

Inhoudsopgave

Documentgeschiedenis			
Versie	Datum	Bijlagen	Toelichting/Wijzigingen
1.0	Januari 2004	Alle bijlagen	Eerste definitieve versie
(2.0)	18-09-06	Bijlage 9 (paragraaf 9.6)	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	Bijlagen 1, 4, 5, 7,8 en 10 en bijlagen 13 t/m 15, 17 en 21	Versie 1.0 → 1.1: bijlagen 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	Bijlage 9	Versie 2.0 → 2.1: idem (geharmoniseerd met wet- en regelgeving). Wijzigingen aangegeven in blauw .
2.0	15 juni 2009	Bijlage 11	Versie 1.0 → 2.0: 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
1.1	Mogelijke veiligheidsbenaderingen			1-1
1.2	De integrale veiligheidsfilosofie			1-2
2	Definities	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
3	Samenhang maatregelen	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
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
5.3	Indeling naar bedrijfsvoering			5-5
6	Verlichting	1.0	Januari 2004	6-1
6.1	Algemeen			6-1
6.2	Kunstverlichting			6-1
6.3	Bouwkundige aspecten			6-4
6.4	Daglichtinvloeden			6-6
7	Afvoersysteem	1.1	15-06-2009	7-1
7.1	Algemeen			7-1
7.2	Het wegdek			7-3
7.3	Het rioleringsstelsel			7-3
7.4	De waterkelders			7-4
7.5	Pompinstallaties			7-5
8	Bescherming tegen brand	1.1	15-06-2009	8-1
8.1	Schademechanismen			8-1
8.2	Economische afwegingen			8-2
8.3	Hittewerende bekleding			8-3

Inhoudsopgave

Hfdst..	Titel	Versie	Datum	Pagina
9	Bediening en bewaking	2.1	15-06-2009	9-1
9.1	Algemeen			9-1
9.2	Besturingsinstallatie			9-2
9.3	Ontwerpaspecten			9-3
9.4	Centrale bediening			9-3
9.5	Functies en eisen besturingsinstallatie			9-4
9.6	Bedrijfsomstandigheden			9-6
9.7	Afhandeling van calamiteitsituaties			9-8
9.8	Uitwerking van automatische acties			9-9
9.9	Voorbeelden van dialoogvensters			9-12
10	Verkeersdetectie en verkeersregeling	1.1	15-06-2009	10-1
10.1	Algemeen			10-1
10.2	Overwegingen			10-1
10.3	Verkeersdetectie			10-2
11	Vluchten	2.0	15-06-2009	11-1
11.1	Algemeen			11-1
11.2	Projectering van vluchtwegen			11-7
11.3	Toegankelijkheid van vluchtdeuren			11-11
11.4	Ontwerpaspecten			11-12
11.5	Aanduiding van de vluchtweg			11-14
12	Ventilatie	1.0	Januari 2004	12-1
12.1	Algemeen			12-1
12.2	Ventilatiesystemen			12-4
12.3	Literatuuronderzoek			12-5
12.4	Ontwerp ventilatiesysteem			12-8
12.5	Civiele aspecten			12-9
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
14.3	Zichtvermindering door uitlaatgasconcentratie			14-6
14.4	Uitstoot van NO ₂ en verband met zichtmeting			14-9
15	Brandbestrijding	1.1	15-06-2009	15-1
15.1	Algemeen			15-1
15.2	Voorzieningen voor de weggebruikers			15-5
15.3	Voorzieningen voor de brandweer			15-8
15.4	(Half)Automatische en speciale hulpmiddelen			15-10
16	Kabels en leidingen	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
17	Hulpkasten	1.1	15-06-2009	17-1
17.1	Algemeen			17-1
17.2	Ontwerpaspecten			17-2
18	Hulpverlening	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
19	Beleving	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
20	Beheer en onderhoud	1.0	Januari 2004	20-1
20.1	Algemeen			20-1
20.2	Onderhoudssituaties			20-1

Inhoudsopgave

Hfdst..	Titel	Versie	Datum	Pagina
21	Compenserende maatregelen bij falen tunnelinstallaties	1.1	15-06-2009	21-1
21.1	Algemeen			21-1
21.2	Maatregelen bij falen			21-1
21.3	Samenvatting			21-6

1 Inleiding

.....

1.1 Mogelijke veiligheidsbenaderingen

De veiligheidsketen

De filosofie met betrekking tot de veiligheid van een project kan worden benaderd aan hand van de zogenoemde veiligheidsketen. In zijn elementaire vorm bestaat deze keten uit:

- Voorkom onveiligheid (*pro-actief*)
- Tracht, waar onveiligheid niet te voorkomen is, de kans op een ongeval te verkleinen en de potentiële gevolgen te beperken (*preventief*).
- Mocht er toch wat gebeuren, zorg dan voor maatregelen die de aanwezigen optimaal de mogelijkheid bieden zich alsnog in veiligheid te stellen (*correctief*).
Hier komt de veel gebezigde term *zelfredzaamheid* in beeld: Er is wat aan de hand; de hulpverlening is er nog niet en de weggebruiker dient zich voorlopig even zelf te redden.
- Indien de gevolgen dusdanig zijn dat hulp nodig is, zorg dan dat deze zo adequaat mogelijk plaats vindt (*repressief*).
- Herstel de oorspronkelijke situatie (*nazorg*).

Het moge duidelijk zijn dat alles er voor pleit om met de veiligheidsfilosofie, voor welk project dan ook, zo hoog mogelijk in deze keten in te grijpen en aldus de totale veiligheid ook in dié volgorde te beschouwen. Ook hier geldt immers: voorkomen is beter dan genezen.

Veiligheidsbeschouwingen.

Een andere benadering is het in beeld brengen van de (on)veiligheid met behulp van risicoanalyses. Hierbij worden onderscheiden:

- *De kwantitatieve risicoanalyse (ook wel probabilistische risicoanalyse genoemd)*: hierbij worden de risico's met behulp van kansen en gevolgen in beeld gebracht: wat is, gegeven een set van voorziene veiligheidsmaatregelen, alsnog de kans op een bepaald soort ongeval en welke gevolgen zijn daarbij te verwachten. Deze aanpak richt zich op een uitgebreide analyse van gebeurtenissen- en foutenbomen en levert uiteindelijk een indicatie van het te verwachten risico niveau. Dit is een zeer gespecialiseerde manier van kijken die voor buitenstaanders uitermate lastig te vatten is maar van groot belang is om een beeld van het totale veiligheidsniveau te krijgen.
- *De scenarioanalyse (deterministische risicoanalyse)*: hierbij wordt uitgegaan van een bepaald ongevalsscenario om in beeld te brengen hoe dan de processen daarna verlopen. Deze aanpak richt zich op een uitgebreide analyse van de omstandigheden waaronder de aanwezigen in staat zijn zichzelf, zonder professionele hulp, in de eerste minuten na een ernstig ongeval in veiligheid te brengen. Daarnaast wordt bekeken hoe de hulpverlening haar taken naar behoren kan vervullen. Deze analyse kan voor meerdere scenario's worden uitgevoerd.
- *Het toepassen van het ALARP principe*. ALARP staat voor: As low as reasonably **practicle**. 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". Gewoon goed nadenken levert met weinig extra kosten vaak nog verdere effectieve veiligheidsverbetering.

