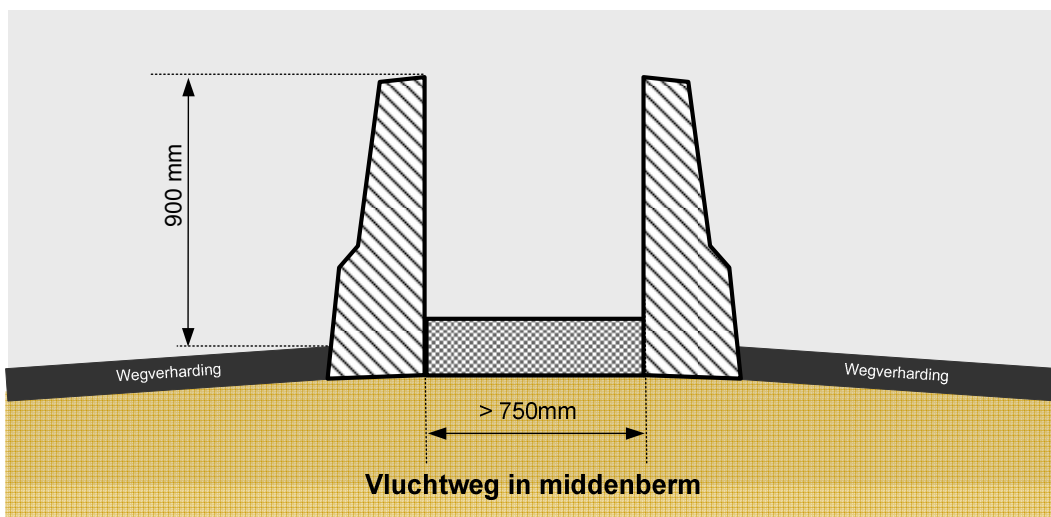
De noodzaak voor vluchtwegen voor weggebruikers neemt toe naarmate de constructie meer gesloten is omdat het intern risico toeneemt.

2. De omvang van de vluchtvoorzieningen dient te worden vastgesteld aan de hand van risicoanalyses (zie VRB).

11.2 Projectering van vluchtwegen

Zijwaarts gesloten constructies

3. Bij zijwaarts gesloten constructies zonder vluchtstrook in de middenberm ruimte houden tussen de geleiderails of barriers met een vrije doorgang van ten minste 0,75m of aan de zijkanten, buiten de verkeersgeleiding, een vrije doorgang maken van ten minste 0,75m.



4. Tussen rijbanen met dezelfde rijrichting geleiderails of barriers toepassen met daartussen een vrije doorgang van ten minste 0,75m.

Gedeeltelijk gesloten constructies

5. Als de rook bij brand onvoldoende kan ontwijken gelden dezelfde richtlijnen voor de vluchtwegen als bij gesloten constructies (zie punt 7 van deze paragraaf en de overige paragrafen in dit hoofdstuk).
6. In een gedeeltelijk gesloten constructie dient de afstand tussen uitgangen niet groter te zijn dan 400m.

Gesloten constructies

7. De onderlinge afstand tussen vluchtdeuren bepalen aan de hand van risicoanalyses (conform methoden aangegeven in Rarvw, art.4). Deze afstand dient echter niet groter te zijn dan 250m, conform de Regeling Bouwbesluit.

De loopafstand tussen een punt op de rijbaanvloer en ten minste een toegang van het rookcompartiment is ten hoogste 150 m. Deze afstand wordt gemeten over een route die uitsluitend voert over vloeren, trappen of hellingbanen zonder dat deuren worden gepasseerd die met een sleutel moeten worden geopend. [.....]. De afstand tussen twee toegangen is ten hoogste 250 m. (Regeling Bb, art. 5.25, lid 2 voor nieuwbouw en art. 5.27 lid 1 voor bestaande bouw).

11.3 Toegankelijkheid van vluchtwegen

Toegankelijkheid voor de gebruiker

8. Geen geleiderails toepassen waar deze de toegang tot vluchtdeuren zouden kunnen belemmeren. In die situatie stepbarriers als verkeersgeleiding toepassen.
9. Waar mogelijk dient te worden voldaan aan de richtlijnen voor toegankelijkheid voor **functiebeperkten**; waar deze strijdig zijn met veiligheidseisen en veiligheidsrichtlijnen prevaleren de veiligheidseisen.

Richtlijnen voor de toegankelijkheid van vluchtwegen voor functiebeperkten zijn opgenomen in het rapport "Uitgangelijkheid van wegtunnels voor mensen met een functiebeperking", d.d. 31 maart 2005 (Stichting Werkgemeenschap tussen Techniek en Zorg, Landelijk Bureau Toegankelijkheid en het Steunpunt Tunnelveiligheid).

Toegankelijkheid voor de hulpverlening

10. Rekening houden met het gebruik van vluchtdeuren door hulpverleningsdiensten. Om de hulpverlening te vergemakkelijken **dienen de** vluchtdeuren, die vanuit naast elkaar gelegen tunnelbuizen op één middengang uitkomen, tegenover elkaar te **worden geplaatst**.

11.4 Ontwerpaspecten

Vluchtwegen

11. Bij het ontwerp van vluchtwegen ervan uitgaan dat alle personen in de tunnel gebruik maken van de vluchtwegen.
12. De vluchtrichting in het vluchtkanaal dient tegengesteld te zijn aan de ventilatierichting van de tunnelventilatie in de calamiteitenbuis.

Dit om te vermijden dat de vluchtenden bij het verlaten van de vluchtweg buiten de tunnel in de rook uitkomen, zie punt 15.

13. **Vluchtwegen dienen obstakelvrij te zijn.**

Voorkomen moet worden dat vluchtenden zich aan uitstekende en/of scherpe voorwerpen verwonden en daarmee het vluchtproces verstoren of zelfs belemmeren. Dit geldt ongeacht de breedte van de vluchtweg.

14. De breedte van vluchtwegen dient afgestemd te zijn op het personen aanbod en op het gebruik van brancards, waarbij rekening moet worden gehouden met de breedte van de brancard inclusief een ernaast lopende verpleegkundige. *Voor nieuwbouwtunnels dient de vrije doorgangruimte in besloten ruimten ten minste 1,2m te zijn, met een vrije doorgangshoogte van tenminste 2,1m (zie Regeling Bouwbesluit, art. 5.33). Vernauwingen in vluchtwegen moeten worden vermeden. Voor bestaande tunnels geldt een vrije breedte van tenminste 0,7m en een vrije hoogte van tenminste 1,9m (zie Regeling Bouwbesluit, art. 5.36).*
15. Nadat men via de vluchtdeur uit de gevarezone is gevlucht, dient de aansluitende vluchtweg daarna mensen niet opnieuw in gevaar te brengen:
 - Zorg voor een eenduidige aanduiding van de vluchtrichting.
 - Een vluchtkanaal dient aan beide uiteinden een uitgang te hebben.
 - Vluchtwegen en richting zodanig kiezen dat bij het verlaten van de vluchtweg de weggebruiker niet in de rook uitkomt.
 - De doorgang van de deuren ter plaatse van de uitgangen van vluchtkanalen zo breed mogelijk maken *(uiteraard dienen de afmetingen tenminste te voldoen aan het Bouwbesluit).*
 - Buiten de uitgang van een vluchtkanaal dient voldoende (doorloop)ruimte aanwezig te zijn. De (doorloop)ruimte tussen de verkeersgeleiding dient minimaal 50m lang te zijn met aan het einde aan weerszijden een uitstapmogelijkheid naar het wegdek. *Indien de vluchtroute leidt naar een verzamelplaats dient deze zich op veilige afstand van de tunnelmond te bevinden (tenminste 150m).*
 - De vluchtweg mag niet doodlopen. Doodlopende gangen of voor onbevoegden verboden gebieden die aansluiten op vluchtwegen dienen te zijn afgesloten.
 - Indien er een trapportaal naar het dienstengebouw aanwezig is, niet behorend tot de vluchtroute, dient deze vanuit de vluchtweg niet zichtbaar te zijn.

Volgens het Bouwbesluit leidt een rookvrije vluchtroute naar het aansluitende terrein en vandaar naar de openbare weg zonder dat deuren worden gepasseerd die met een sleutel moeten worden geopend (Bb, afd. 2.18, art. 2.154 voor nieuwbouw en art. 2.161 voor bestaande bouw).

16. Op de doorgaande route van vluchtwegen dient struikelgevaar te worden voorkomen. Daarom geen drempels en randen toepassen.
17. Lager gelegen niveaus dienen te worden bereikt via hellingbanen met een helling kleiner dan 1:16. Afgaande trappen vanwege valgevaar niet toepassen.
18. Opgaande trappen bestaande uit slechts 1 of 2 treden vanwege struikelgevaar niet toepassen. Geringe opgaande niveauverschillen overbruggen met hellingbanen met een helling kleiner dan 1:16.

De *optreden* naar de vluchtdeuren vanuit de tunnelbuizen vormt hierop een noodzakelijke uitzondering. *In de opstap vanaf het wegdek naar de dorpel de trede hoogte niet meer dan 300mm maken en de aantrede niet minder dan 250mm.*
19. Opgaande trappen vermijden, horizontale of licht stijgende vluchtwegen hebben de voorkeur. Als wordt gekozen voor een opgaande trap dan dient deze te voldoen aan de voorwaarden volgens het Bouwbesluit.
20. Liften in vluchtwegen zijn niet toegestaan.

21. De verlichting van het middentunnelkanaal dient in een situatie waarbij de bedrijfstoestand **calamiteitenbedrijf is** ingeschakeld:
- Op de vloer van de vluchtweg een verlichtingssterkte te hebben van gemiddeld ≥ 100 lux
 - Op de vloer van de vluchtweg een langsgelijkmatigheid¹⁰ te hebben $\geq 0,5$. (1:2)
 - Een kleurweergave index van $R_a \geq 80$ te hebben.
 - Binnen 5s op 90% te zijn ingeschakeld
- In een situatie waarbij **alle elektrische voeding volledig is weggefallen** dient de verlichting:
- Op de vloer van vluchtweg een verlichtingssterkte te hebben van gemiddeld $\geq 2,5$ lux
 - Op de vloer van de vluchtweg een langsgelijkmatigheid¹¹ te hebben $\geq 0,025$. (1:40)
 - Een kleurweergave index van $R_a \geq 40$ te hebben.
 - Binnen 5s op 50% te zijn ingeschakeld
 - Binnen 60s op 100% te zijn ingeschakeld.
22. Vluchtwegen uitvoeren in lichte kleuren.
23. De vluchtweg dient rookvrij te worden gehouden, zonodig door middel van een mechanische overdrukventilatie.
- Bij gebruik van overdruk dient de toevoer zodanig plaats te vinden dat de intrinsieke veiligheid van de vluchtweg door het middentunnelkanaal behouden blijft.
 - Bij gebruik van roosters in de vloer tussen dienstgang en de vluchtweg in het middentunnelkanaal de roosters niet binnen 10m vanaf de deuren plaatsen. Hierdoor wordt voorkomen dat bij falen van een vluchtdeur de installaties in de dienstgang (bekabeling e.d.) aan hitte worden blootgesteld.
24. Vluchtkanalen zodanig afschermen van de tunnelbuis dat bij brand de vluchtweg niet geblokkeerd raakt en men gedurende 30 minuten het gehele vluchtkanaal nog veilig kan gebruiken.

Volgens het Bouwbesluit geldt de volgende eis: de volgens NEN 6068 bepaalde weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag van een brandcompartiment naar een ander brandcompartiment, een besloten ruimte waardoor een van rook en van brand gevrijwaarde vluchtroute voert, en een niet besloten veiligheidstrappenhuis is niet lager dan 60 minuten (Bb, art. 2.106).

25. De vloer van vluchtkanalen dient gesloten, stroef en onbrandbaar te zijn uitgevoerd.
- Om voldoende stroef te zijn dient het oppervlak aan een frictie coëfficiënt (COF¹²) tussen 0,5 en 0,6 ($R_v \geq 11$ ¹³) te voldoen
 - Bij de aanwezigheid van een kabelkanaal onder de vloer dient langs de wanden een roostervloer met een breedte van 150mm te worden geplaatst voor ventilatie en inspectiedoeleinden, over de gehele lengte van de vloer/kabelkanaal.

Vluchtdeuren

26. Voor de toegang naar een vluchtkanaal schuifdeuren toepassen.

Deze zijn minder gevoelig voor de overdruk in het vluchtkanaal en beperken de doorgangsbreedte in het vluchtkanaal niet.

¹⁰ Langsgelijkmatigheid is de verhouding tussen het maximale en minimale verlichtingsniveau

¹¹ Langsgelijkmatigheid is de verhouding tussen het maximale en minimale verlichtingsniveau

¹² Static coefficient of friction

¹³ NEN 2873 meetmethode stroefheid; R11 conform DIN 51130

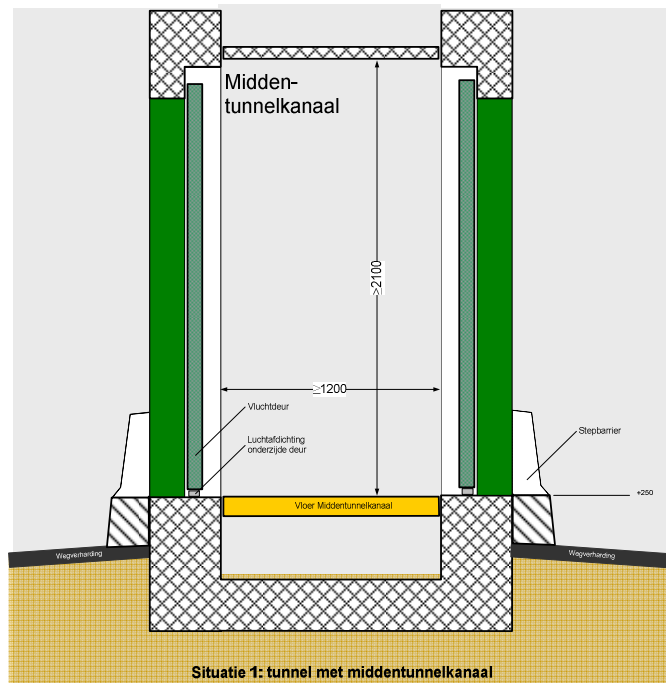
27. De vrije doorgang van vluchtdeuren dient bij nieuwbouwtunnels tenminste 850 x 2100 mm te zijn (zie Regeling Bouwbesluit, art. 5.33). Voor bestaande tunnels dient de vrije doorgang tenminste 700 x 1900 mm te zijn (zie Regeling Bouwbesluit, art. 5.36).
28. In een vluchtsituatie moeten de vluchtdeuren aan de zijde van de calamiteitenbuis met een handgreep geopend kunnen worden, door middel van een neerwaartse beweging van de handgreep. De daartoe noodzakelijke kracht mag niet meer dan 100N te bedragen¹⁴. Hierbij dient uit gegaan te worden van de meest ongunstige situatie, waarbij in de tunnel een calamiteit optreedt op de voor het vluchtproces meest ongunstige positie en alle systemen in calamiteitenbedrijf zijn ingeschakeld.

Uit metingen in bestaande tunnels is gebleken dat bij calamiteitenbedrijf de druk in het middentunnelkanaal maximaal 800 Pa hoger kan zijn dan de druk in de calamiteitenbuis. Bovengenoemde eis geldt in de praktijk dus bij een overdruk van 800 Pa.

29. De bovenzijde van de handgrepen dient, aan de tunnelzijde van de vluchtdeur, op een hoogte tussen 0,9 en 1,2m boven het asfalt te zijn geplaatst.
- Vorm en plaatsing van de handgrepen dienen een eenvoudige, impliciete en eenduidige bediening mogelijk te maken.
30. Vluchtdeuren dienen zelfsluitend te zijn.
- De benodigde tijd voor het zelfstandig dichtlopen van een vluchtdeur moet ≤ 15 s zijn
 - De aanslag op de sluitkant dient gedempt plaats te vinden.
31. Het "niet gesloten zijn" van een vluchtdeur dient bij bediende tunnels automatisch te worden gemeld aan de tunneloperator (wegverkeersleider).