1.2 De integrale veiligheidsfilosofie.

De integrale benadering van het Steunpunt Tunnelveiligheid bestaat uit de volgende vijf hoofdonderdelen:

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

A. *Normen, richtlijnen en uitgangspunten.*

Alvorens met het ontwerp van de ondergrondse/overkapte infrastructuur wordt begonnen, zal vastgelegd moeten worden:

- op welke wijze en op welk moment in het ontwerpproces over welke items met betrekking tot de veiligheidsproblematiek door welke organisaties/personen een besluit genomen wordt (men zou dit een soort procesnormering kunnen noemen);
- welke uitgangspunten en randvoorwaarden daarbij gehanteerd zullen worden;
- aan welke referentiewaarden het ontwerp getoetst zal worden.

B. *Veiligheidsbeschouwingen.*

Het ontwerp zal moeten worden getoetst door middel van:

- Een kwantitatieve risicoanalyse. Op basis hiervan zal duidelijk moeten zijn dat de onder A. geformuleerde randvoorwaarden wordt voldaan en dat de referentiewaarden nergens worden overschreden.
- Een scenarioanalyse. Deze dient te zijn gericht op een nadere beschouwing van de mogelijkheden van de spoor/weg gebruiker tot vluchten in geval van een calamiteit (zelfredzaamheid), alsmede de mogelijkheden tot hulpverlening door de openbare hulpverlenende diensten.

Daarna zal het **ALARP** principe moeten worden gehanteerd.

C. *Basismaatregelen.*

Het ontwerp zal duidelijk inzicht moeten geven in de voorgenomen veiligheidsmaatregelen.

De maatregelen dienen aan de hand van richtlijnen te worden vastgesteld.

Voor tunnels voor wegverkeer zijn dat de voorliggende VRC richtlijnen.

D. *Aanvullende maatregelen en hun veiligheidseffectiviteit.*

Mocht in enig geval, onder toepassing van de vastgestelde basismaatregelen, blijken dat op grond van de onder B. gehanteerde veiligheidsbeschouwingen *niet* aan de onder A. geformuleerde eisen en referentiewaarden wordt voldaan dan zijn aanvullende maatregelen nodig.

Aangetoond zal moeten worden dat met deze aanvullende maatregelen wel aan de gestelde eisen en referentiewaarden wordt voldaan.

Met de tot hier beschreven aanpak kan op afdoende wijze worden aangetoond dat het *ontwerp* voldoet aan de eisen die er met betrekking tot de gebruiksveiligheid aan worden gesteld. Men dient de beschouwing evenwel niet tot het ontwerp te beperken; ook in de *exploitatiefase* dient de veiligheid voldoende te worden gewaarborgd.

E. *De veiligheidsorganisatie.*

Eenduidig zal moeten worden vastgelegd:

- hoe de toekomstig beheerder de ondergrondse/overkapte infrastructuur zal gaan beheren (management van inspectie en onderhoud; verkeersmanagement en management in geval van calamiteiten);
- hoe dit beheer is afgestemd op en overeengekomen met de openbare hulpverlenende diensten.

Wanneer ook aan deze voorwaarden is voldaan is er sprake van een *veilig ontwerp* én een *veilig te exploiteren* tunnel.

2 Definities

Van dit hoofdstuk is geen bijlage.

3 Samenhang maatregelen

Van dit hoofdstuk is geen bijlage.

4 Verkeerskundig

.....

4.1 Inleiding

Tunnels vormen, meer dan andere kunstwerken, een ingrijpende onderbreking van het wegbeeld. De relatie met de omgeving van de weg wordt verstoord. Hierdoor kan de autobestuurder zich moeilijker oriënteren en afstanden en snelheden slechter inschatten. Bij de ingang van tunnels speelt het verminderde waarnemingsvermogen een belangrijke rol. Dit uit zich bijvoorbeeld in het verminderen van de snelheid bij het inrijden van tunnels en het meer naar het midden toe rijden. Toch blijkt uit internationaal onderzoek dat het rijden in tunnels over het algemeen niet significant onveiliger is dan op de open weg. Wel blijkt dat in tunnels met langshellingen (wat vaak het geval is bij water kruisende tunnels) meer letselongevallen plaats vinden. Gelede voertuigen en auto's met aanhangwagens (meer kans op scharen) komen in de ongevalsstatistieken van deze tunnels relatief veel voor.

In het belang van de verkeersveiligheid en verkeersafwikkeling is het in het algemeen beter flauwe hellingen, brede bermen en grote doorrijhoogten toe te passen. Daar staan evenwel meer kosten tegenover. Daarom wordt voor grote kunstwerken en met name voor tunnels vaak afgeweken van de uit veiligheidsoogpunt ideale dimensionering. Het maken van een afweging tussen veiligheid, afwikkeling en kosten is zeer moeilijk. Dit is de reden dat er zo weinig uniformiteit is in het geometrisch ontwerp, zowel binnen Europa als in Nederland. In dit hoofdstuk wordt volstaan met het aangeven van functionele eisen, het belang voor de verkeersveiligheid en mogelijke oplossingen. Vooralsnog zal per project een beslissing moeten worden genomen over de realistisch geachte dimensionering.

Uit ongevalgegevens in Nederlandse tunnels in autosnelwegen over de jaren 1990 – 2000 blijkt dat concentraties van ongevallen voorkomen bij samenvoegingen en invoegingen (convergentiepunten) stroomopwaarts van de tunnel (*dus er buiten!*) én rond het punt waar de rijbaan gaat stijgen. De ongevallen bij convergentiepunten wijzen op de noodzaak aan het ontwerp hiervan bijzondere aandacht te besteden. Bij voorkeur moet het convergentiepunt op ruime afstand van de tunneltoeritten liggen om de aandacht van de bestuurders te concentreren op de rijstrookwisselingen.

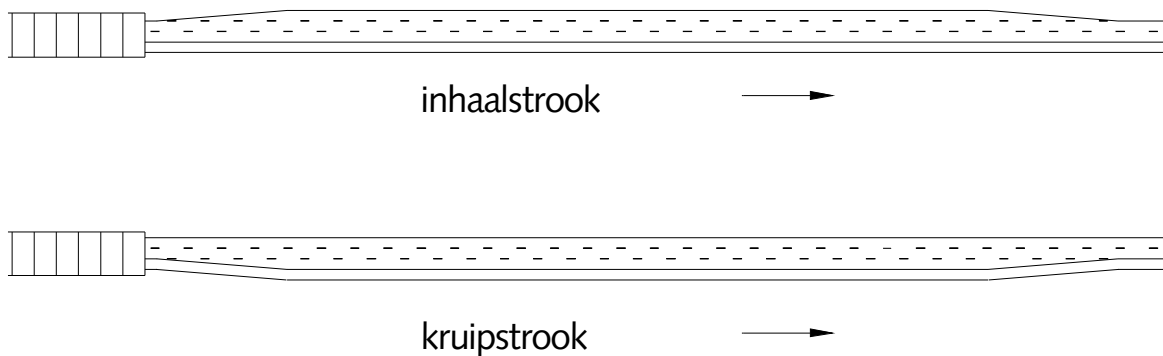
De concentratie van ongevallen rond het punt waar de rijbaan gaat stijgen kan verschillende oorzaken hebben. Genoemd zijn reeds de gevoeligheid van gelede voertuigen voor de grote neerwaartse hellingen. Een andere mogelijkheid is het vertragende effect van een opwaartse helling op bepaalde typen verkeer, met name vrachtverkeer. Enkele maatregelen om de veiligheid te verhogen liggen dus voor de hand: snelheidsbeperking en inhaalverbod voor vrachtverkeer. Een duidelijke relatie tussen ongevallen en plaats van optreden in de tunnel is vooralsnog niet vastgesteld¹.

4.2 Tracering

Bij neerwaartse hellingen treden versnellingen op. Met name gekoppelde voertuigen kunnen daardoor scharen. Ook is er een grotere remweg en dus meer zichtlengte nodig.

Bij opgaande hellingen kunnen met name vrachtwagens vertragen. Met het simulatieprogramma 'SimVra +' kan het snelheidsverloop op hellingen in beeld worden gebracht. Vroeger werd in opwaartse rijbanen buiten het gesloten gedeelte een kruipstrook voor zwaar verkeer aan de rechterzijde van de rechterrijstrook toegevoegd. Tegenwoordig wordt de voorkeur gegeven aan het toevoegen van een extra inhaalstrook links (zie figuur 4.1).

¹ Nader onderzoek zou hier verder inzicht in moeten bieden



Figuur 4.1: inhaalstrook en kruipstrook

In de oudste tunnels is als maximaal hellingspercentage 3,5 aangehouden, in latere (sinds 1965): 4,5. Een studie, uitgevoerd door de voormalige Dienst Verkeerskunde, opende de mogelijkheid korte hellingen tot 6% toe te passen². [Het Bouwbesluit verbiedt echter hellingen groter dan 5% \(1 : 20\) bij nieuwe tunnels \(Bb, art. 5.56\).](#)

Omdat steile hellingen in het algemeen leiden tot vermindering van de capaciteit en tot toename van kop-staartbotsingen en inhaalongevallen worden hellingen groter dan 4,5% ontraden.

4.3 Het aantal rijstroken per buis

De keuze van het aantal rijstroken per buis hangt af van het type en de functie van de weg. Tabel 4.1 toont de verschillende wegtypen binnen de categorieën uit de filosofie Duurzaam Veilig. Ook verbindingswegen vallen binnen deze categorieën.

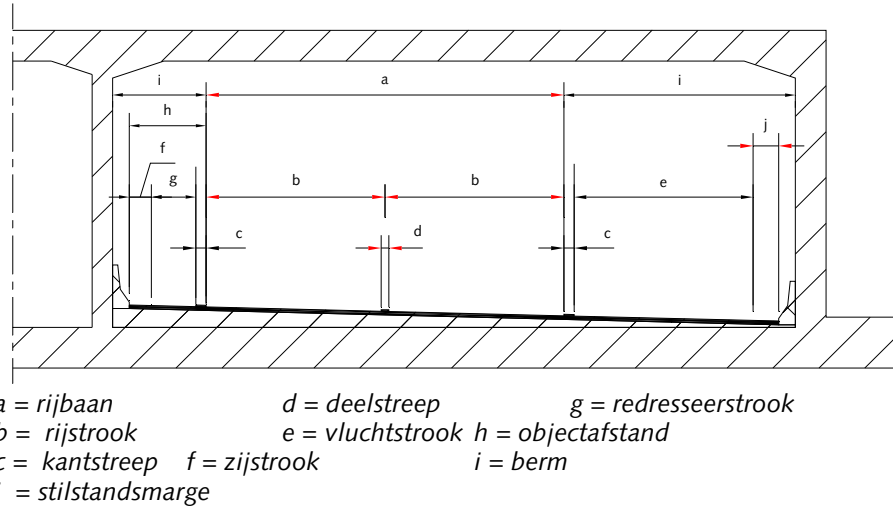
Tabel 4.1: Wegtypen binnen de filosofie Duurzaam Veilig

Wegtype	maximum snelheid (km/h)	Kenmerken
Nationale stroomweg	120	autosnelweg
Regionale stroomweg	100	autoweg, vluchtvoorzieningen, niet overschrijdbare rijrichtingscheiding, ongelijkvloerse kruisingen
Gebiedsontsluitingsweg type I	80	2x2 rijstroken, rijbaanscheiding, gelijkvloerse kruisingen, onderbroken langsmarkering
Gebiedsontsluitingsweg type II	80	2x1 rijstrook, rijbaanscheiding, gelijkvloerse kruisingen, onderbroken langsmarkering
Erftoegangsweg type I	60	1 rijloper, kantmarkering
Erftoegangsweg type II	60	1 rijloper, geen markering, fiets op de rijbaan

² Verkeerskundige consequenties van steilere hellingen in tunnels en aquaducten; Rijkswaterstaat DVK; D.E. Helleman; oktober 1990

4.4 Dwarsprofiel

De bij dwarsprofielen gehanteerde termen worden toegelicht aan de hand van figuur 4.2.