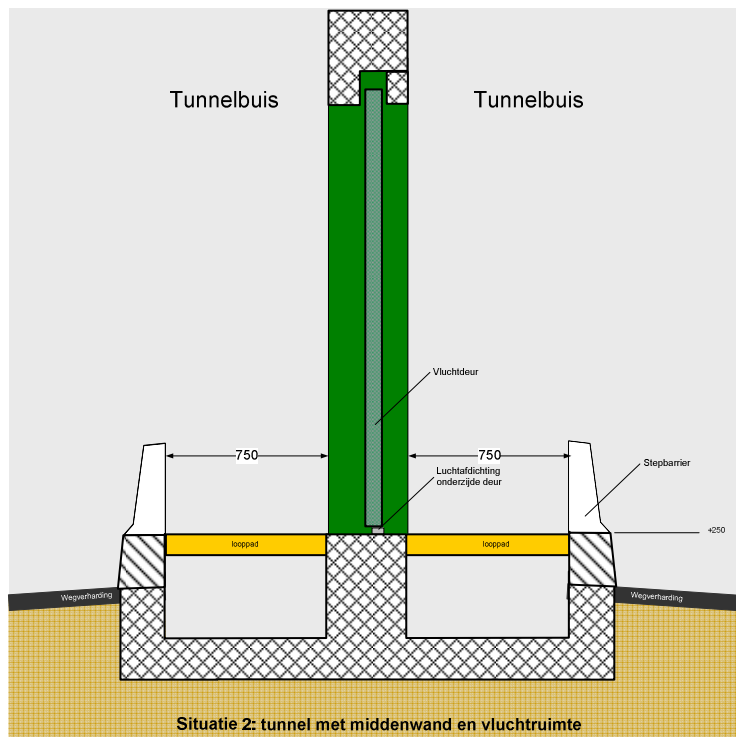
In normaal bedrijf is dit een indicatie dat de deur niet goed sluit en dus vervuiling kan optreden van het vluchtkanaal.

32. Met betrekking tot de vergrendeling van vluchtdeuren rekening houden met het volgende:

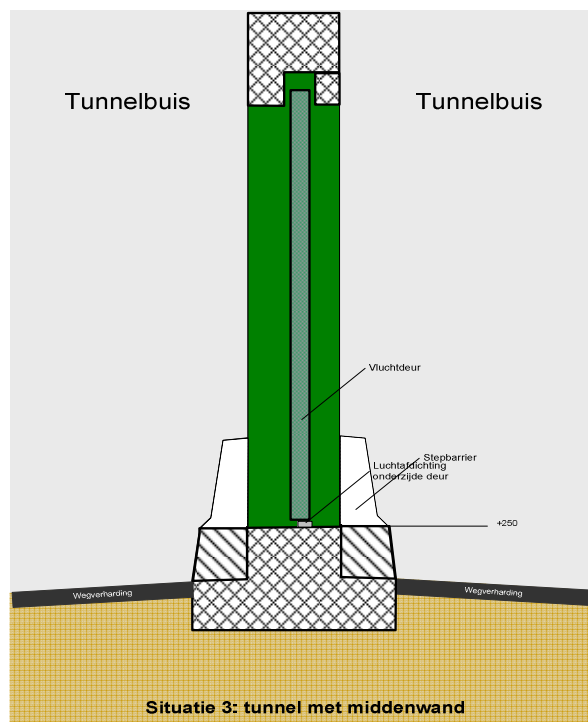


¹⁴ Deze kracht hoort bij de genoemde neerwaartse beweging van de handgreep. Bij afwijking hiervan dienen kracht en richting van de uit te oefenen kracht op basis van een antropometrisch onderzoek (bv Mil-Std-1472F 23 aug 1999) te worden aangetoond, waarbij 95 percentiel van de tunnelgebruikers in staat dient te zijn vereiste kracht op te brengen.

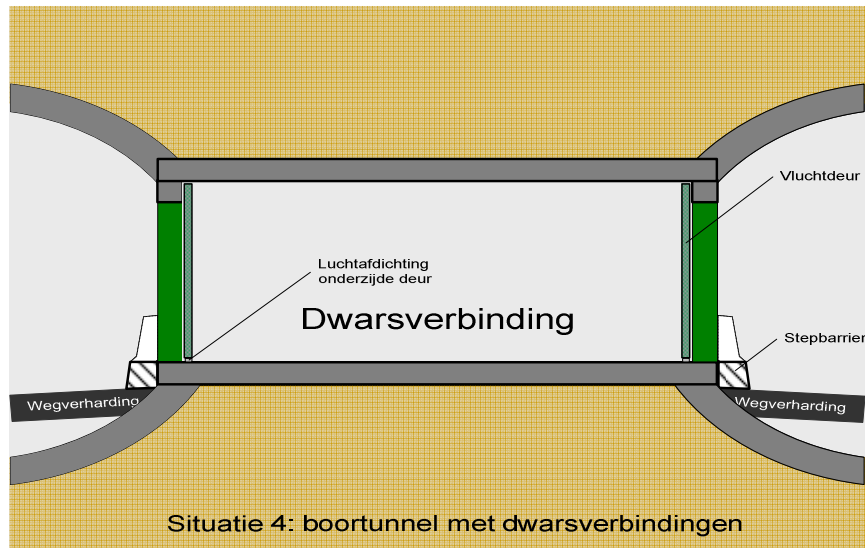
- In situatie 1 de vluchtdeuren niet vergrendelen in de richting naar het vluchtkanaal. Voorkomen dient te worden dat vluchtenden onbedoeld doorlopen naar de andere tunnelbuis. De vluchtdeuren dienen zonder bijzondere hulpmiddelen vanaf beide zijden door de hulpdiensten te kunnen worden geopend.



- In situatie 2 de vluchtdeuren niet vergrendelen.



- In situatie 3 de vluchtdeuren vergrendelen in combinatie met bediening. De vluchtdeuren dienen op het bedienen van de calamiteitenknop automatisch te worden ontgrendeld met een zodanige tijdsvertraging dat verwacht mag worden dat, op het moment van ontgrendelen, de niet-incidentbuis vrij van rijdend verkeer is.



- In situatie 4 de vluchtdeur naar de dwarsverbinding niet vergrendelen. De vluchtdeur naar de buis vergrendelen in combinatie met bediening. De vluchtdeuren dienen op het bedienen van de calamiteitenknop automatisch te worden ontgrendeld met een zodanige tijdsvertraging dat verwacht mag worden dat, op het moment van ontgrendelen, de niet-incidentbuis vrij van rijdend verkeer is.
 - Vergrendelingen dienen in stroomloze toestand ontgrendeld te zijn.
33. Vluchtdeuren die uitkomen buiten de tunnelconstructie dienen van binnenuit te openen te zijn door middel van een zogenaamde panieksluiting en van buitenaf te openen met een sleutel passend in het sleutelplan van de tunnel **en** met een driekant sleutel (**liftsleutel brandweerlift**). Deze vluchtdeuren aan de binnenkant in de kleur groen volgens RAL 6024 uitvoeren.
34. Vluchtdeuren naar een andere ruimte binnen de tunnelconstructie dienen een brandwerendheid te hebben van 2 uur bij een brand volgens de RWS-curve. Vluchtdeuren naar buiten dienen een brandwerendheid te hebben van 1 uur volgens de ISO-kromme.

11.5 Aanduiding van de vluchtweg

Algemeen

35. **Bij/in** vluchtwegen dienen pictogrammen te worden aangebracht om de te volgen (vlucht)richting duidelijk te maken.
- **In het geval dat de rijrichting van de tunnelbuizen aan weerszijden van het vluchtkanaal niet gelijk is dient de vluchtwegaanduiding dynamisch omkeerbaar uitgevoerd te worden.**

Dit omdat de vluchtrichting in het vluchtkanaal altijd tegengesteld moet zijn aan de rijrichting (= ventilatierichting) in de calamiteitenbuis, zie punt 12).

36. Van toepassing zijn de volgende normen:
- ISO 16069: Graphical symbols-Safety signs-Safety way guidance systems (SWGS)
 - **NEN 6088: Brandveiligheid van gebouwen – Vluchtwegaanduiding – Eigenschappen en bepalingsmethoden**
 - NEN-EN 1838: Toegepaste verlichtingstechniek-Noodverlichting
 - **NEN 12464: Verlichting gangen en vluchtwegen tijdens onderhoud en calamiteit**

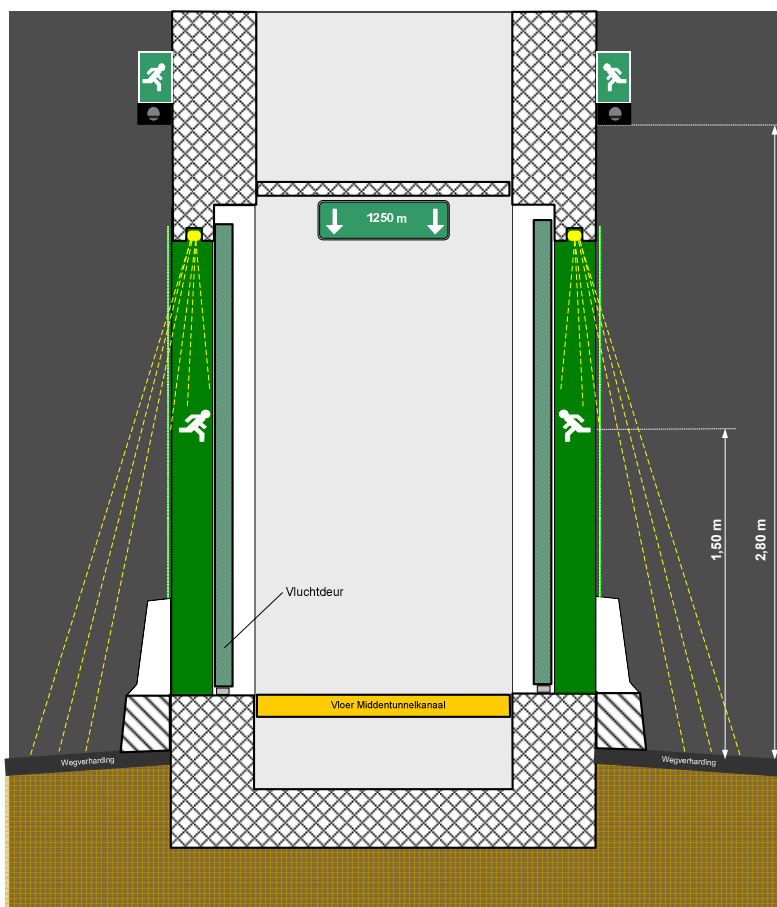
Een tunnel heeft vluchtrouteaanduidingen die voldoen aan NEN 6088, uitgave 2002 (Barw, art. 6, lid 1).

Toelichting vanuit NEN 6088 (par. 4.3): de symbolen die voldoen aan de specificaties van ISO/FDIS 3864-1 en ISO/DIS 7010 zijn volgens de NEN-ISO 9186 getoetst en daarmee in beginsel toelaatbaar, maar het in deze norm [NEN 6088] gehanteerde wettelijke symbool geniet de voorkeur. Binnen één gebouw mogen de systematiek van NEN 6088 en die van andere volgens NEN 9186 beproefde vluchtwegaanduidingen niet door elkaar worden gebruikt, noch in op zichzelf staande vluchtwegaanduidingen, noch in combinatie met noodverlichting.

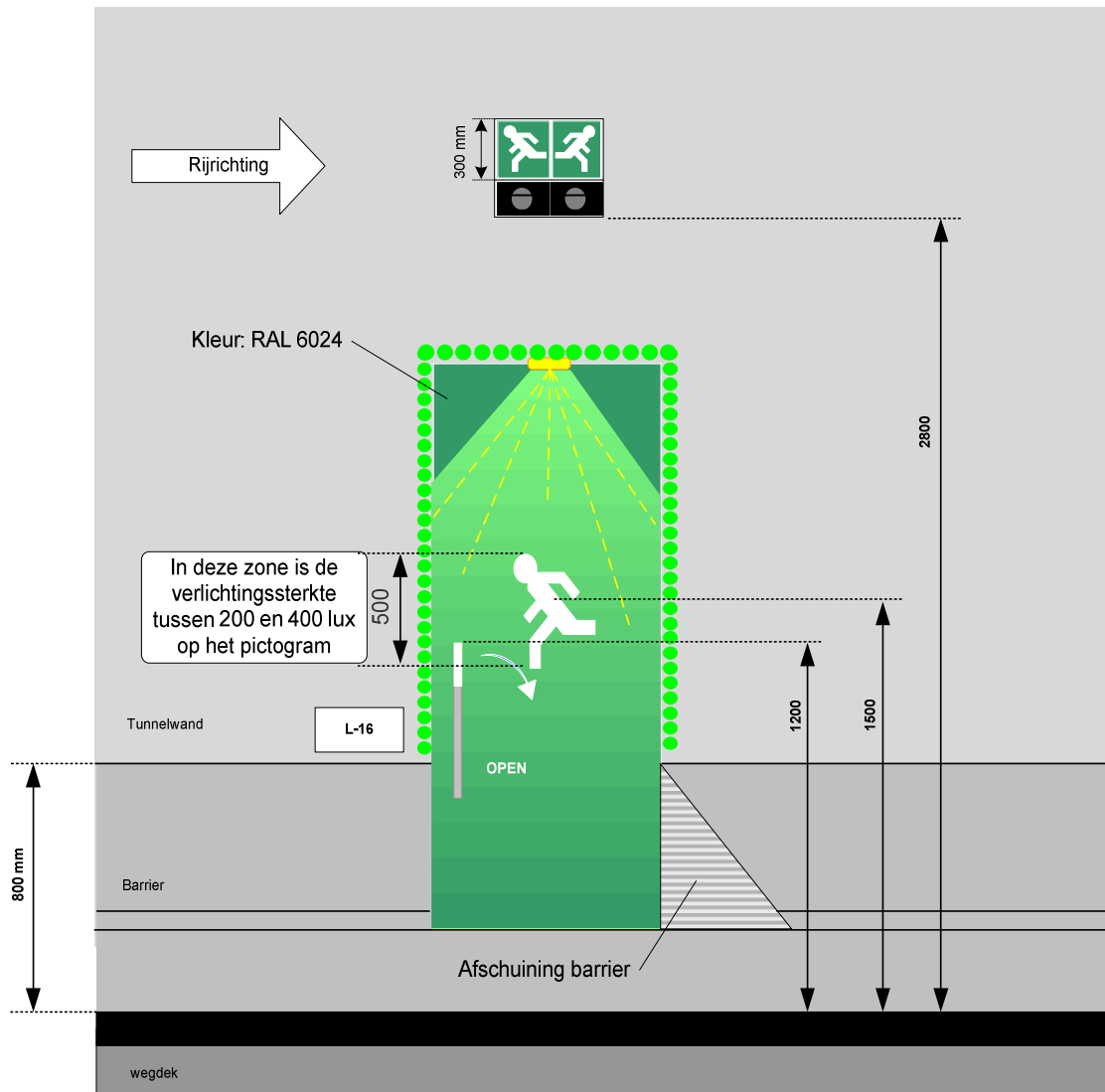
37. Vluchtwegen dienen (in elk geval in noodsituaties) als zodanig ondubbelzinnig herkenbaar te zijn door vorm, kleurstelling en aanduidingen.
38. Op elke plaats waar men van richting moet veranderen, goed verlichte aanwijzingen van voldoende grootte aanbrengen.
39. Om struikelen bij eventuele noodzakelijke hoogteverschillen (drempels, opstapjes en dergelijke) te voorkomen dienen deze door aanlichting of markering goed zichtbaar te zijn.

Aanduidingen in de tunnelbuizen

40. Vluchtdeuren dienen goed herkenbaar te zijn. Hierbij is het volgende van belang:
 - De helderheid van vluchtdeuren ten opzichte van hun omgeving dient zodanig te zijn dat vluchtdeuren goed opvallen.
 - De symbolen dienen in de tunnel bij aanwezigheid van verkeer goed zichtbaar en herkenbaar te zijn.