Figuur 4.2: termen behorende bij dwarsprofielen

De verschillende onderdelen hebben de volgende functies:

Rijstrook, rijbaan:

- afwikkeling rijdend verkeer

kantstroep:

- begrenzing rijbaan
- visuele geleiding

deelstroep:

- scheiding rijstroken
- visuele geleiding

vluchtstrook:

- vlucht- en bergingsplaats voor voertuigen
- rijstrook voor hulpverleningsvoertuigen
- rijstrook voor onderhoudsvoertuigen
- tijdelijke rijstrook in bijzondere situaties
- gelegenheid voor koerscorrectie

zijstrook:

- ruimte in verband met obstakelvrees
- uitstapbreedte/ruimte voor afwatering

redresseerstrook:

- gelegenheid voor koerscorrectie

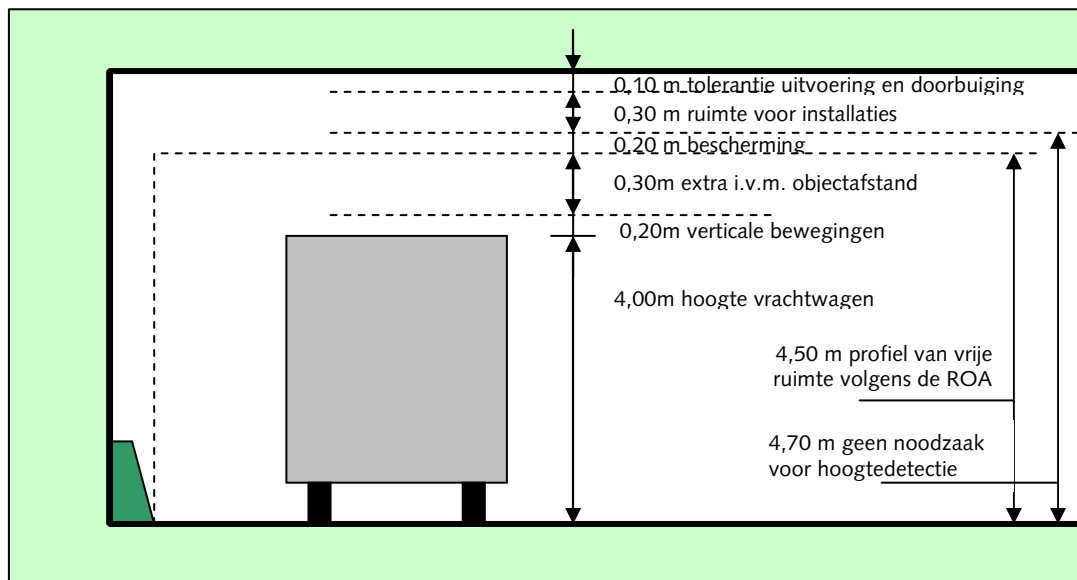
objectafstand:

- veiligheidsmarge ten opzichte van een vast voorwerp naast de rijbaan

stilstandsmarge:

- marge om rekening te houden met uitstapmogelijkheid. Deze wordt in tunnels niet toegepast.

De breedte van een rijstrook wordt gedefinieerd als de afstand tussen de binnenkant van de kantstroep en het hart van de deelstroep (of tussen het hart van twee deelstrepen). In figuur 4.3 zijn de verticale elementen van het dwarsprofiel in een tunnel weergegeven.



Figuur 4.3: verticale elementen in het dwarsprofiel

Er worden onderscheiden:

- *Profiel van minimumruimte*
Ruimte die het maatgevende ontwerpvoertuig vanwege zijn afmetingen in beslag neemt plus de ruimte voor verticale bewegingen tijdens het rijden (= 4,20m).
- *Profiel van vrije ruimte*
Ruimte waarbinnen geen vaste voorwerpen mogen voorkomen. Het profiel van minimumruimte plus de objectafstand vormen het profiel van vrije ruimte (= 4,50m).
- *Extra marge voor bescherming plafond, signalering, verlichting en ventilatoren*
De ervaring wijst uit dat bij een extra marge van 0,20m geen hoogtedetectie noodzakelijk is. Van geval tot geval zal moeten worden bekeken of een investering voor deze extra marge bóven 4,50m zinvol is ten opzichte van de extra kosten van hoogtedetectie, de kans op beschadigingen van de tunnelinstallaties en de grotere kans op verkeershinder door te hoog geladen wagens.
- *Marge voor overlagingen*
In verband met toekomstige overlagingen kan het profiel van vrije ruimte worden vermeerderd. Uit oogpunt van kostenoptimalisatie is dit voor tunnels niet gebruikelijk.
- *Hoogte voor signalering en ventilatie*
In de tunnel kunnen voorzieningen aanwezig zijn ten behoeve van signalering en ventilatie. Indien deze boven een rijstrook of de vluchtstrook zijn bevestigd heeft dit invloed op de vereiste hoogte van de tunnel.
- *Tolerantie voor constructie en doorbuiging van het dak*
Veiligheidsmarge om constructieve toleranties te ondervangen.

De omvang en de samenstelling van het (huidige en/of toekomstige) verkeer is bepalend voor de functie van een verbinding en de dimensionering van de verkeersvoorzieningen. In het algemeen worden de werkdagen (circa 250 per jaar) maatgevend geacht voor de dimensionering van het hoofdwegennet.

Ten behoeve van de dimensionering van wegen wordt doorgaans gebruik gemaakt van de gemiddelde etmaalintensiteit (op werkdagen), de verdeling van deze intensiteit gedurende de dag en de fluctuaties gedurende de seizoenen. Gerelateerd aan de capaciteit van de verschillende wegcategorieën en/of de gewenste en noodzakelijk geachte verkeersafwikkeling van de betrokken verbinding, kan met behulp van genoemde intensiteit de benodigde dimensionering in hoofdlijnen worden bepaald (ROA, Basiscriteria).

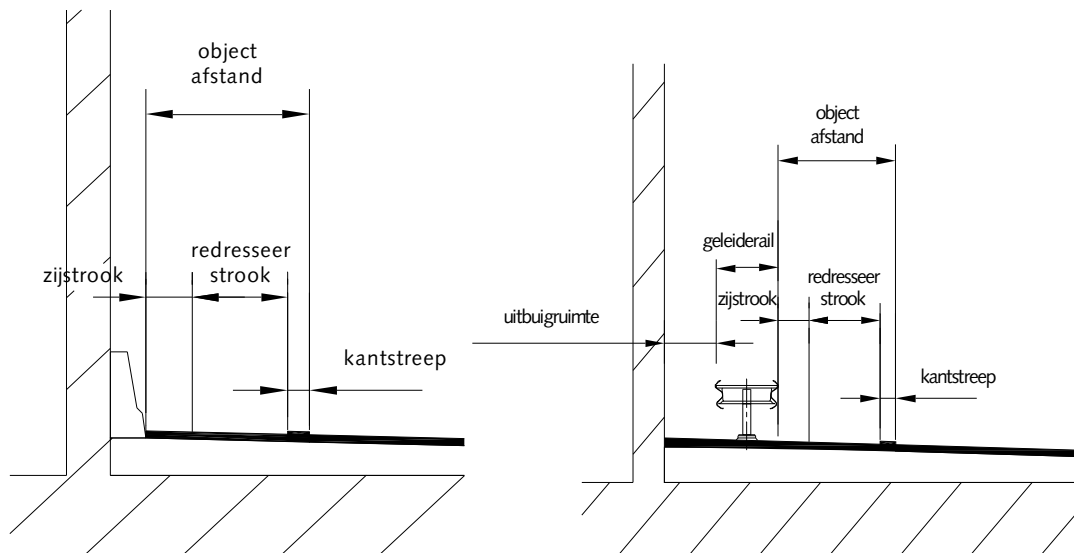
Infrastructurele invloedsfactoren op de capaciteit zijn onder meer: het aantal rijstroken, rijstrookbreedtes, obstakelafstanden, hellingen en horizontale en verticale bogen.

De rijstrookbreedte wordt bepaald door:

- de breedte van de voertuigen;
- de vetergang van die voertuigen;
- de snelheid, waarmee wordt gereden;
- de veiligheidsmarge op voornoemde grootheden.

Uit het oogpunt van verkeersafwikkeling en verkeersveiligheid worden in Nederland voor de breedte van rijstroken de maten gehanteerd, zoals in de richtlijnen (tabel 4.2) weergegeven.

Bermen in gesloten constructies zijn opgebouwd uit de volgende elementen (zie figuur 4.4, waarbij geldt dat voor tunnels alleen het linker plaatje van toepassing is).



Figuur 4.4: berm in gesloten constructies, met barrier of met geleiderail

Onderstaand worden aspecten en onderdelen van de berm aan de linkerkant beschouwd.

1. **Zichtlengte.** Bij tunnels met een gekromd horizontaal alignement kan het zicht op voorgaande auto's of afgevalen lading ontnomen worden door de tunnelwanden. Er moet daarom rekening worden gehouden met de afstand tussen binnenkant kantstreep en tunnelwand. Deze afstand is afhankelijk van de vereiste zichtlengtes (stopzicht, rijzicht en uitwijkzicht).
2. **Kantstreep.** De kantstrepen ondersteunen de bestuurder visueel bij de rijtaak; ze markeren de begrenzing van de rijbaan. De breedte van de kantstrepen is 0,20m.
3. **Redresseerstrook.** Bij overschrijden van de kantstreep moet de bestuurder de mogelijkheid hebben zijn voertuig terug te sturen naar de rijstrook. Het komt regelmatig voor dat de kantstreep wordt overschreden. Daarom moet de berm vanaf de buitenkant van de kantstreep nog een zekere verhardingsbreedte hebben, die rechtstreeks samenhangt met de veiligheid. Deze verharde strook heet redresseerstrook.
Daarnaast blijkt dat de breedte van de redresseerstrook ook van belang is voor de verkeersafwikkeling. Als maten voor de breedte van de redresseerstrook gelden 0,60m voor een ontwerpsnelheid van 120 km/uur en 0,30m voor een ontwerpsnelheid van 90 km/uur.
4. **Verkeersafwikkeling** in geval van incidenten. Bij tunnels is het van belang zo weinig mogelijk filevorming in de tunnel te hebben. Indien een voertuig in een tunnel strandt op een rijstrook, is het wenselijk dat de aanwezige verkeersintensiteiten stroomopwaarts van het gestrande voertuig vlot afgewikkeld kunnen worden. In tunnels met twee rijstroken per richting wordt bij (lichte) incidenten een rijstrook afgesloten. In tunnels met één rijstrook wordt aanbevolen de breedte zodanig te kiezen dat een stilstaande vrachtwagen gepasseerd kan worden door een vrachtwagen.
5. **Objectafstand.** Bij te korte afstand tussen binnenkant kantstreep en de voorkant van vaste objecten of de voorkant van verkeersveiligheidsvoorzieningen bestaat bij bestuurders de neiging meer naar het midden van de rijbaan te rijden en snelheid te minderen. Er is ook een grotere kans op flankaanrijdingen.
Het rijcomfort, de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid worden door het aanhouden van redelijke afstanden in positieve zin beïnvloed. Als een bestuurder die de kantstreep is overgereden zijn voertuig niet terug kan sturen op de redresseerstrook, is de afloop van de botsing met de tunnelwand, geleiderail of barrier over het algemeen minder ernstig naarmate de objectafstand groter is. Dit effect is evenwel niet in harde cijfers uit te drukken.

Als maatvoering voor de objectafstand geldt 1,50m bij een ontwerpsnelheid van 120 km/uur en 1,00m voor een ontwerpsnelheid van 80 of 90 km/uur. In tunnels wordt uit kostenoverwegingen een objectafstand van 1,00m voor ontwerpsnelheden van 120 km/uur en 0,60m voor een ontwerpsnelheid van 80 of 90 km/uur geaccepteerd.

- 6 *Ruimte voor bermbeveiligingsvoorziening.* Als voertuigen op de redresseerstrook niet meer hebben kunnen bijsturen (en dat ook niet op het resterende gedeelte van de objectafstand hebben kunnen doen) zullen zij botsen met de geleiderail of barrier. Om de gevolgen van de botsing zo gunstig mogelijk te doen zijn, is het gewenst de bermbeveiligingsvoorziening uit te voeren als een geleiderailconstructie. Dit vergt naast de breedte van de geleiderailconstructie zelf een uitbuigruimte. Dit betekent een aanzienlijke verlenging van de overspanning van het dak. Voor zwaarbelaste daken, zoals bij diepe tunnels het geval is, wordt daarom de voorkeur gegeven aan een geleiding met (betonnen) barriers. Zeker bij beperkte snelheden voldoen barriers goed.