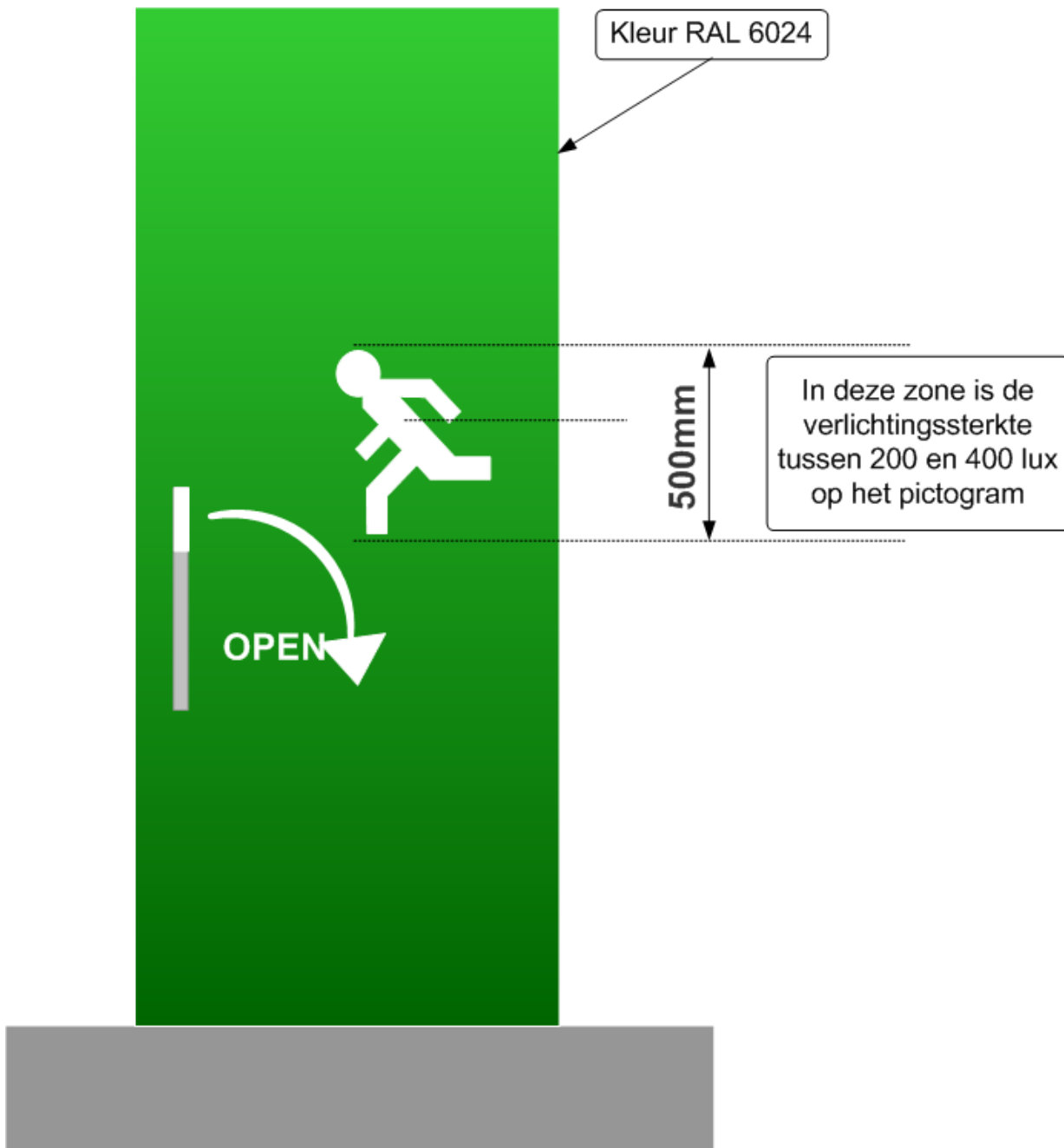


Figuur 1. Doorsnede vluchtkanaal



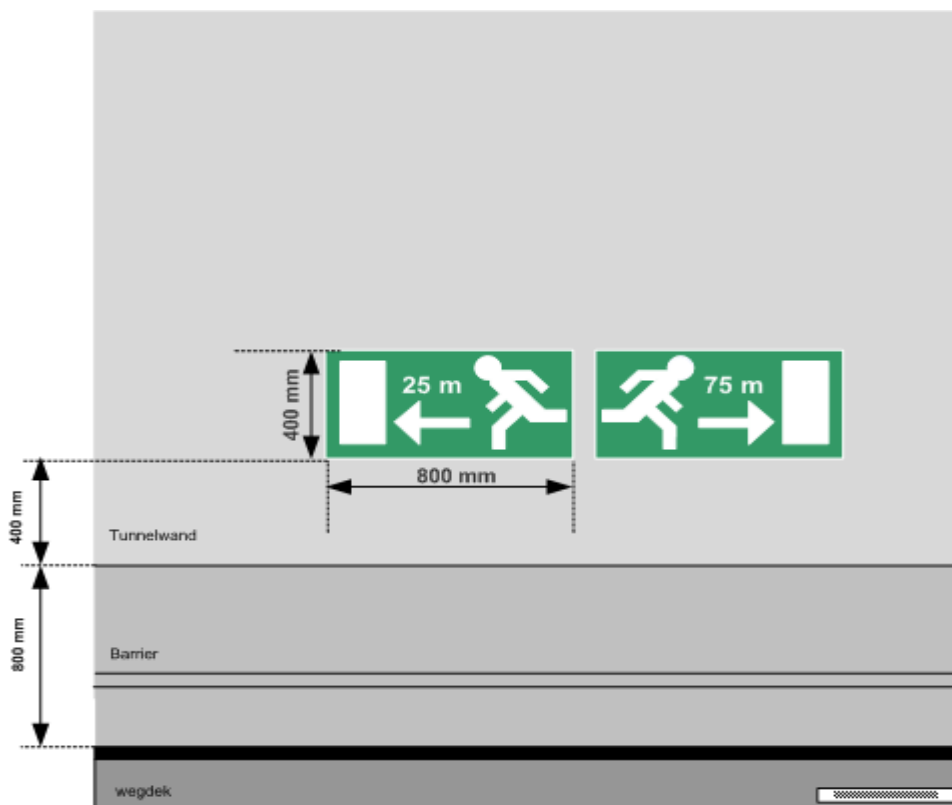
Figuur 2. Aanzicht vluchtdeur

41. Breng boven de vluchtdeur een vanaf beide zijden leesbaar, continu intern verlicht pictogram aan. Het pictogram dient, in wit op een groene ondergrond (RAL 6024), de afbeelding van een, richting deur, vluchtend persoon te bevatten conform [NEN 6088](#) (zie de figuren 1, 2 en 3).
42. Breng boven de vluchtdeur een geluidbaken aan dat, in het geval dat vluchten nodig is, de volgende repeterende boodschap uitzendt: "UITGANG HIER", "EXIT HERE", afgewisseld met een drietoen. Het geluidbaken dient aan de eisen van het TNO rapport nr. TNO-DV3 2005-M034 te voldoen.
43. De vluchtdoeren aan de tunnelbuiszijde als volgt uitvoeren:
 - In de kleur groen volgens RAL 6024;
 - Op de deur een afbeelding van een vluchtend persoon conform [NEN 6088](#) (zie de figuren 2 en 3); de hoogte van de vluchtende persoon dient 500mm te zijn.
 - De deur permanent aanstralen; de verlichtingssterkte, gemeten ter plaatse van elk van de afbeeldingen met een vluchtend persoon dient minimaal 200 lux en maximaal 400 lux te zijn.
 - Geef op de deur met een gekromde pijl de draairichting van de deurhendel aan zoals aangegeven in figuur 2;
 - [De bovenste 200mm van de deurhendel wit uitvoeren](#);
 - Breng op de deur de tekst "OPEN" aan, zoals aangegeven in figuur 2.



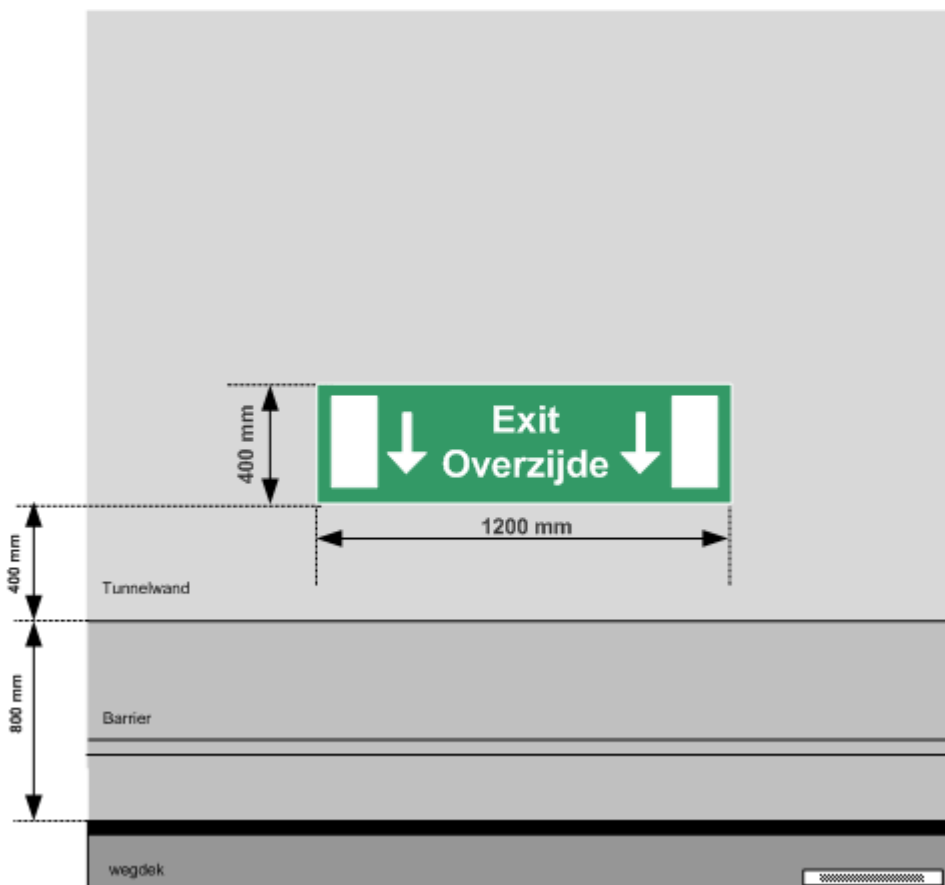
Figuur 3 De verlichtingssterkte op het pictogram

44. Inkassingen uitvoeren als volgt:
- Geef de wanden van de inkassing de kleur groen volgens RAL 6024;
 - Aan weerszijden, in de dagkant van de inkassing, op een hoogte van 1200mm boven het wegdek, de afbeelding van een richting deur vluchtend persoon conform figuur 1 en 3 aanbrengen; de hoogte van de afbeelding aanpassen aan de beschikbare ruimte;
 - De onder eis 43 genoemde aanstraling uitvoeren als accentverlichting in de 'bovendorpel' van de inkassing.
45. Op de tunnelwand, rondom de deur groene LED-verlichting aanbrengen (zie figuur 2). Deze verlichting:
- Mag uitsluitend gaan branden als er in de betreffende tunnelbuis een vluchtinstructie wordt gegeven;
 - Dient minimaal 9 LEDS per strekkende meter te bevatten;
 - Dient op een afstand van 100m herkenbaar te zijn.
46. Breng naast de deur op een hoogte van 1200mm boven het wegdek een vlakke deurnummering aan. Gebruik zwarte letters op een witte ondergrond; letterhoogte 100mm.
47. Breng tussen de vluchtdeuren, tegen de zijwanden van elke tunnelbuis, tegenover elkaar, om de 25m afbeeldingen aan conform figuur 4. De afbeeldingen dienen van minimaal 30 minuten nalichtend materiaal te zijn. Het pictogram voorzien van:
- Het vluchtend persoon conform [NEN 6088](#);
 - De afstand tot de dichtstbijzijnde deur in de aangegeven richting in veelvouden van 25m;
 - 1 horizontale pijl en 1 rechthoek.
- Gebruik lichte aanduidingen op een groene ondergrond (RAL 6024); cijferhoogte 100mm.



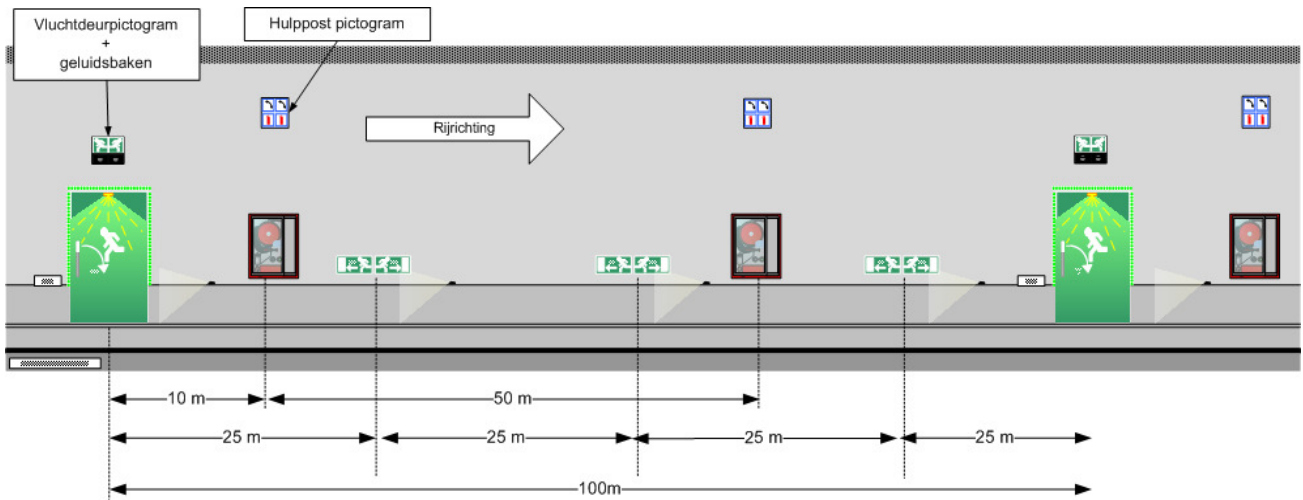
Figuur 4

48. Breng op de wand recht tegenover de vluchtdeur een afbeelding conform figuur 5. De afbeeldingen dienen van minimaal 30 minuten nalichtend materiaal te zijn. Het pictogram voorzien van:
- 2 neerwaarts gerichte pijlen en 2 rechthoeken;
 - De tekst "EXIT OVERZIJDE".
- Gebruik lichte aanduidingen op een groene ondergrond (RAL 6024); letterhoogte 100mm.

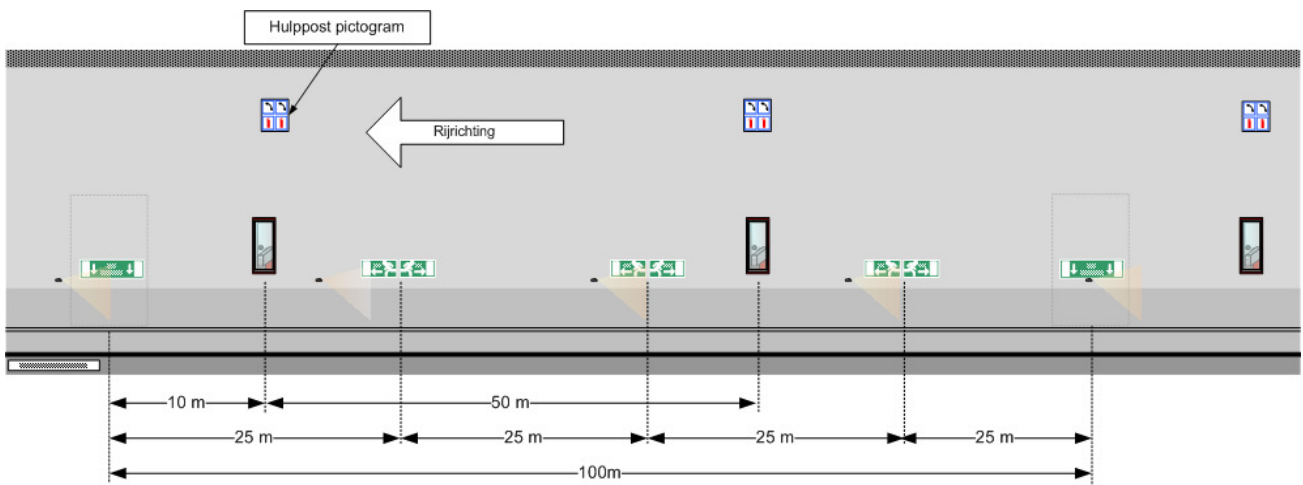


Figuur 5

Een overzicht van alle voorkomende aanduidingen op de wanden wordt hieronder schematisch weergegeven.

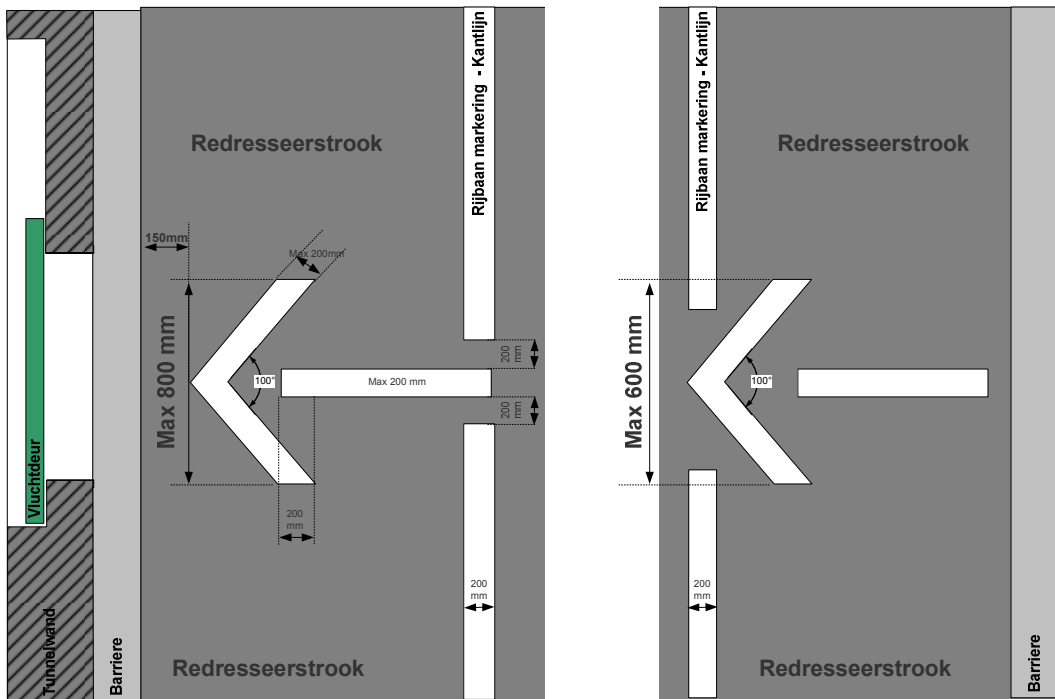
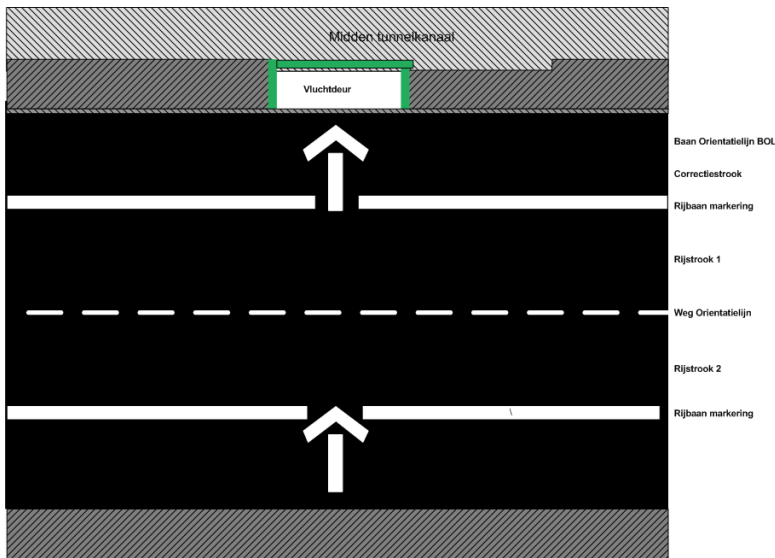


Aanzicht van uit de tunnel naar de wand met vluchtdeuren



Aanzicht van uit de tunnel naar de wand tegenover vluchtdeuren

49. Breng aan weerszijden van de rijbaan ter plaatse van de vluchtdeur, op het wegdek, vanaf de kantstreep tot 150 mm voor de barrier, een witte pijl volgens onderstaand voorbeeld aan, wijzend in de richting van de vluchtdeur (zie figuur 6).

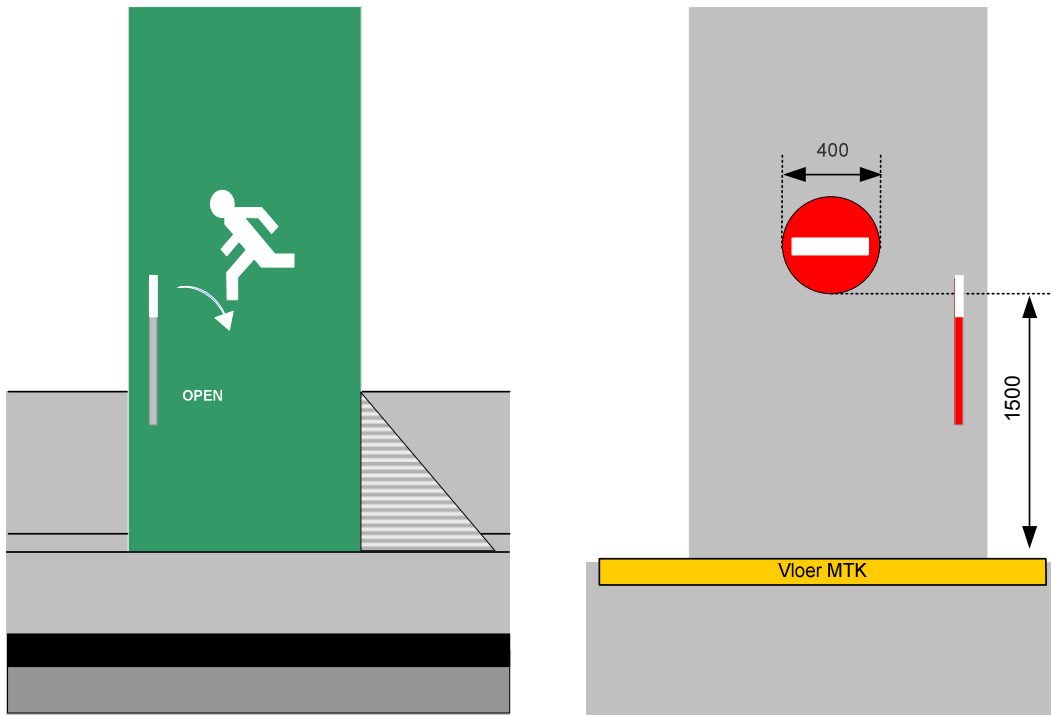


Figuur 6 De pijlen op het wegdek.

Aanduidingen in geval van een vluchtkanaal

49. De vluchtdeuren aan de vluchtkanaalzijde uitvoeren als volgt:

- In de kleur grijs volgens RAL 1013;
- Met een afbeelding erop conform onderstaande figuur 7, in een diameter van 400mm.



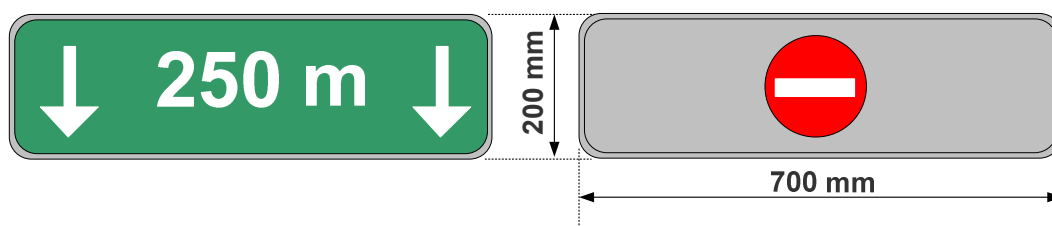
Vluchtdeur aan tunnelzijde

Vluchtdeur aan middentunnelkanaalzijde

Figuur 7

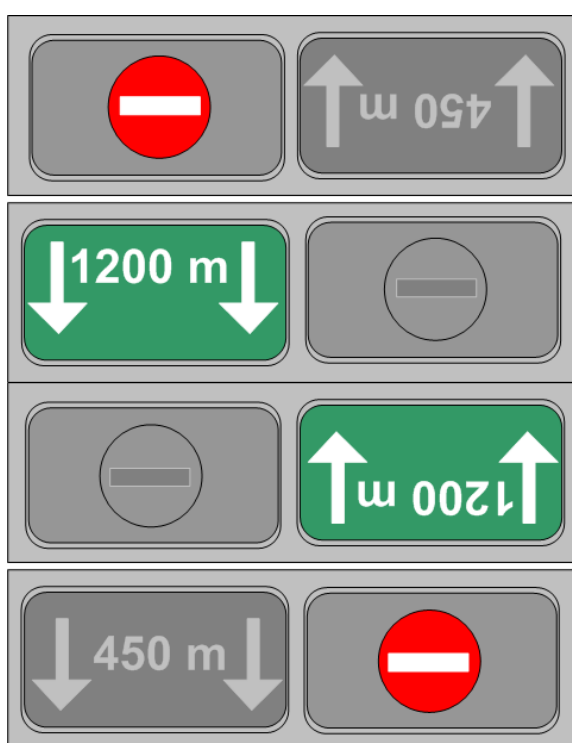
50. Wanneer in het vluchtkanaal één vooraf ingestelde vluchtrichting geldt, deze als volgt bewegwijzeren: hang in het vluchtkanaal, aan weerszijden van de deuropening, op een afstand van 5 meter, bordjes aan het plafond conform figuur 8:

- In de gewenste vluchtrichting dienen in wit op groene achtergrond te zijn aangegeven: twee omlaag wijzende pijlen en de afstand tot aan het einde van het vluchtkanaal (zie linker plaatje).
- In de niet gewenste looprichting dient een afbeelding te zijn aangegeven conform het rechter plaatje, op een grijze achtergrond.
- De afmeting van de borden dient 200 x 700mm te zijn.
- Plaats tussen de bovengenoemde borden soortgelijke borden zodanig dat de afstand tussen twee opeenvolgende borden niet meer is dan 50m.



Figuur 8

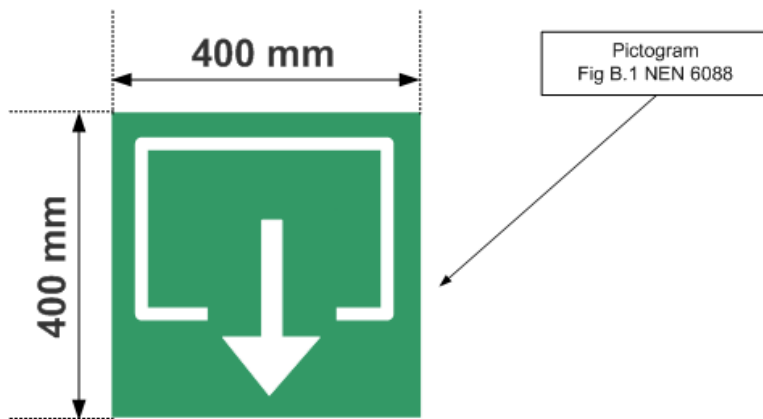
In situaties waarbij er, afhankelijk van de plaats van het incident, sprake kan zijn van verschillende vluchtrichtingen, deze bewegwijzering uitvoeren op een manier die deze omkeerbaarheid van de vluchtrichting mogelijk maakt en volgt. Hierbij dient de geest van vorenstaande gehandhaafd te blijven.



Figuur 9 Dynamische aanduiding vluchtrichting (voor en achterzijde borden "uitgekapt" om beide zijden zichtbaar te maken)

Als de borden dynamische dienen te zijn uit gevoerd dient afhankelijk van de vluchtrichting de juiste beeldweergave te worden geschakeld (zie figuur 9).

51. In voorkomend geval duidelijk aangeven wanneer bepaalde deuren in het vluchtkanaal niet tot de vluchtroute behoren. Laat daarbij duidelijk zijn via welke weg men dan wél verder moet.
52. Breng aan het einde van het vluchtkanaal boven de vluchtdeuren een pictogram aan conform NEN 6088 (zie figuur 10).



Figuur 10

53. Breng in het vluchtkanaal bij elke vluchtdeur luidsprekers aan opdat er ingesproken instructies aan de vluchtenden gegeven kunnen worden.

Aanduidingen in geval van dwarsverbindingen

54. De vluchtdeuren aan de dwarsverbindingzijde als volgt uitvoeren:
- In de kleur groen volgens RAL 6024;
 - Op de deur een afbeelding van een vluchtend persoon conform [NEN 6088](#) (zie de figuren 2 en 3); de hoogte van de vluchtende persoon dient 500mm te zijn.
 - Geef op de deur met een gekromde pijl de draairichting van de deurehendel aan zoals aangegeven in figuur 2;
 - [De bovenste 200mm van de deurehendel wit uitvoeren](#);
 - Breng op de deur de tekst "OPEN" aan, zoals aangegeven in figuur 2.
55. Breng in de dwarsverbinding luidsprekers aan opdat er ingesproken instructies aan de vluchtenden gegeven kunnen worden.

12 Ventilatie

12.1 Algemeen

Ventilatie heeft tot doel gassen, rook en warmte uit de tunnel te verwijderen. Ventilatie kan in principe zowel uit natuurlijke als uit mechanische ventilatie bestaan.

Ventilatie heeft invloed op:

- de emissieconcentratie (binnen en buiten de tunnel);
- de vluchtmogelijkheden van weggebruikers bij brand;
- de hulpverleningsmogelijkheden bij brand.

Omdat voor ventilatie brand over het algemeen maatgevend is hebben onderstaande richtlijnen, met uitzondering van richtlijn nummer 1, voornamelijk betrekking op de situatie bij brand.

Voor een uitgebreide toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

1. Betrek bij tunnels langer dan 2000m het verontreinigingscriterium bij de keuze van het type en de capaciteit van het ventilatiesysteem.

Bij lange tunnels kan het verontreinigingscriterium maatgevend worden. Hierbij spelen uiteraard de samenstelling en intensiteit van het verkeer een belangrijke rol (zie ook hoofdstuk 14).

2. Bij gesloten constructies korter dan 250m is geen (mechanische) ventilatie nodig. Hierbij hoort wel een goede set van vluchtvoorzieningen conform hoofdstuk 11.

De natuurlijke ventilatie naar de uiteinden wordt bij gesloten constructies korter dan 250m voldoende geacht. De rook en gassen zullen zich langs het plafond naar buiten verplaatsen. Onder de rooklaag is, afhankelijk van de grootte van de brand, gedurende kortere of langere tijd vluchten mogelijk. Als gevolg hiervan blijft het groepsrisico beperkt. Stagnerende luchttoevoer naar de brand is gezien de korte afstanden naar de buitenlucht vrijwel uitgesloten. Met of zonder windinvloed hoeft de rook een korte afstand af te leggen naar de open lucht waar hij verder kan opstijgen en zal vermengen met de buitenlucht.

3. Bij gesloten constructies langer dan 500m altijd ventilatievoorzieningen toepassen.

In lange gesloten constructies zonder ventilatie zal op zekere afstand van de brand rekening dienen te worden gehouden met het verloren gaan van de gelaagdheid van de rook als gevolg van de rookproductie op zich en het afkoelen en daarmee zwaarder worden ervan. Dit afkoelen wordt beïnvloed door het al dan niet aanwezig zijn van een hittewerende bekleding (isolerend effect). Bij stagnerende luchttoevoer kunnen onverbrande gasvormige restproducten van de brand elders in of buiten de tunnel weer tot ontbranding komen, met onbeheersbare verspreiding van de brand (en mogelijke explosies) tot gevolg.

4. Maak bij gesloten constructies met een lengte van meer dan 250m maar minder dan 500m een afweging op basis van een analyse van het ontwerp met en zonder ventilatievoorzieningen. Maak deze afweging duidelijk aan de beleidsbeslissers en kom in gezamenlijk overleg tot een keuze.

Dit kan door het uitvoeren van:

- een kwantitatieve risicoanalyse en het daarmee bepalen van het risico;
- een scenarioanalyse en het daarmee beoordelen van de ongevalsituatie met brand op de mate van zelfredzaamheid en op hulpverlening; een groter aantal vluchtvoorzieningen dan gebruikelijk kan er bijvoorbeeld toe leiden dat ventilatie achterwege kan blijven.

Bepaal aan de hand hiervan de veiligheidswinst en zet deze af tegen de vereiste meerkosten. Bedenk daarbij dat, bij mechanische ventilatie, de voorzieningen niet beperkt blijven tot het ventilatiesysteem op zich, maar er ook elektrische voedingssystemen alsmede detectie- en besturingssystemen nodig zijn en een zekere vorm van bewaking.

12.2 Ontwerp ventilatiesysteem

5. Natuurlijke ventilatie via gedeeltelijk open constructies boven de weg (hierbij kan worden gedacht aan lamellen, roosters of openingen) wordt als voldoende beschouwd wanneer de hoeveelheid rook van de maximaal verwachte brand onder deze constructie probleemloos kan worden afgevoerd zonder dat rook zich in eventuele aansluitende gesloten tunneldelen kan verspreiden.
6. Bij het toepassen van mechanische ventilatie in tunnelbuizen met in de normale situatie éénrichtingsverkeer uitgaan van langsventilatie. Houdt echter rekening met de kans op filevorming.

Langsventilatie zorgt voor het vrijhouden van de ruimte stroomopwaarts van de brand van rook, toxische stoffen en te hoge temperaturen om daarmee het vluchten van gestrande automobilisten mogelijk te maken en de brandzone bereikbaar te maken/houden voor brandweer en overige hulpdiensten. Tevens zorgt langsventilatie voor een goede luchttoevoer naar de brandhaard.