In tunnels worden geleiderailconstructies niet toegepast. Vanuit de invalshoeken zelfredzaamheid en hulpverlening kleven er namelijk de volgende nadelen aan:

- Geleiderailconstructies kunnen door veel mensen moeilijk worden gepasseerd om een hulppost of vluchtdeur te bereiken. Dit is bij betonnen barriers veel beter mogelijk door er uitsparingen in te maken.
 - Hulpverleners zouden twee keer over een geleiderail moeten stappen om van de ene in de andere buis te komen. Dit is zeer bezwaarlijk.
 - Vanuit een oogpunt van een eenduidig wegbeeld in tunnels en van eenduidige voorlichting aan weggebruikers voor gedrag in tunnels verdient het de voorkeur zo veel mogelijk de combinatie barrier-vluchtdeur toe te passen.
- 7 *Voetpaden.* In Nederlandse tunnels in rijkswegen worden [verhoogde](#) voetpaden niet toegepast omdat de verhoogde randen tot ernstige ongelukken kunnen leiden. In de Europese richtlijn [2004/54/EG wordt in bijlage I, onder 2.3.1](#) gesteld dat tunnels zonder vluchtstrook moeten worden voorzien van al dan niet verhoogde voetpaden. Met de in de richtlijnen (tabel 4.3) aangegeven maten voor de objectafstand wordt hieraan voldaan.
- 8 *Goten.* Deze mogen niet in de redresseerstrook worden ondergebracht.

Bermen aan de rechterzijde van de rijbaan hebben voor het grootste deel dezelfde functies als de berm aan de linkerzijde. Het grootste verschil is dat in geval van incidenten de voertuigen ofwel direct ofwel zo snel mogelijk aan de rechterkant van de rijbaan worden geplaatst. Bovendien is op 'normale' autosnelwegen een vluchtstrook aan de rechterkant aangebracht.

Het is een vaste lijn dat vluchtstroken niet worden toegepast in Nederlandse tunnels³. Wel zijn in enkele tunnels ruimtelijke reserveringen aangebracht voor capaciteitsuitbreiding, die tot het moment waarop deze nodig zijn feitelijk als vluchtstrook worden gebruikt. Het zijn functioneel derhalve geen blijvende vluchtstroken, want ze vervallen zodra het verkeersaanbod op de betreffende weg leidt tot de ingebruikname van de reserveringstrook als extra rijstrook.

Uit het oogpunt van veiligheid is het toepassen van een vluchtstrook in tunnels niet noodzakelijk, omdat andere voorzieningen in de tunnel zorgdragen voor een veilige incidentafhandeling. Bij kleine incidenten worden een of meer rijstroken afgesloten en bij grote incidenten worden minimaal twee tunnelbuizen afgesloten, opdat de hulpverleningsdiensten het incident via de veilige tunnelbuis (de buis naast de incidentbuis) kunnen benaderen.

Onderstaand worden aspecten en onderdelen van de berm aan de rechterzijde beschouwd.

- 1 *Zichtlengte.* Voor toelichting zie berm linkerzijde.
- 2 *Kantstreep.* Voor toelichting zie berm linkerzijde.
- 3 *Redresseerstrook.* Voor toelichting zie berm linkerzijde. Als deze breedte groter wordt dan 2,00m is er sprake van een vluchtstrook.
- 4 *Verkeersafwikkeling in geval van incidenten.* Voor de toelichting kan voor het grootste deel verwezen worden naar de toelichting op deze functie bij de berm aan de linkerzijde. Er wordt op gewezen dat in deze gevallen de betrokken voertuigen meestal naar de rechterzijde worden gebracht of daar zelf naar toe gaan. Als de rechterberm over de volle breedte gebruikt wordt voor het opstellen van deze voertuigen kan de verkeersafwikkeling op de rijbaan grotendeels ongehinderd plaats vinden. Bij de dimensionering van de linkerberm hoeft dan geen rekening met deze functie te worden gehouden.

³ Deze lijn is door de minister van V&W bevestigd, zie brief aan Tweede Kamer met kenmerk RWS SDG /prod2009/485/77282 , d.d. 21 april 2009, betreffende commissievragen inzake de tunnels A73.

- 5 *Objectafstand*. Hiervoor wordt verwezen naar de beschrijving van de functies van de berm en aan de linkerkant. Als een vluchtstrook wordt aangebracht is automatisch voorzien in deze functie.
- 6 *Opstelruimte voor gestrande voertuigen*. Dit is een van de belangrijkste functies. De rechterberm kan zo breed worden uitgevoerd, dat gestrande voertuigen er met hun volledige breedte opgesteld kunnen worden en er tevens voldoende uitstapruimte is. De benodigde breedte is dan $2,50\text{m} + 0,60\text{m} = 3,10\text{m}$ voor een vrachtauto en $1,75\text{m} + 0,50\text{m} = 2,25\text{m}$ voor een personenauto. Het ontbreken van een dergelijke opstelruimte kan leiden tot een vergroting (tot 25%)⁴ van de kans op ongelukken. Dit zal vooral het geval zijn bij lange tunnels omdat in geval van pech de bestuurder zijn voertuig niet vlug genoeg op een vluchtstrook aan de kant kan zetten. De kans op filevorming zal in ieder geval toenemen als er geen goede opstelruimte is. [De aanwezigheid van een verkeerssignaleringsysteem kan de kans op ongevallen in gevallen van gestrande voertuigen beperken](#). Bij bediende tunnels kan bovendien snel worden ingegrepen door een rijstrook vrij te maken om het voertuig weg te slepen, waardoor de overlast slechts tijdelijk is.
- 7 *Ruimte voor bermbeveiligingsvoorziening*. Hiervoor kan verwezen worden naar de betreffende passage bij linkerbermen. In het geval rechts een vluchtstrook aanwezig is geldt nog meer dat een keuze uit een geleiderail of barriër grote kostenconsequenties kan hebben. Omdat barrières rechts meestal met minder snelheid, maar met een grotere inrijhoek, zullen worden aangereden dan de barrières links zullen de gevolgen van botsingen met beide typen barrières ongeveer gelijk zijn. Dit pleit dus voor de betonnen barrières.
- 8 *Inhaalstrook voor hulpverleners*. Dit is een belangrijke functie voor de rechterberm. In geval van file op de rijbaan kunnen politie, brandweer, ambulance en bergingswagens (incident management!) over de vluchtstrook naar de plaats van het ongeval gaan. Deze functie kan bij beperkt verkeersaanbod grotendeels worden overgenomen door ingrijpen van de tunnelbediening. Dan bestaat immers de mogelijkheid een rijstrook bovenstrooms van het incident af te sluiten en vrij te maken voor de hulpverleners.

Alhoewel tweerichtingsverkeer in één tunnelbuis in principe [niet is toegestaan \(Barvw, art. 10, lid 2\)](#), kan het zijn dat hiervoor toch gekozen wordt ten behoeve van:

- het uitvoeren van kortdurend onderhoud tijdens verkeersluwe uren;
- het uitvoeren van grootschalig onderhoud of renovatie waarbij een tunnelbuis langdurig wordt afgesloten.

Het dwarsprofiel dient hierop dan te worden getoetst.