Bij groter wordende verkeersintensiteiten en tunnallengte neemt de kans toe, dat benedenstrooms van een (ongeval met) brand reeds een file staat; hetzij als gevolg van een primair ongeval, dan wel als gevolg van filevorming in met name zeer drukke gebieden. In dat geval zal in het bijzonder de situatie op zelfredzaamheid moeten worden geanalyseerd en/of zullen er maatregelen dienen te worden genomen om te voorkomen dat een file benedenstrooms buiten de tunnel aangroeit tot in de tunnel.

Als alternatief voor langsventilatie zou men in dat geval kunnen denken aan de toepassing van dwarsventilatie, doch voorzichtigheid is hier geboden met het oog op de maximale capaciteit van rookafvoer en de betrouwbaarheid van een dergelijk systeem. Een betrouwbaarder mogelijkheid is dan wellicht het creëren van tussenopeningen (de relatief lange tunnel in kortere stukken 'knippen').

7. Bij het ventilatieontwerp en de berekening van de ventilatiecapaciteit dient rekening te worden gehouden met:
 - de grootte van de brand;
 - de plaats van de brand (bepalend voor het aantal effectief werkende ventilatoren en de effectiviteit van de ventilatoren);
 - de invloed van de wind (windrichting en windsnelheid);
 - de stromingsweerstand ten gevolge van aanwezige voertuigen;
 - de invloed van de langshelling op het rookgedrag.
8. Voor een langsventilatiesysteem dient te worden aangetoond dat:
 - de kans op technisch falen kleiner is dan $20 \cdot 10^{-3}$ per aanspraak;
 - de kans op systeem falen, voor elk van de aangegeven brandvermogens, kleiner is dan de in onderstaande tabel aangegeven waarden.

Brandvermogen	Minimale langssnelheid	Faalkans systeem falen
20 MW	1,8 m/s	1×10^{-3}
50 MW	2,25 m/s	5×10^{-3}
100 MW	2,5 m/s	15×10^{-3}
200 MW	2,5 m/s	50×10^{-3}

Onder *technisch falen* wordt in dit verband verstaan het falen van de ventilatie door bijvoorbeeld storing in de elektrische voeding, stroomuitval, defect zijn van ventilatoren of het besturingssysteem. De kans op technisch falen is bij moderne tunnels circa 15×10^{-3} per aanspraak¹⁵.

Onder de *faalkans* voor systeem falen wordt in dit verband verstaan: de kans dat de minimale langssnelheid niet wordt gehaald. De aangegeven minimale langssnelheid is de snelheid waarbij backlayering (het terugstromen van rook tegen de ventilatierichting in) wordt tegengegaan.

Bij de berekening van de faalkans voor systeem falen behoeft de kans op technisch falen niet mee te worden gerekend.

Indien geen vrachtverkeer tot de tunnel wordt toegelaten mag de berekening voor brandvermogens groter dan 20MW achterwege worden gelaten.

Met de uitval van ventilatoren of verminderde werking van ventilatoren ten gevolge van de brand behoeft alleen rekening te worden gehouden gedurende de eerste 60 minuten van de brand.

9. Bij toepassing van mechanische ventilatie dient te worden voorkomen dat rook vanuit de buis, waarin de brand zich bevindt, in andere buizen terecht kan komen. Bij toepassing van langsventilatie dient daarom de ventilatierichting gedeeltelijk omkeerbaar te zijn.

Voor gedetailleerde ontwerpspecificaties wordt verwezen naar het handboek "[Aanbevelingen ventilatie van verkeerstunnels](#)", december 2005, ISBN 90-369-0001-8, uitgegeven door het Steunpunt Tunnelveiligheid (zie www.tunnelsafety.nl)

10. Het gemiddelde geluidsdrukniveau van een ingeschakeld ventilatiesysteem mag in een tunnelbuis niet meer bedragen dan 87 dB(A). Plaatselijk is een maximaal geluidsdrukniveau van 90 dB(A) toegestaan.

Een geluidsdrukniveau van 87 dB(A) is mogelijk op sommige locaties in de tunnelbuis niet haalbaar, bijvoorbeeld ter plaatse van een cluster ventilatoren. De kans dat iemand langdurig op dergelijke locaties verblijft is echter klein, zodat een plaatselijk hoger geluidsdrukniveau acceptabel is.

12.3 Civiele aspecten

11. Bij tunnels langer dan 250m dient het uitgangsportaal van een tunnelbuis tenminste 2 hydraulische diameters verder naar buiten te liggen dan het ingangsportaal van een naast gelegen tunnelbuis met tegengestelde rijrichting.

Een, minder goed, alternatief is het aanbrengen van een scheidingswand aansluitend op naast elkaar gelegen tunnelportalen met een hoogte die minimaal gelijk is aan de hoogte van eventuele zijwanden over een lengte van tenminste 2 hydraulische diameters.

12. Bij lange tunnels (gesloten deel > 2000m) met hoge verkeersintensiteiten onderzoek uitvoeren naar de temperatuurontwikkeling ten gevolge van het verkeer, indien toepassing van hittewerende bekleding wordt overwogen.

Uit oriënterende berekeningen is gebleken dat bij lange tunnels met hoge intensiteiten de temperatuur (zelfs bij voortdurende ventilatie) behoorlijk op kan lopen bij toepassing van hittewerende bekleding. Dit speelt vooral bij boortunnels waarbij de hittewerende bekleding op het gehele bovenste deel van de constructie (van wegdek tot wegdek) is aangebracht. Bij zinktunnels, waarvan de wanden niet worden voorzien van hittewerende bekleding, speelt dit een minder grote rol.

¹⁵ Rapport Risico analyse 400V/PLC-net Wijkertunnel, DHV, maart 1999

13 Communicatie

13.1 Algemeen

Voor een uitgebreide toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de toepassingsmogelijkheden voor communicatiesystemen bij verschillende objectlengtes en beheercondities. Voor wat betreft beheercondities wordt onderscheid gemaakt tussen bediende, bewaakte en onbewaakte gesloten constructies.

Lengte gesloten deel	verdiepte ligging	< 250m	< 250m		van 250 tot 500m		> 500m	
Beheercondities	geen bediening geen bewaking	geen bediening geen bewaking	Bewaking	Bediening	Bewaking	Bediening	Bediening	Toelichting
Communicatiesysteem								
CCTV-systeem	nee	nee	nee	ja	nee	ja	ja	
Noodtelefoons	nee	nee	nee	ja	ja	ja	ja	Bij tunnels langer dan 250m zijn hulpposten met o.a. noodtelefoons wettelijk verplicht ¹⁶
ANWB-meldtoestellen	optioneel	optioneel	optioneel	nee	Nee	nee	nee	optioneel afhankelijk van de lengte
HF-systeem	nee	ja	ja	ja	ja	ja	ja	aantonen bij lengte < 180m
Luidspreker-systeem	nee	nee	nee	ja	nee	ja	ja	
Objectgebonden telefoonsysteem	ja	ja	ja	ja	Ja	ja	ja	bij aanwezigheid technische ruimte
Mobiele telefonie voor weggebruikers	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee	alleen ondersteuning providers in tunnelbuizen

13.2 Communicatie systemen

1. Pas bij bediende tunnels een CCTV-systeem toe.

Bij tunnels langer dan 500m is aansluiting op een bedieningscentrale wettelijk verplicht, evenals een voorziening voor permanente videobewaking (Barvw, art. 9).

Een CCTV-systeem is van belang voor de visuele waarneming van de operator (wegverkeersleider) en levert bij calamiteiten belangrijke informatie. Afhankelijk van de mate waarin sprake is van een risicovolle combinatie van lengte, verkeersdichtheid en categorie, gaan de beelden naar een verkeerscentrale (hoog attentieniveau) of naar een (politie)meldkamer (verlaagd attentieniveau).

2. Camera's dienen een zodanige uitvoering en opstelling te hebben dat voldoende beeldresolutie ontstaat en een goed overzicht van de situatie aan de operator wordt geboden.

¹⁶ Zie Regeling Bouwbesluit, art. 5.39 en art. 5.41 (eisen m.b.t. onderlinge afstanden hulpposten bij tunnels langer dan 250m) resp. Barvw, art. 8 (eis aanwezigheid noodtelefoon in hulppost)

Voertuigen, personen en objecten moeten kunnen worden waargenomen en de kans op afscherming door vrachtwagens dient te worden beperkt. Het overlapgebied tussen opeenvolgende camerabeelden dient voldoende groot te zijn. Camera's voor verkeersobservatie dienen draaibaar en zoombaar te zijn. Ook worden camera's gebruikt voor het detecteren van voertuiggedrag, te hoge voertuigen en voertuigtelling door middel van imageprocessing. Er dient een goede afstemming te zijn op de individuele eisen van dergelijke toepassingen.

3. Pas bij tunnels langer dan 250m een noodtelefoonsysteem toe.

Noodtelefoons zijn van belang bij het melden van een ongeval en stellen de operator (wegverkeersleider) in staat aanwijzingen te geven. Noodtelefoons zijn in ieder geval aanwezig in de hulpposten (Barvw, art. 8); deze worden voorzien van een handset. Indien noodtelefoons nodig zijn langs het tunneltracé, daar waar zich geen hulpposten bevinden, is een goede herkenbaarheid voor de weggebruiker van belang. Het is zaak om deze (handsfree) noodtelefoons te onderscheiden van ANWB-meldtoestellen, daartoe worden ze ondergebracht in een aangepaste uniforme behuizing.

4. Aan noodtelefoons dienen hoge eisen voor spraakverstaanbaarheid te worden gesteld, immers het geluidsniveau in een tunnel en langs de open weg kan zeer hoog zijn. Het toepassen van 'noise-cancelling' is hierbij een eerste vereiste.

Het systeem dient in staat te zijn om een full-duplex spreekverbinding tot stand te brengen terwijl verkeer langsrijdt, maar ook als het ventilatiesysteem is ingeschakeld. De prestatie-eisen zijn gedefinieerd in een IEC-norm en uitgedrukt in STI: Speech Transmission Index. De STI-waarde bedraagt 0,6 waarbij de spreekafstand is gedefinieerd: 100mm voor de handset en 250mm voor het handsfree toestel.

5. Het noodtelefoonsysteem dient in staat te zijn om binnen enkele seconden een verbinding tot stand te brengen met de operator, waarbij het verwerken van meerdere oproepen mogelijk dient te zijn.
6. Overweeg de toepassing van ANWB-meldtoestellen in of nabij (on)bewaakte gesloten constructies en verdiepte liggingen.

Een ANWB-meldtoestel is van belang bij het melden van een ongeval en stelt de centralist in staat aanwijzingen te geven. De posities inpassen in het ANWB-praatpalennet. Bij toepassing in verdiepte liggingen een meldtoestel situeren in het diepste punt. Bij toepassing in gesloten constructies één meldtoestel bij voorkeur vlak voor het ingangsportaal. Bij toepassing in gesloten constructies de toestellen in de nabijheid van eventuele vluchtdeuren situeren. Door gebruik te maken van de eerdergenoemde noodtelefoons, wordt het aanbrengen van grote verdiepte nissen voorkomen. De ANWB-meldtoestellen dienen te voldoen aan dezelfde eisen voor spraakverstaanbaarheid als gesteld voor de noodtelefoons.

7. Pas bij gesloten constructies een HF-systeem toe indien deze door hun afmetingen en (geografische) ligging een afscherming van de 'ether' vormen. Bij een tunnallengte groter dan 500m is een HF-systeem wettelijk verplicht (Barvw, art. 11, lid 2).

Een HF-systeem is noodzakelijk voor draadloze communicatie en maakt het tevens mogelijk instructies te geven aan weggebruikers. Een HF-systeem dient voor de communicatie door RWS-diensten, hulpdiensten en het uitzenden van enkele FM-radiozenders, ongeacht de aard van het object, bediend, bewaakt of onbewaakt. Bij een tunnallengte van minder dan 180m is een HF-systeem doorgaans niet nodig; daarom bij een tunnallengte minder dan 180m pas een HF-systeem toepassen als de noodzaak is gebleken uit een veldsterkteonderzoek.

8. Een inspreekmogelijkheid op het HF-systeem dient te worden toegepast bij bediende tunnels. [De mededelingen worden ten minste in het Nederlands en het Engels gedaan \(Barvw, art. 11, lid 3\).](#)

Het dient mogelijk te zijn op de FM-kanalen in te spreken door de operator (wegverkeersleider) of ingesproken boodschappen te gebruiken, mede op basis van RDS-codering. Op dit moment worden slechts 3 FM-zenders doorgegeven. Het aantal bereikbare weggebruikers met 'oude' radio-ontvangers is daardoor beperkt.

9. Een HF-systeem dient in staat te zijn een grote groep gebruikers toe te laten.

Iedere gebruiker beschikt over een deel van de frequentieband en werkt hierin met een of meer kanalen. Op dit moment wordt gebruik gemaakt van de FM-band voor radio-ontvangst in auto's, de VHF-band voor brandweer en ambulancedienst en de UHF-band voor politie en RWS-diensten. In de toekomst zal de VHF-band verdwijnen en krijgt C2000 een plaats in de UHF-band. Vanwege een flexibel gebruik van kanalen en een storingsvrije werking voor meerdere gebruikers is een hoge selectiviteit vereist.

10. Een HF-systeem dient geschikt te zijn voor de portofoonverbinding tussen twee tunnelbuizen de zogenaamde 'buis-buis communicatie'.
11. Bij gedeeltelijke vernietiging van de HF-tunnelantenne, bijvoorbeeld door brand, dient het resterende deel te blijven werken en mag geen sprake zijn van functieverlies van het achterliggende systeem.
12. Pas in bediende tunnels een luidsprekersysteem toe, [zowel in de tunnelbuizen als in de vluchtweg \(de rookvrije vluchtroute als bedoeld in afd. 2.18 van het Bouwbesluit 2003\).](#)

Bij tunnels langer dan 500m is aansluiting op een bedieningscentrale wettelijk verplicht (Barvw, art. 9), evenals de toepassing van een luidsprekersysteem (Barvw, art. 11, lid 2). Een luidsprekersysteem kan gebruikt worden voor het geven van instructies aan weggebruikers door de operator. Een luidsprekersysteem heeft alleen zin als de operator zicht heeft op de situatie in de tunnel en gericht kan spreken en gaat daarom altijd vergezeld van een CCTV-systeem.

13. Luidsprekersystemen dienen te voldoen aan een hoge mate van spraakverstaanbaarheid onder uiteenlopende omstandigheden. [De mededelingen worden ten minste in het Nederlands en het Engels gedaan \(Barvw, art. 11, lid 3\).](#)

De akoestiek in een tunnel is van belang in verband met het aantal storende geluidsbronnen zoals verkeer en ventilatoren. Het systeem dient in staat te zijn personen toe te spreken terwijl verkeer langsrijdt, maar ook als het ventilatiesysteem is ingeschakeld. De prestatie-eisen zijn uitgedrukt in de STI-waarde: 0,45 (80%-waarde) en 0,35 (20%-waarde). Het geluidsniveau van de luidsprekers niet hoger laten zijn dan 105 dB(A) op gemiddelde luisterhoogte. Met behulp van de zogenaamde Ray-tracing methode¹⁷ is het mogelijk om in een vroegtijdig stadium het systeemontwerp te definiëren. Gesproken boodschappen bij stressvolle omstandigheden dienen te zijn voorgeprogrammeerd, waardoor het mogelijk is de juiste bewoordingen en een goede spraakverstaanbaarheid na te streven. Het gebruik van meerdere talen verdient aanbeveling.

14. Pas bij technische ruimten een objectgebonden telefoonsysteem toe.

Een objectgebonden telefoonsysteem is nodig voor beheer en onderhoud in gebouwen en andere technische ruimten. Een dergelijk telefoonsysteem dient te worden toegepast, ongeacht de aard van het object, bediend, bewaakt of onbewaakt.

¹⁷ Een rekenmodel is inmiddels ontwikkeld.

Dit systeem bestaat uit een centrale, aangesloten op het openbaar telefoonnet en vaste toestellen in alle technische ruimten. Het waarborgen van wederzijdse bereikbaarheid van onderhoudstechnici en toezichthouders vereist aanvullende voorzieningen voor mobiele telefoontoestellen.

15. Verleen medewerking aan providers voor het aanbrengen van voorzieningen ten behoeve van mobiele telefonie.

Mobiele telefonie voor weggebruikers is om commerciële redenen gewenst voor gebruik door de weggebruiker in de tunnelbuizen.

Aangezien mobiele telefonie sterk is toegenomen, willen providers ook verkeerstunnels in de dekking betrekken. Het is uit het oogpunt van commerciële verantwoordelijkheid consequent dat de provider zelf voorziet in de benodigde apparatuur.

In het kader van veiligheid kan dit medium niet van primair belang worden beschouwd, aangezien de operator ([wegverkeersleider](#)) hiermee niet snel en direct wordt bereikt.

Hoewel zeer veel meldingen van ongevallen geschieden met mobiele telefoons, is de waarde daarvan als primaire melding in een tunnel betrekkelijk. De moeilijkheid is de oriëntatie van de beller: welke buis en op welke plaats¹⁸.

Ondanks dat wordt de aanleg van voorzieningen voor mobiele telefonie ondersteund.

¹⁸ Technologische ontwikkelingen kunnen hier op termijn tot verbetering leiden.

14 Detectie van gevaarlijke situaties

14.1 Algemeen

Voor een uitgebreide toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

14.2 Toepassingsmogelijkheden

Tabel 14.1 geeft de relatie tussen verschillende typen constructies, ingedeeld naar lengte, bediend of bewaakt, met of zonder ventilatie en de bijbehorende detectiesystemen.

1. Voor tunnels langer dan 10km dient een afweging te worden gemaakt over het wel of niet toepassen van een zichtmeting voor het bepalen van de zichtcondities. Bij toepassing van een zichtmeting dient deze bij (te) lage zichtwaarden automatisch de ventilatie aan te sturen.

Detectie van zichtcondities is zinvol in tunnels waar kans op vorming van te hoge concentraties uitlaatgassen, stof en mist aanwezig is. Alleen bruikbaar in combinatie met een ventilatiesysteem en/of een waarschuwingssysteem voor slecht zicht (waarschuwing weggebruikers). Deze zichtmeting is te combineren met de zichtmeting die bedoeld is onder punt 2 en/of 4.

2. Bepaal, bij tunnels met mechanische ventilatie, of een meetsysteem dient te worden toegepast voor het bepalen van de NO₂ concentratie. Bij (te) hoge concentraties NO₂ dient dit systeem automatisch de ventilatie aan te sturen.

Toepassing is zinvol in tunnels waar kans op vorming van te hoge NO₂-concentraties aanwezig is (de lengte en de verkeersintensiteit spelen hierbij een rol). Alleen bruikbaar in combinatie met een ventilatiesysteem.

Vroeger was het alleen mogelijk om de NO₂-concentraties indirect te bepalen, op basis van zichtmeting. Deze methode is echter niet nauwkeurig genoeg. Tegenwoordig zijn betrouwbare systemen beschikbaar om de NO₂-concentraties rechtstreeks te meten.

3. Bij toepassing van een meetsysteem voor de NO₂-concentratie de volgende schakelgrenzen hanteren:

- concentratie 0,6 ppm: ventilatie UIT schakelen;
- concentratie 0,8 ppm: ventilatie IN schakelen.

Deze waarden gelden per concentratiemeter, dus als één concentratiemeter de aangegeven grens passeert dient de betreffende actie te worden uitgevoerd.

4. Bepaal, aan de hand van hoofdstuk 10, of een systeem voor snelheidsdiscriminatie/snelheidsonderschrijding dient te worden toegepast.

De detectie van verschillen en onderschrijding van voertuigsnelheden (SDS/SOS) is zinvol voor bediende tunnels en zeer doeltreffend door de vroegtijdige signalering van afwijkend verkeersgedrag bij pech en ongeval, waardoor anticiperen door de tunneloperator (wegverkeersleider) mogelijk is.

Alleen effectief in combinatie met camera's, eventueel aangevuld met luidsprekers, afhankelijk van de noodzaak tot vluchtinstructies.

Niet zinvol voor uitsluitend bewaakte tunnels, door het ontbreken van de mogelijkheid van anticiperen.

5. Pas bij bediende tunnels een zichtmeting toe voor de detectie van rook.

De detectie van rook, als mogelijke indicatie van brand in een vroegtijdig stadium, is zinvol aangezien anticiperen door de tunneloperator mogelijk is.

Deze zichtmeting is te combineren met de zichtmeting die bedoeld is onder punt 1 (en/of 2, in bestaande tunnels die nog niet beschikken over een meetsysteem om de NO₂-concentraties rechtstreeks te meten). Potentieel kan zichtmeting worden gebruikt als branddetectie met automatische doormelding naar de brandweer¹⁹.

6. Bij toepassing van een zichtmeting de volgende schakelgrenzen hanteren:
- $k < 0,004/m$ ventilatie UIT schakelen (zicht is goed);
 - $k > 0,009/m$ ventilatie IN schakelen (slecht zicht);
 - $k > 0,012/m$ attentiesignaal naar operator (wegverkeersleider) en ventilatie IN schakelen (in feite dus een extra startcommando voor de ventilatie);
 - $k > 0,020/m$ alarm naar operator en ventilatie IN schakelen (in feite dus een extra startcommando voor de ventilatie) en de tunnel (al dan niet automatisch) afsluiten.
- Deze waarden gelden per zichtmeter, dus als één zichtmeter de aangegeven grens passeert dient de betreffende actie te worden uitgevoerd.

Indien nog gebruik wordt gemaakt van zichtmeting om de NO₂-concentraties te bepalen, dan moet een inschakelwaarde van $k = 0,007$ (NO₂ gehalte te hoog) worden gehanteerd. Deze inschakelwaarde dekt de inschakelwaarde voor slecht zicht ($k = 0,009$) dan af. Bij $k = 0,012$ is het zicht dermate slecht dat aanvullende maatregelen gewenst zijn, zoals afsluiten van de betreffende tunnelbuis of het gedoseerd toelaten van verkeer. Bij $k = 0,020$ is de kans groot dat er sprake is van brand. De operator dient daarom te worden gealarmeerd en direct te onderzoeken of er inderdaad sprake is van brand.

7. Overweeg de toepassing van temperatuurmeting voor de detectie van brand.

De detectie van brand is optioneel voor uitsluitend bewaakte tunnels en bij groot economisch belang van het object, als primaire detectie met de mogelijkheid tot doormelding naar de brandweer.

Optioneel voor bediende tunnels als aanvullende maatregel om een brand te lokaliseren en te observeren, daar waar gebruik van camera's tekort schiet. Ook bruikbaar om ventilatiesystemen te sturen in relatie met hulpverlening en schadebeperking.

8. Overweeg de toepassing van een detectiesysteem voor explosiegevaarlijke gassen.

De detectie van explosiegevaarlijke gassen is niet zinvol als veiligheidsvoorziening voor de weggebruiker. In bepaalde gevallen te overwegen als aanvullende veiligheidsvoorziening voor de hulpdienst.

¹⁹ Dit zal nader worden onderzocht.

Tabel 14.1 Toepassing detectiemiddelen

Lengte gesloten deel	< 250m	< 250m		van 250 tot 500m			>500m	Toelichting
	Beheer- condities	zonder ventilatie	zonder ventilatie	zonder ventilatie	met ventilatie	met ventilatie		
Detectie Van	geen bediening geen bewaking	bewa- king	bedie- ning	bewa- king	bedie- ning	Bedie- ning	Bedie- ning	
Zichtcondities d.m.v. zichtmeting	nee	Nee	nee	nee	nee	nee	nee	wellicht nodig bij tunnallengte >10km
NO ₂ bepaling d.m.v. meten	nee	Nee	nee	nee	optioneel	ja	ja	Optioneel: toepassing heeft zin bij waarschuwingssysteem voor slecht zicht (om weggebruiker te informeren)
Voertuiggedrag d.m.v. SDS/SOS	nee	Nee	optioneel	nee	ja	ja	ja	optioneel bij grote economische waarde en hoog bedrijfsrisico
Rook d.m.v. zichtmeting	nee	Nee	ja	nee	ja	ja	ja	
Brand d.m.v. temperatuurmeting	nee	optioneel	optioneel	optioneel	optioneel	optioneel	optioneel	optioneel als compenserende maatregel
Brand d.m.v. warmtestraling	nee	Nee	nee	nee	nee	nee	nee	slecht mogelijk door tunnelhoogte
Explosiegevaarlijke gassen t.b.v. de weggebruiker	nee	Nee	nee	nee	nee	nee	nee	geen trefzekerheid
Explosiegevaarlijke gassen t.b.v. de hulpdienst	nee	optioneel	optioneel	optioneel	optioneel	optioneel	optioneel	afhankelijk van optreden hulpdienst
Giffige gassen t.b.v. de weggebruiker	nee	Nee	nee	nee	nee	nee	nee	geen trefzekerheid
Giffige gassen t.b.v. de hulpdienst	nee	Nee	nee	nee	nee	nee	nee	brandweer gebruikt eigen apparatuur

Wettelijk moet een tunnel langer dan 500m zijn aangesloten op een bedieningscentrale, met een voorziening voor permanente videobewaking en een automatische detectie van ongevallen of van brand (Barvw, art. 9). Met de detectiemiddelen conform tabel 14.1 wordt aan deze eis voldaan.

15 Brandbestrijding

15.1 Algemeen

Bij permanent aangebrachte brandbestrijdingsmiddelen, beschreven in dit hoofdstuk, wordt onderscheid gemaakt tussen:

- voorzieningen voor de weggebruikers;
- voorzieningen voor de brandweer;

Voor een uitgebreide toelichting wordt verwezen naar de bijlage. Voor hulpposten wordt verwezen naar hoofdstuk 17.

1. In zijwaarts gesloten constructies in principe geen voorzieningen toepassen.

Wel rekening houden met de bereikbaarheid van open water (zie hoofdstuk 11).

2. Voor gedeeltelijk gesloten constructies geldt:

- In principe geen voorzieningen voor weggebruikers nodig. Bij objecten van groot economisch belang en daar waar toepassing voor de hand ligt (zoals bij een gedeeltelijk gesloten constructie aansluitend aan een tunnel) wordt het aanbrengen van [draagbare brandblusapparaten](#) aanbevolen, mits er sprake is van bewaking.
- In principe geen voorzieningen voor brandweer nodig. Als de bereikbaarheid van open water erg moeilijk is kunnen plaatselijk verticale standleidingen of doorvoeringen een oplossing bieden.

3. Voor gesloten constructies geldt:

Voorzieningen weggebruikers					
Gesloten lengte	< 250m	100 - 250m	250 - 500m		> 500m
Voorwaarde	niet bediend	bediend	geen mechanische ventilatie	mechanische ventilatie	mechanische ventilatie
Draagbare brandblusapparaten	Alleen bij bewaakt object van groot economisch belang (uitzondering)	Ja, h.o.h. maximaal 100m	Ja, h.o.h. maximaal 100m	Ja, h.o.h. maximaal 60m indien combinatie met slanghaspels, anders h.o.h. maximaal 100m	
Slanghaspels	Nee	Nee	Nee	Bij constructies van groot economisch belang, h.o.h. maximaal 60m	

Voorzieningen brandweer				
Gesloten lengte	< 100m	100 - 250m	250 - 500m	> 500m
Distributieleiding met brandkranen	In principe niet. Waar nodig kunnen plaatselijk verticale standleidingen of doorvoeringen uitkomst bieden.		Ja, Brandkranen h.o.h. maximaal 100m	Ja, Brandkranen h.o.h. maximaal 100m
Drukverhoging geschikt voor brandweercapaciteit	Nee	Nee	Optie	Optie
Intern Reservoir	Nee	Nee	Optie	Optie
Externe watervoorziening	Nee	Optie	Ja	Ja

15.2 Voorzieningen voor de weggebruikers

4. **Draagbare brandblusapparaten** zodanig uitvoeren dat de bediening logisch is en aansluit bij het denkpatroon van ongeoefende gebruikers. De **draagbare brandblusapparaten** dienen, afgezien van de wettelijk vereiste opschriften, tevens te worden voorzien van korte en duidelijke aanduiding betreffende het gebruiksdoel (zie hoofdstuk 17). **Draagbare brandblusapparaten** dienen gemakkelijk uit de hulppost te kunnen worden genomen en dienen zonodig van extra handgrepen te zijn voorzien. De bluscapaciteit dient tenminste 27A/183B te zijn. Het maximale totale gewicht van de blusser dient niet meer dan 16 kg te zijn. Bij voorkeur sproeischuimblussers toepassen.
5. Maak een afweging voor toepassing van slanghaspels bij constructies van groot economisch belang die zijn voorzien van mechanische ventilatie. In constructies zonder mechanische ventilatie geen slanghaspels toepassen.
Bij toepassing van slanghaspels dient de afstand tussen de slanghaspels niet groter te zijn dan de lengte van de slang (maximaal 60m).
6. In hulpposten met slanghaspels ook altijd een **draagbaar brandblusapparaat** aanbrengen.
7. Aan slanghaspels altijd schuimvormend middel toevoegen, bij voorkeur vlak voor de haspel.

Om ook vloeistofbranden effectief te kunnen bestrijden. De tijd waarin aan een slanghaspel schuimvormend middel wordt toegevoegd mag beperkt zijn. De gedachte hierbij is, dat de brandweer na gemiddeld circa 15 minuten aanwezig is en vervolgens een beperkte tijd nodig heeft om zijn eigen blusmiddelen in stelling te brengen. Met enige reserve in tijd leidt dit tot het advies tenminste 25 minuten lang schuimvormend middel te kunnen toevoegen.

8. Het uitnemen van de spuitmond dient de brandbluspompen automatisch in te schakelen.
9. Teneinde weggebruikers de gelegenheid te geven vanaf enige afstand een brand te blussen dient de worpafstand, zoals gedefinieerd in **NEN-EN 671-1**, bij spuiten met een gebonden straal bij een tegenwind van 3 Beaufort tenminste 14 meter te zijn.
10. De maximale reactiekracht dient bij het openen van de spuitmond bij weggebruikers niet tot schrikreacties of uit de hand slaan te leiden. Bij een reeds geopende spuitmond dient de kracht begrensd te zijn opdat ongeoefende gebruikers ermee kunnen werken.

Aanbevolen reactiekrachten zijn: bij het openen niet meer dan 120N, bij continu geopende spuitmond niet meer dan 90 N.

11. De distributieleiding voor slanghaspels dient altijd gevuld te zijn met schoon water om een directe beschikbaarheid te garanderen.

Als een distributiesysteem voor slanghaspels normaal droog zou zijn duurt het enige tijd voordat een slanghaspel water gaat geven. Een niet-deskundige gebruiker die niet bekend is met de situatie (en dat zijn in principe alle weggebruikers) legt de slang dan al gauw weg en onderneemt verder geen bluspogingen meer. Dit is ongewenst.

15.3 Voorzieningen voor de brandweer

12. Bij een brandblussysteem bestaande uit een distributiesysteem, zo nodig aangevuld met een voorziening voor drukverhoging en watervoeding, rekening houden met het volgende:

Distributie:

- Indien slanghaspels worden toegepast, dan de leidingen voor de slanghaspels en voor de distributie voor de brandweer combineren tot één natte leiding met voldoende capaciteit voor de brandweer. De positie van de brandkranen combineren met de positie van de slanghaspels;
- Een distributieleiding uitsluitend bedoeld voor de brandweer mag droog worden uitgevoerd, mits de vultijd minder dan 10 minuten bedraagt;
- [Een droge blusleiding dient te voldoen aan de NEN 1594 \(Regeling Bb, art. 5.43\)](#);
- De distributieleiding voorzien van een suppletieaansluiting voor de brandweer.

Drukverhoging:

- voor slanghaspels zijn altijd vaste pompen noodzakelijk omdat er een verbreektank nodig is, doch deze pompen hoeven niet de capaciteit te hebben van de brandbluspompen voor de brandweer;
- het op druk brengen van het blussysteem voor de brandweer geschiedt in principe door middel van de pompen op een brandweerwagen buiten de tunnel;
- vast opgestelde brandbluspompen toepassen indien één of meer van de volgende punten van toepassing is:
 - de beschikbare personeelsinzet en de hulpmiddelen van de plaatselijke brandweer zijn niet toereikend;
 - het opstellen van een mobiele pomp inclusief voorzieningen kost meer dan 10 minuten;
 - er is een natte distributieleiding vereist.

Watervoeding:

- bij slanghaspels is vanwege de toevoeging van een schuimvormend middel een verbreektank noodzakelijk;
- ten behoeve van brandweervoorzieningen kiezen uit waterleiding (indien voldoende capaciteit en druk beschikbaar is), oppervlaktewater (indien de waterkwaliteit toelaatbaar is), een geslagen bron nabij de tunnel (mits voldoende capaciteit kan worden geleverd) en een speciaal gebouwd reservoir bij of in de tunnel.