⁴ zie: ROA hoofdstuk III Dwarsprofielen, maart 1993, paragraaf 4.3.2 Vluchtstrook

5 Energie

5.1 Algemeen

Voor het elektrisch voeden van tunnelinstallaties wordt gebruik gemaakt van verschillende voorzieningen, die beschouwd kunnen worden als leveringsbron.

De externe bron is de aansluiting op het openbaar elektriciteitsnet, die wordt verzorgd door het nutsbedrijf.

Interne bronnen zijn de noodstroom- en nobreakvoorzieningen. De reden om te voorzien in interne bronnen heeft te maken met de beschikbaarheidseisen van de achterliggende tunnelinstallaties en de beperkte garantie op energielevering vanuit de externe bron.

Afhankelijk van de ligging van de tunnel ontstaat een sterke variatie in de mogelijkheden van aansluiting op het openbaar net. Ligging in een industrieel ontwikkelde omgeving met een zwaar elektriciteitsnet biedt betere mogelijkheden dan in een landelijke, dun bevolkte omgeving. Vaak zal aanvulling met interne bronnen noodzakelijk zijn om aan een hoge mate van beschikbaarheid te voldoen.

Mede door de variatie in omvang en uitrustingsniveau van tunnels is het noodzakelijk een objectgebonden bedrijfseconomische afweging te maken voor de uiteindelijke verdeling tussen externe en interne bronnen. Hierbij dient tevens de onderliggende voedingsstructuur, die de schakel vormt tussen de bron en de te voeden installaties, betrokken te worden.

Er is een grote diversiteit aan energiegebruikers in een tunnel, variërend van zware ventilatoren en pompen, die weinig gebruikt worden tot lichte elektronica, die permanent in gebruik is. Een ongenueanceerde benadering kan leiden tot zeer hoge en onnodige investeringen al of niet gepaard gaande met schijnzekerheid.

De basis voor een economisch verantwoord energievoorzieningsconcept vormt een goed afgewogen keuze in beschikbaarheid voor de betreffende installaties.

Het navolgende geeft een beschouwing op de mogelijke energiebronnen, de gevolgen van stroomuitval en een indelingsprincipe voor diverse tunnelinstallaties. Hiermee wordt richting gegeven aan het bepalen van de hoofduitgangspunten voor het ontwerp, waarbij de ontwerpvrijheid maximaal wordt gehouden.

5.2 Uitgangspunten voor het dimensioneren

Verkeerstunnels worden voorzien van een breed scala aan technische installaties, die voor een groot deel zorgen voor veiligheid. De energievoorziening vormt een kostbaar onderdeel, met name veroorzaakt door de uitgangspunten voor bedrijfszekerheid, die zich vertalen in nobreak, noodstroom en het creëren van redundantie. Voor het bepalen van een weloverwogen keuze bij het voeden van installaties moeten prioriteiten gesteld worden, die zijn afgeleid van de mogelijke risico's bij uitval. Voor het bepalen van de absolute ondergrens voor behoud van veiligheid is onderzocht wat de gevolgen zijn van volledige stroomuitval.

5.2.1 Toelichting op energiebronnen

Landelijke netstructuur:

Vanuit het openbaar net worden primair alle installaties behorende tot de tunnel en het tot de tunnel behorende tracé van elektrische energie voorzien. Het landelijk elektriciteitsnet bestaat op het hoogste niveau uit een bovengronds 380kV koppelnet dat gevoed wordt door elektriciteitscentrales en ook internationale verbindingen heeft. Daaronder bestaat een structuur van veelal bovengrondse 50 t/m 150kV netten voor regionale voedingen (hoogspanning). Hierop zijn verdeelstations aangesloten die aansluitingen verzorgen op het niveau van 10 t/m 25kV (middenspanning). Huisaansluitingen bevinden zich op 400V laagspanningsniveau en blijven voor deze toepassing buiten beschouwing.

De betrouwbaarheidgegevens zijn gebaseerd op statistische gegevens van energieleveringbedrijven in ons land over een periode van vele jaren. EnergieNed is de overkoepelende organisatie die deze cijfers produceert.

Hoewel plaatselijk door energiebedrijven soms gunstiger betrouwbaarheidsgegevens worden verstrekt, biedt dit geen zekerheid voor de toekomst. Vanwege de statistische waarde worden de landelijke betrouwbaarheidsgegevens over de afgelopen 5 jaar als uitgangspunt gehanteerd.

Aansluitmogelijkheden:

In overleg met het plaatselijk energiebedrijf zijn er keuzemogelijkheden voor het betrekken van energie, afhankelijk van plaatselijke omstandigheden. Ook bestaat de mogelijkheid tot het inkopen en huren van voedingssystemen, zelfs van noodstroomvoorzieningen. Het energiebedrijf maakt gebruik van haar eigen infrastructuur die is opgebouwd uit leidingen, kabels en verdeelstations. Uit het oogpunt van bedrijfszekerheid is het aan te bevelen een netaansluiting te kiezen op een hoog niveau in de keten, op een punt dat zo min mogelijk wordt beïnvloed door medegebruikers.

Enkelvoudige netaansluiting:

In de meeste gevallen wordt via een verdeelstation een aansluiting op 10kV niveau aangeboden. Het gemiddelde onderbrekingsinterval voor zo'n aansluiting is 1x per circa 3 jaar, met een gemiddelde onderbrekingsduur van 78 minuten (maximaal 12 uur) *).

Gezien de combinatie van onderbrekingsinterval en onderbrekingsduur kan het wenselijk zijn bij een enkelvoudige netaansluiting, mede afhankelijk van het voorzieningenniveau, tevens te voorzien in een noodstroom- en nobreakvoorziening. Het gezamenlijke onderbrekingsinterval verlengt hierdoor aanzienlijk tot 1x per meerdere 10-tallen jaren, afhankelijk van de gekozen configuratie en de energiebehoefte.

Dubbele netaansluiting:

Een aantrekkelijk alternatief is om gebruik te maken van twee aansluitingen, die afkomstig zijn van verschillende verdeelstations. Bij uitval van de een wordt automatisch overgeschakeld naar de ander, echter altijd met een korte onderbreking. De betrouwbaarheid van zo'n aansluiting is afhankelijk van de wijze waarop de verdeelstations worden gevoed. Indien beide zijn gekoppeld aan hetzelfde hoogspanningsnet bepaalt deze de uiteindelijke betrouwbaarheid. Indicatie voor het gezamenlijke onderbrekingsinterval: 1x per circa 6 jaar, met een gemiddelde onderbrekingsduur van 48 minuten (maximaal 18 uur)⁵. In dit geval kan een nobreakvoorziening alsmede een kleine noodstroomvoorziening ter grootte van het nobreakvermogen gewenst zijn.