13. Als het kunstwerk van groot economisch belang is dient een afweging te worden gemaakt voor de eventuele aanleg van een permanente drukverhogingsinstallatie en waterreservoir.
14. Alle voedingspunten dienen op een centrale leiding te zijn aangesloten.
15. Als het bij gedeeltelijk gesloten constructies niet mogelijk is te spuiten door de openingen in het dak respectievelijk slangen door de openingen te voeren vanwege de constructie (de beperkingen in bereikbaarheid en dergelijke), dienen op wegdek niveau bluswatertappunten aanwezig te zijn. Hierbij geldt de overweging dat de brandweer in maximaal 10 minuten de benodigde slangen en aansluitingen dient te kunnen realiseren.
16. Elk voedingspunt voorzien van een brandkraan.

17. Op elk voedingspunt dient naar keuze te kunnen worden aangesloten:

- een handstraalpijpsset of een brandslang;
- een verdeelstuk conform NEN 3374, waarop twee handstraalpijpssets of brandslangen kunnen worden aangesloten;
- een waterkanon;
- (een brandweerwagen).

Een waterkanon heeft altijd 2 voedingspunten en dient dus met 2 slangen te worden aangesloten. Dit is mogelijk door hetzij de enkelvoudige aansluitingen in twee hulpposten te gebruiken (heeft de voorkeur) hetzij door in een hulppost de mogelijkheid te bieden beide slangen door middel van een verdeelstuk met kranen aan te sluiten.

16 Kabels en leidingen

16.1 Algemeen

In tunnels zijn kabels en leidingen aanwezig voor elektrische voeding en/of sturing van apparatuur respectievelijk voor toevoer en afvoer van water. Het tunnelbedrijf is afhankelijk van deze verbindingen.

1. Kabels en leidingen zoveel mogelijk onderbrengen in centraal gelegen kabeltracés (in kabelgoten of op ladderbanen). Voorzover mogelijk kabeltracés buiten de verkeersruimte aanbrengen.

Gezien de kwetsbaarheid van kabeltracés binnen de verkeersruimte dient die locatie zoveel mogelijk te worden vermeden. Buiten de verkeersbuizen is de kwetsbaarheid van kabels en leidingen en daarmee de kwetsbaarheid van de aanhangende systemen aanzienlijk minder. Vanwege het minder agressieve milieu buiten de verkeersruimte kunnen lagere eisen worden gesteld aan kabelafdichtingen en kabeldraagsystemen dan binnen de verkeersruimte. Werkzaamheden kunnen veiliger en efficiënter worden verricht indien betreden van de verkeersbuis daarvoor niet noodzakelijk is.

2. Hoofdtracés dienen in principe onder alle omstandigheden te blijven functioneren. Aftakkingen dienen gelijkwaardig te zijn aan het apparaat dat door de aftakkingen wordt gevoed, dat wil zeggen indien blootgesteld aan extreme omstandigheden mag de voedingskabel geen aanleiding zijn tot vroegtijdig uitvallen van het apparaat indien dat aan dezelfde omstandigheden is blootgesteld.
3. Kabelkanalen en kabelkokers die een brandwerende wand of vloer doorsnijden moeten zodanig worden uitgevoerd dat de brandwering van de wand of vloer daardoor niet wordt verminderd.

16.2 Bereikbaarheid

4. Kabeltracés dienen bij voorkeur zodanig te worden gesitueerd dat zij bereikt kunnen worden:
 - zonder daarvoor de verkeersruimte te betreden;
 - zonder dat demontage of graafwerkzaamheden moeten worden verricht;
 - zonder dat deksels of andere beschermingsmiddelen moeten worden verwijderd;
 - zodanig dat inspectie op eenvoudige wijze kan plaatsvinden.
5. Kabeltracés die in een omgeving zijn gesitueerd waar de toegang tot het kabeltracé veel overlast aan de omgeving veroorzaakt (stedelijke omgeving, onder voetpaden, oversteken onder wegen), bij voorkeur onderbrengen in voor personen toegankelijke kabelkokers.
6. Kabeltracés dienen zodanig te zijn ingericht dat in de toekomst kabels en leidingen kunnen worden toegevoegd, verwijderd of gerepareerd zonder dat uitgebreide demontage en montage werkzaamheden noodzakelijk zijn.

De tracés dienen zodanig te zijn ingericht dat kabels zonder 'rijgen' direct uitgerold danwel opgenomen kunnen worden, dus kabeltracés voor zover mogelijk niet volledig laten omsluiten door bouwkundige constructies.

16.3 Ontwerpaspecten

7. Kabels die elkaar inductief kunnen beïnvloeden dienen zoveel mogelijk gescheiden of althans afgeschermd van elkaar te worden gelegd.

Zo verdient het aanbeveling kabels voor besturingssignalen gescheiden of afgeschermd te leggen van sterkstroom voedingskabels. Middenspannings- en hoogspanningskabels in driehoek aanbrengen én gescheiden of afgeschermd van overige kabels. Daarbij moet worden bedacht dat niet alleen inductieve beïnvloeding bij normaal bedrijf aanwezig kan zijn, maar vooral tijdens kortsluiting zeer sterke velden kunnen ontstaan.

8. Redundante kabelverbindingen dienen gescheiden van elkaar te worden aangebracht. De scheiding dient zo volledig mogelijk te zijn om de kans te vergroten dat bij totaal verlies van één kabel(tracé) het andere in gebruik blijft.

Een aantal kabelverbindingen binnen tunnels wordt zo belangrijk geacht dat zij redundant dienen te worden uitgevoerd, dat wil zeggen bij wegvallen van één verbinding kan diens functie volledig worden overgenomen door een andere. Voorbeelden van dit soort verbindingen zijn de hoofdvoeding en besturingskabels tussen, in separate gebouwen geplaatste, hoofdverdelingen en/of hoofdbesturingsunits.

9. Indien het niet mogelijk is om kabeltracés buiten de verkeersruimte aan te brengen, dient het kabeltracé zoveel mogelijk te worden beschermd tegen beschadiging door geweld van buitenaf en tegen brand.

Door het kabeltracé in de tunnelbuis buiten het profiel van vrije ruimte aan te brengen is het kabeltracé redelijk beschermd tegen aanrijding. Deze opstelling gaat ten koste van de toegankelijkheid. Tegen aantasting door brand is een kabeltracé binnen de tunnelbuis moeilijk te beschermen. Een zeer goede afscherming is door middel van betonnen wanden (bijvoorbeeld betonnen kabelgoot afgedekt met betonplaten). Deze uitvoering van het kabeltracé benadert die van een kabeltracé buiten de verkeersruimte, hetgeen veruit de voorkeur heeft. Afscherming door middel van een bekleding van hittewerende platen, is eveneens mogelijk.

Bij alle methoden van afscherming dient goede toegankelijkheid van het tracé uitgangspunt te zijn bij het ontwerp.

10. (Pijp)leidingen of delen daarvan, die binnen de verkeersbuis moeten worden aangebracht én moeten blijven functioneren tijdens brand, dienen van staal te zijn. Daarbij dienen alle materialen die noodzakelijk zijn voor het goed functioneren van de leiding eveneens bestand te zijn tegen de te verwachten, hoge temperaturen.
11. Op kwetsbare plaatsen het kabeltracé zodanig inrichten dat (gedeeltelijk) verlies van een kabel of leiding niet leidt tot volledig wegvallen van alle functies van het betreffende systeem.

Het meest kwetsbare deel van het kabeltracé is het deel binnen de verkeersruimte. Voor het voeden en sturen van installatiedelen binnen de verkeersruimte is het onvermijdelijk voedingskabels en sturingskabels binnen de verkeersruimte aan te brengen. Dit betreft bijvoorbeeld de voeding en sturing van verlichtingsarmaturen, ventilatoren, CCTV-camera's, detectiesystemen, signaalgevers, luidsprekers, [noodtelefoons](#), HF-apparatuur. Deze systemen zodanig inrichten en beveiligen dat storing of verlies in één tunnelbuis het bedrijf in de andere tunnelbuis niet beïnvloedt. Evenzo dient plaatselijke beschadiging en/of verlies van een kabel of leiding niet tot gevolg te hebben dat de gehele installatie, of alle functies van die installatie in één tunnelbuis buiten bedrijf gaat. Dit is te bereiken door het systeem in secties te verdelen die door middel van scheidings (schakelaars, afsluiters en/of beveiligingen) kunnen worden afgezonderd van het gemeenschappelijke hoofdaanvoerdeel van het systeem. Het gemeenschappelijke hoofdaanvoerdeel van een systeem, zoals hoofdaanvoerleidingen en onderverdeeldkasten, zo goed mogelijk beschermen tegen beschadiging en/of verlies. De lengte van een secties staat in relatie tot het minimaal handhaven van een veilig bedrijf in de tunnelbuis. Voor verlichtingssecties is dit bijvoorbeeld maximaal 150m.

12. Materiaaleigenschappen en uitvoering van draagsystemen voor kabels en leidingen dienen te worden afgestemd op de omgevingscondities.

Omgevingscondities in tunnelbuizen zijn zonder uitzondering zeer corrosief. De tunnelatmosfeer is sterk verontreinigd met agressieve stoffen zoals roet, zout, zwakke zuren en vocht. De combinatie van deze stoffen veroorzaakt sterke aantasting van alle apparatuur in de tunnelbuis en maakt speciale beschermende maatregelen (inerte materialen en zeer goede afdichtingen) noodzakelijk. In ieder geval wordt de levensduur van apparatuur verkort door plaatsing in de tunnelbuizen. De volgende materialen blijken in tunnelbuizen goed te voldoen:

- *aluminium in zeewaterbestendige kwaliteit (AlMgSi), gecoat;*
- *staal, thermisch verzinkt volgens NEN-ISO 1461, met een laagdikte van 80 micron en gecoat (duplexsysteem);*
- *bevestigingsmaterialen van roestvast staal;*
- *overige bevestigingsmaterialen van roestvast staal A4; eventueel van thermisch verzinkt staal, als de afmeting dit toelaat;*
- *ongewapende kunststoffen.*

Binnen de tunnelbuizen mogen geen gegalvaniseerde (elektrolytisch verzinkte) materialen worden toegepast, ook niet indien deze zijn gecoat.

13. Apparatuur in tunnelbuizen zodanig plaatsen en vormgeven dat ophoping van vuil en stof op de apparatuur wordt beperkt.
14. Kabels in kabeltracés altijd voorzien van een onverliesbare kabelnummering.
15. Kabelverbindingen en apparaatverbindingen binnen de verkeersruimte door middel van stekers zijn zeer storingsgevoelig en dienen voorzover mogelijk te worden vermeden.

17 Hulpposten

17.1 Algemeen

Het doel van een hulppost is: het in één ruimte onderbrengen van communicatie- en blusvoorzieningen ten behoeve van de weggebruiker en de hulpdiensten.

Voor de overwegingen met betrekking tot het toepassen van communicatiemiddelen wordt verwezen naar hoofdstuk 13 en voor brandbestrijdingsmiddelen naar hoofdstuk 15. Voor een algemene toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

17.2 Ontwerpaspecten

1. De afmetingen van de hulpposten afstemmen op de aan te brengen voorzieningen. Afhankelijk van de grootte van de hulppost wordt deze uitgevoerd met één of twee scharnierende deuren. De hulppost dient te worden ontgrendeld door de deurklink van de eerst openende deur naar beneden te draaien. De deuren met deurklink dienen te sluiten in de rijrichting. Hulpposten dienen te lood te zijn opgesteld.
2. Hulpposten dienen als zodanig herkenbaar te zijn.

De herkenbaarheid van een hulppost is voor een belangrijk deel afhankelijk van de mate van contrast met de omgeving. Deze wordt bevorderd door²⁰ :

- *het aanbrengen van deuren met doorzichtige vensters, waarbij de ondoorzichtige delen van de deuren rood (RAL 3000) zijn afgewerkt;*
 - *het aanbrengen van inwendige verlichting; hierbij dient het licht met voldoende helderheid door de hulppostdeuren heen te schijnen;*
 - *het aanbrengen van een rood kader (RAL 3000) om de hulppost (dit mag ook het kozijn betreffen);*
 - *het boven de bovenrand van de post aanbrengen van een intern verlicht pictogram²¹; het pictogram dient in langsrichting van twee zijden leesbaar te zijn; dit pictogram dient op een hoogte van 3,20m ten opzichte van het wegdek te worden aangebracht (gemeten van bovenkant asfalt tot onderzijde pictogram),*
3. Een hulppost onderverdelen in een deel ten behoeve van de weggebruiker en een technisch deel. Het deel met voorzieningen voor de weggebruikers aanbrengen achter de eerst openende deur. In het technisch deel de voorzieningen ten behoeve van de brandweer en/of het onderhoud aanbrengen.
 4. Alleen de voorzieningen ten behoeve van de weggebruiker dienen duidelijk herkenbaar te zijn en uit te nodigen om te gebruiken. De voorzieningen in het technisch deel (voor de brandweer en het onderhoud) dienen te worden afgeschermd. Hierdoor wordt voorkomen dat de weggebruiker wordt afgeleid van wat hij kan gebruiken (namelijk de [noodtelefoon](#), [het draagbare brandblusapparaat](#) of de slanghaspel). Omdat met een slanghaspel langer geblust kan worden dan met een [draagbaar brandblusapparaat](#) is het wenselijk dat, indien beide blusmiddelen beschikbaar zijn, de weggebruiker de slanghaspel gebruikt. Het is daarom wenselijk dat de slanghaspel meer opvalt dan [het draagbare brandblusapparaat](#).

Om bovenstaande te bevorderen dient het volgende in acht te worden genomen:

Afscherming technisch deel:

- *zo onopvallend mogelijk uitvoeren;*
- *in een onopvallende kleur, bijvoorbeeld grijs;*

²⁰ Rapport TNO Technische menskunde, TM-01-Co17

²¹ Het is daarbij acceptabel als de pictogrammen zich binnen het profiel van vrije ruimte (PVR) bevinden; de kans dat de pictogrammen worden geraakt door bijvoorbeeld buitenspiegels van vrachtwagens is acceptabel klein, gegeven de hoogte waarop de pictogrammen worden aangebracht.

- *niet afsluitbaar maken.*

Uitvoering slanghaspel:

- *door middel van de rode kleur de ronde vorm van de slanghaspel doortrekken op de ophangconstructie;*
- *de achtergrond van de slanghaspel in een lichte kleur (hierdoor komt de rode, ronde vorm sterker tot uiting;*
- *sputmond in rode kleur uitvoeren.*

Aanduidingen:

- *op de slanghaspel de volgende tekst aanbrengen:*

WATER MET SCHUIM
VOOR ALLE BRANDEN

Letterhoogte 15mm, zwart op witte achtergrond.

- *op [het draagbare brandblusapparaat](#) de volgende tekst aanbrengen:*

WATER MET SCHUIM
KORTE BLUSDUUR

Letterhoogte 15mm, zwart op witte achtergrond.

- *bij de [noodtelefoon](#) de volgende tekst aanbrengen:*

DIRECT CONTACT
LUISTER NAAR INSTRUCTIES

Letterhoogte 10mm, zwart op witte achtergrond.

5. Van hulpposten die in de wand tussen de tunnelbuis en het vluchtkanaal zijn aangebracht dient de constructie zodanig te zijn uitgevoerd dat, bij een temperatuur van 1350°C in de tunnelbuis, een veilige passage in het vluchtkanaal gedurende een half uur gewaarborgd is. Bovendien dient de volledige hulppostconstructie gedurende twee uur vlamdicht te zijn bij een brandbelasting conform de RWS-brandcurve.
6. Om bij een bediende tunnel het gebruik van de hulppost snel te kunnen waarnemen dienen de volgende handelingen te worden gesignaleerd:
 - het openen van een hulppost deur; hierdoor dient tevens de omgeving van de hulppost bij de operator ([wegverkeersleider](#)) in beeld te worden gebracht;
 - het uitnemen van de spuitmond; hierdoor dient tevens de drukverhogingsinstallatie te worden gestart;
 - het uitnemen en/of niet aanwezig zijn van [het draagbare brandblusapparaat](#).
7. Hulpposten dienen vorstvrij te worden gehouden.
8. De afstand tussen vluchtdeuren en de dichtstbijzijnde hulppost met brandweeraansluitingen mag niet meer bedragen dan 25m.
9. De slanghaspel dient zo te zijn uitgevoerd dat bij het uitnemen van de spuitmond, of bij het openen van de hulppostdeur de slanghaspel automatisch in zijn geheel tot buiten het wandvlak kantelt of draait en wel zodanig dat de slang vrij van de tunnelconstructie kan worden uitgerold.
Het uitkantelen van de haspel of de uitgekantelde haspel mag de overige functies die in de hulppost aanwezig zijn niet belemmeren.

17.3 Locatie en toepassing

In volgende overzichten wordt de relatie aangegeven tussen het type hulppost en de locatie daarvan bij verschillende objectkenmerken.
Voor hulpposttypen zie de bijlage.

Volgens de Regeling Bouwbesluit gelden de volgende eisen ten aanzien van de onderlinge afstanden van de hulpposten (art. 5.39 en art. 5.41): een wegtunnelbuis met een lengte van meer dan 250 m heeft een zodanig aantal hulpposten dat de loopafstand tussen een punt op de rijbaanvloer en ten minste een hulppost niet groter is dan 75 m. Deze afstand wordt

gemeten over een route die uitsluitend voert over vloeren, trappen of hellingbanen zonder dat deuren worden gepasseerd die met een sleutel moeten worden geopend. De afstand tussen twee opeenvolgende hulpposten is ten hoogste 100 m.

De genoemde afstanden in onderstaande overzichten voldoen aan deze wettelijke eis (de VRC richtlijnen zijn strenger met betrekking tot de maximale h.o.h. afstand van hulpposten type A).

Hulpposten in gesloten constructies

Gesloten lengte	< 250m	100 - 250m	250 - 500m		> 500m	
			Zonder mechanische ventilatie	Met mechanische ventilatie		
Object kenmerken	Niet bediend	Bediend	bewaakt	bediend		
Rijbanen met 1 rijstrook						
type hulppost aan linker of rechterzijde	D ¹⁾ of E ²⁾	C of B ³⁾	E	B	B of A ¹⁾	B of A ¹⁾
maximale h.o.h. afstand hulpposten in meter	100	100	100	100	100 of 60 ⁴⁾	100 of 60 ⁴⁾
Rijbanen met 1 rijstrook + vluchtstrook						
type hulppost aan rechterzijde	D ¹⁾ of E ²⁾	C of B ³⁾	E	B	B of A ¹⁾	B of A ¹⁾
maximale h.o.h. afstand hulpposten in meter	100	100	100	100	100 of 60 ⁴⁾	100 of 60 ⁴⁾
Rijbanen met meer dan 1 rijstrook						
type hulppost aan de ene zijde	D ¹⁾ of E ²⁾	C of B ³⁾	E	B	B of A ¹⁾	B of A ¹⁾
type hulppost aan andere zijde	D ¹⁾ of E ²⁾	C of B ³⁾	D	C	C	C
maximale h.o.h. afstand hulpposten in meter ⁵⁾	100	100	100	100	100 of 60 ⁴⁾	100 of 60 ⁴⁾

- 1) hulppost alleen toepassen bij bewaakt object van groot economisch belang
- 2) hulppost alleen toepassen bij bewaakt object van groot economisch belang, waarbij de bereikbaarheid van open water erg moeilijk is en plaatselijke standleidingen of doorvoeringen niet voldoende oplossing bieden
- 3) hulppost alleen toepassen als de bereikbaarheid van open water erg moeilijk is en plaatselijke standleidingen of doorvoeringen niet voldoende oplossing bieden
- 4) deze h.o.h. afstand aanhouden bij toepassing van hulppost type A
- 5) hulpposten tegenover elkaar aanbrengen, hulppost type A, B en E bij voorkeur aan de zijde van de distributieleiding c.q. verticale standleiding

Voor constructies met meer dan 1 rijstrook geldt:

- als hulpposttype A of B aan de linkerzijde is aangebracht dan altijd aan de rechterzijde ook een hulppost;
- als hulpposttype A of B aan de rechterzijde is aangebracht dan altijd aan de linkerzijde ook een hulppost bij 3 of meer rijstroken; bij 2 rijstroken is dan aan de linkerzijde geen hulppost nodig.

Hulpposten in gedeeltelijk gesloten constructies

Rijbanen met 1 rijstrook	
type hulppost aan linker of rechterzijde	D ¹⁾ of E ²⁾
maximale h.o.h. afstand hulpposten in meter	100
Rijbanen met 1 rijstrook + vluchtstrook	
type hulppost aan rechterzijde	D ¹⁾ of E ²⁾
maximale h.o.h. afstand hulpposten in meter	100
Rijbanen met meer dan 1 rijstrook³⁾	
type hulppost aan linker zijde	D ¹⁾
type hulppost aan rechterzijde	D ¹⁾ of E ²⁾
maximale h.o.h. afstand hulpposten in meter	100

- 1) hulppost alleen toepassen bij bewaakt object van groot economisch belang
- 2) hulppost alleen toepassen bij bewaakt object van groot economisch belang, waarbij de bereikbaarheid van open water erg moeilijk is en plaatselijke standleidingen of doorvoeringen niet voldoende oplossing bieden. Bij voorkeur aan de zijde van de watertoevoer aanbrenge
- 3) hulpposten tegenover elkaar aanbrenge, hulppost type E bij voorkeur aan de zijde van de watertoevoer

Hulpposten in zijwaarts gesloten constructies

Uitsluitend ANWB-praatpalensysteem. Geen hulpposten toepassen, tenzij uit praktische overwegingen meer voor de hand liggend dan het ANWB-net (aansluiting op verkeerscentrale). In deze bijzondere situatie wordt hulppost type F toegepast.

18 Hulpverlening

Ten aanzien van hulpverlening bij incidenten zal er duidelijkheid dienen te zijn over de taken en verantwoordelijkheden van de betrokken instanties.

Van belang hierbij is of een object wel of niet wordt bediend vanuit een (centrale) bedienpost. Voor bediende objecten zullen de taken en verantwoordelijkheden tussen hulpdiensten en de bediening onderling dienen te worden afgestemd. Vastgelegd zal dienen te worden hoe (afhankelijk van de situatie) de inzet van de hulpdiensten plaats zal vinden opdat tijdig de nodige maatregelen door de operator ([wegverkeersleider](#)) kunnen worden getroffen. Bij projecten zal steeds in een zo vroeg mogelijk stadium overleg moeten worden gevoerd met de betrokken hulpverlenende instanties (vooral de brandweer).

De verantwoordelijkheden van de betrokken instanties zijn als volgt verdeeld:

- De tunnelbediening zorgt voor een vlotte en veilige verkeersafwikkeling en bij incidenten voor het tijdig treffen van de nodige maatregelen en het zo nodig alarmeren van de hulpdiensten.
- De brandweer is verantwoordelijk voor redden, bevrijden en bestrijden bij ongevallen en brand.
- De politie is verantwoordelijk voor het handhaven en herstellen van de openbare orde, de algemene veiligheid en voor (strafrechtelijk) onderzoek.
- De GGD is systeemverantwoordelijk en de Ambulancehulpdienst is uitvoeringsverantwoordelijk voor geneeskundige hulpverlening.
- Het bevoegd gezag (de burgemeester) is verantwoordelijk voor de openbare orde en veiligheid.

1. Het object dient goed bereikbaar te zijn voor de hulpdiensten.

Bij korte gesloten constructies (zoals aquaducten) is het niet persé nodig dat de hulpdiensten binnen korte tijd van rijbaan kunnen wisselen. Bij lange gesloten constructies dienen de hulpdiensten aan beide uiteinden van de constructie de mogelijkheid te hebben om naar keuze de gewenste buis binnen te rijden.

2. Bij projecten dient in een zo vroeg mogelijk stadium overleg te worden gevoerd met de betrokken hulpverlenende diensten (vooral de brandweer).

Dit overleg is enerzijds nodig om te komen tot een invulling van het calamiteitenbestrijdingsplan (in eerste instantie op hoofdlijnen) en anderzijds om overeenstemming te krijgen over de te treffen maatregelen (deze kunnen zowel gericht zijn op hulpverlening als op zelfredzaamheid).

3. Voor bediende objecten dient een calamiteitenbestrijdingsplan te worden opgesteld waarin wordt geregeld hoe bij incidenten opgetreden dient te worden. In dit plan dienen zaken te worden geregeld zoals:

- de calamiteitenorganisatie;
- de taken en verantwoordelijkheden van de betrokken instanties;
- de afspraken tussen de tunnelbeheerder en de openbare hulpdiensten;
- de afstemming op de aanvalsplannen (of rampbestrijdingplannen) van de hulpdiensten.

Zie hiervoor het 'Tunnelboekje voor zwaailichten' en onderdeel E (de veiligheidsorganisatie) van de integrale veiligheidsfilosofie van het Steunpunt Tunnelveiligheid.

19 Beleving

19.1 Algemeen

Specifiek op beleving toegesneden richtlijnen zijn moeilijk te formuleren. Over het algemeen komen zij impliciet in de (technisch) geformuleerde richtlijnen terug. Richtlijnen die overigens kunnen verschillen afhankelijk van de vraag of het gesloten, gedeeltelijk gesloten of zijwaarts gesloten constructies betreft. Vooralsnog zijn de richtlijnen in dit hoofdstuk primair gericht op lange gesloten constructies: tunnels dus. Voor deze constructies zijn met betrekking tot het belevingsaspect enige aanbevelingen weergegeven²².

19.2 Normale omstandigheden

1. Het is raadzaam te overwegen het tunnelontwerp inclusief de tunneltoeritten visueel op ruimtelijke beleving te toetsen met behulp van wegbeeldsimulatie.

Dit zal toegevoegde waarde hebben indien het een ontwerp betreft dat duidelijk afwijkt van de algemeen gangbare en reeds eerder gebouwde tunnels waarvan de beleving als goed wordt ervaren. In een dergelijke analyse kan het gekozen dwarsprofiel worden getoetst in relatie tot zichtlengten (verticale en horizontale bogen), verlichtingsniveau en kleurstelling.

2. Zorg ervoor dat de tunnel voldoet aan het verwachtingspatroon van de weggebruiker, dat wil zeggen zorg voor uniformiteit.
3. Teneinde gevoelens van benauwing en opsluiting te verminderen verdient een zo ruim mogelijke doorsnede van de tunnel de voorkeur.

Bij het bepalen van een zo ruim mogelijke doorsnede spelen de investeringskosten vanzelfsprekend een zeer belangrijke rol, doch deze mogen niet leiden tot verkeerde zuinigheid. In dat kader zijn de in hoofdstuk 4 gegeven maten als minimum maten te beschouwen.

4. Gebruik (lichte) kleurstellingen die het ruimtelijk effect in de tunnel in positieve zin beïnvloeden.
5. Zorg voor een duidelijk zichtbare overgang van het wegdek naar de wand.

Zie ook hoofdstuk 6.

6. Pas zo ruim mogelijke bogen toe (zie hoofdstuk 4) en voorkom een complexe geometrie (invoegingen, uitvoegingen en dergelijke).
7. Gebruik kleuren, patronen, texturen en licht om variatie en stimulatie te creëren en om tunnelzones, in- en uitgangen en hulpvoorzieningen te markeren.
8. Schenk aandacht aan de overgang buiten-binnen bij de ingangspartijen.
9. Zorg ervoor dat de weggebruiker niet wordt afgeleid door bijzondere aandachttrekkers nabij de toeritten.
10. Voorzie in een heldere wegsignalering.

²² Zie hiertoe o.a.: Algemene aspecten van tunnelgebruik en veiligheid. Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie. Rijksuniversiteit Groningen. COV 99-09 November 1999

11. Voorzie in een helder, goed zichtbaar en eenduidig systeem van hulpposten, vluchtweg bewegwijzering en (nood)signalering.
12. Schenk aandacht aan de akoestiek in de tunnel (in verband met de spraakverstaanbaarheid).

19.3 Calamiteitsituatie

13. Zorg voor snelle informatie over een brand of andersoortige calamiteit aan de weggebruiker (zie hoofdstukken 10 en 13).
14. Streef naar een zo snel mogelijke eerste poging tot blussen van een beginnende brand. Zorg daartoe voor eenduidige en eenvoudige aanduidingen en informatievoorziening over blusmiddelen (zie hoofdstukken 15 en 17).
15. Zorg voor duidelijk zichtbare communicatiemiddelen.
16. Zorg voor heldere en doordringende ontruimingsopdrachten door middel van gesproken en visuele boodschappen.

20 Beheer en onderhoud

20.1 Algemeen

Voor een algemene toelichting wordt verwezen naar de bijlage.

1. Ontwerp een tunnel zodanig dat onderhoud in de verkeersruimte tot een minimum wordt beperkt.
2. De ontwerper dient van elk (deel)systeem gegevens over te dragen aan de beheerder inzake de frequenties van inspectie, onderhoud en vervanging.
3. De resultaten van inspectie, onderhoud en vervanging dienen eenduidig te worden vastgelegd in een onderhoudshandboek, zodat van elk (deel)systeem de toestand op elk moment duidelijk is. Voor het opstellen van een onderhoudshandboek gelden de volgende richtlijnen:
 1. leg per (deel)systeem, waar van toepassing, de ontwerpspecificaties vast;
 2. formuleer per (deel)systeem frequenties van inspectie en onderhoud;
 3. laat, waar van toepassing, proefdraaien onderdeel zijn van inspectie en onderhoud;
 4. stel checklists op, aan de hand waarvan inspecties dienen te worden verricht;
 5. formuleer grenstoestanden, waarbij reparatie dan wel vervanging noodzakelijk is;
 6. betrek bij door te voeren veranderingen altijd de ontwerper;
 7. betrek, indien deze veranderingen op enigerlei wijze de afloop van een incident (kunnen) beïnvloeden, ook altijd de hulpdienst(en) hierin.
4. De beheerder dient zich er van te vergewissen dat bij eventuele vervangingen, veranderingen en/of vernieuwingen de achterliggende veiligheidsfilosofie geen geweld wordt aangedaan.

20.2 Onderhoudssituaties

5. Bij onderhoud, waar dat ook maar enigszins mogelijk is, een omleidingroute instellen. **Pas wanneer dit niet goed mogelijk is** blokverkeer of tegenverkeer overwegen en hiervoor een analyse maken.

In een tunnelbuis is uitsluitend eenrichtingsverkeer toegestaan (Barvw, art. 10, lid 2). In afwijking hiervan kan tweerichtingsverkeer toegestaan worden indien is aangetoond dat eenrichtingsverkeer in verband met fysieke, geografische of verkeerstechnische omstandigheden niet mogelijk is (Barvw art. 10, lid 3).

Tweerichtingsverkeer kan nodig zijn in verband met onderhoudswerkzaamheden, die naar hun aard een tijdelijk karakter hebben (zie memorie van toelichting bij art. 10 van het Barvw). Ook in dit geval blijft echter de eis gelden dat moet worden aangetoond dat eenrichtingsverkeer niet mogelijk is vanwege eerder genoemde omstandigheden.

Indien omleiden niet mogelijk is, kan een gerichte analyse de verschillen in veiligheid tussen de overblijvende alternatieven (blokverkeer of tegenverkeer) mogelijk nader verduidelijken.

6. Maak voor de onderhoudssituatie een afweging over het toepassen van één of meerdere aanvullende maatregelen, zoals:
 - strikte beperking van het onderhoud tot de meest rustige uren;
 - het verbieden van gevaarlijke stoffen of zelfs alle vrachtverkeer bij tegenverkeer of blokverkeer;
 - strikte snelheidsbeperkingen;
 - uitgebreide publiekscampagnes, waarbij op de extra gevaren wordt gewezen;
 - strikte controle op de handhaving van de maatregelen.

21 Compenserende maatregelen bij falen van tunnelinstallaties

21.1 Algemeen

Een verkeerstunnel is uitgerust met diverse elektromechanische installaties. Ten aanzien van veiligheid betreft het:

- installaties die het de automobilist mogelijk maken veilig en comfortabel door de tunnel te rijden;
- installaties die het mogelijk maken de tunnel te bewaken en te bedienen;
- installaties die het mogelijk maken incidenten als pech, ongeval of brand zo veilig en efficiënt mogelijk af te handelen;

Bij uitvallen (falen) van één of meer van deze installaties wordt de tunnel in feite minder veilig. Bij falen zijn weliswaar de functies van een installatie niet meer (volledig) beschikbaar, maar ze kunnen in een aantal gevallen geheel of (meestal) gedeeltelijk worden gecompenseerd door tijdelijke aanvullende of vervangende maatregelen waardoor de tunnel als geheel niet hoeft te falen. Voor de definities van falen zie hoofdstuk 2

Indien de veiligheid niet meer voldoende te garanderen is dient de tunnel te worden afgesloten.

21.2 Maatregelen

1. Bepaal per project of en zo ja welke compenserende maatregelen dienen te worden getroffen indien (delen van) veiligheidsinstallaties falen en leg dat vast.

In de bijlage wordt behandeld welke compenserende maatregelen kunnen worden toegepast om de tunnel in bedrijf te houden bij het geheel of gedeeltelijk falen van tunnelinstallaties.