Redundante netaansluiting:

Indien de verdeelstations worden gevoed door gescheiden hoogspanningsnetten is een zeer hoge mate van betrouwbaarheid te verkrijgen, namelijk het gezamenlijke onderbrekingsinterval van beide redundante netaansluitingen. Afhankelijk van de positie van het verdeelstation in de netstructuur is een onderbrekingsinterval van 1x per 10 jaar of meerdere 10-tallen jaren te behalen. Dit biedt de mogelijkheid de gehele noodstroomvoorziening achterwege te laten. Een nobreaksysteem blijft echter noodzakelijk in verband met de tunnelbuisafsluiting bij totale stroomuitval of zeer kortstondige stroomonderbrekingen.

Nobreaksystemen:

Een nobreaksysteem dient in z'n algemeenheid, bij het optreden van stroomuitval, voor het in bedrijf houden van vitale installaties met het oog op veiligheid, verkeersbeheersing en bediening van de tunnel. Er zijn twee principes te onderscheiden te weten statische nobreaksystemen en roterende nobreak/noodstroomsystemen. De laatste is eigenlijk een variant op een noodstroomvoorziening en wordt daarom verderop toegelicht.

Een statisch nobreaksysteem betreft energie uit een hoger liggende voeding en voedt hiermee een accubatterij alsmede de op nobreak aangesloten installaties. Bij uitval van de hoger liggende voeding wordt de benodigde energie betrokken uit de accubatterij. Afhankelijk van het gekozen energievoorzieningsconcept wordt de startprocedure van een noodstroomvoorziening of de omschakeling op een tweede netaansluiting zonder spanningsonderbreking overbrugd. De capaciteit van de accubatterij bepaalt de beschikbare energiebuffer van het nobreaksysteem en daarmee de tijdsduur van energielevering, ook wel standtijd genoemd.

⁵ Bronvermelding: Betrouwbaarheidsgegevens van het Nederlandse elektriciteitsdistributienet, mei 2000, gepubliceerd door EnergieNed

Noodstroomvoorziening:

Een noodstroomvoorziening dient voor het overnemen van de energielevering uit het openbaar net in geval van stroomuitval van het openbaar net of bij onderhoud aan het systeem voor netaansluiting.

Een noodstroomvoorziening bestaat uit één of meer door dieselolie gevoede aggregaten en wordt automatisch gestart na het detecteren van stroomuitval. De keuze van dieselolie in plaats van gas als brandstof is gebaseerd op een afweging van kosten en op het scheppen van onafhankelijkheid jegens derden en daarmee het verkrijgen van een hoge mate van continuïteit.

Het aantal aggregaten wordt bepaald door de gewenste capaciteit van de noodstroomvoorziening en de praktische keuze van het product in de markt. De standtijd wordt bepaald door de inhoud van de voorraadtank in combinatie met het verbruik bij vollast. Uitgaande van een ernstige storing in het openbaar net is een standtijd van 3 x 24 uur voldoende.

De capaciteit van de noodstroomvoorziening is afhankelijk van het gekozen energievoorzieningsconcept. In geval van een enkelvoudige netaansluiting op het openbaar net en de daaraan verbonden faalkans van 1x per 3 jaar is het voldoende om op de zogenaamde basislast van de tunnel te dimensioneren. Het begrip basislast wordt in paragraaf 5.3 nader toegelicht.

In geval van een dubbele netaansluiting kan worden volstaan met de capaciteit benodigd voor systemen behorend bij zogenaamd kritisch bedrijf. Het begrip kritisch bedrijf wordt in paragraaf 5.3 nader toegelicht.

De faalkans van een noodstroomvoorziening is gedefinieerd 'per demand', dat wil zeggen het falen bij aanspreken van het gehele systeem, bijvoorbeeld veroorzaakt door een startweigering, afslaan of een storing in het besturingssysteem.

De berekende faalkans⁶ bedraagt $3,41 \cdot 10^{-2}$ voor een enkel aggregaat, hetgeen in combinatie met een kans op netstoring van eens per 3 jaar resulteert in een kans van 1x per 88 jaar op een gezamenlijke uitval. Bij het toepassen van meerdere, parallel werkende aggregaten daalt de kans op volledige uitval aanzienlijk, maar daar zijn wel hogere kosten aan verbonden. De kans op beschikbaarheid van een deel van het opgestelde vermogen neemt aanzienlijk toe. Ter indicatie: een noodstroomvoorziening met 3 aggregaten heeft een faalkans van $4,78 \cdot 10^{-3}$ voor 2/3 van het opgestelde vermogen. Dit resulteert in een gezamenlijke kans op uitval van de combinatie van noodstroomvoorziening en openbaar net van 1x per 628 jaar.

Bij het ontwerp dient een afweging te worden gemaakt waarbij de betrouwbaarheid van de combinatie van netaansluiting en noodstroomvoorziening in relatie tot de gevolgen van gezamenlijke uitval alsmede de kosten integraal worden betrokken.

Aangezien weinig statistische gegevens bekend zijn over faalkansen van noodstroomsystemen en de mate van onderhoud een belangrijke invloed heeft, is enige terughoudendheid geboden bij het toepassen van berekende faalkansgegevens.

Roterende nobreak/noodstroomvoorziening:

Dit principe maakt gebruik van kinetische energie, opgeslagen in een elektrisch aangedreven continue draaiende massa (rotor). Bij stroomuitval wordt deze kinetische energie deels benut om een dieselmotor te starten en deels omgezet in elektrisch vermogen om de aangesloten installaties te voeden. Zodra de dieselmotor gestart is dient deze voor de mechanische aandrijving van de rotor, die dan als generator werkt voor het voeden van installaties.

Zo'n 15 jaar geleden werd dit systeem in tunnels toegepast, maar vanwege onderhoudsgevoeligheid en de opkomst van statische nobreaksystemen verlaten. Echter de ontwikkelingen zijn doorgegaan en thans ziet men de toepassing juist daar waar hoge eisen gesteld worden aan betrouwbaarheid. Het toepassen van de roterende nobreak/noodstroomvoorziening in een bedrijfseconomisch energieconcept voor tunnels behoort thans weer tot de mogelijkheden.

Energiegebruik en -opwekking:

Het energieverbruik in een tunnel wordt bepaald door een relatief klein deel van de geïnstalleerde systemen, hoofdzakelijk die voor verlichting, besturing en communicatie. Deze systemen zijn permanent in bedrijf. De zwaardere systemen zoals pompen en ventilatoren worden incidenteel gebruikt.

Gelet op het grote verschil tussen de permanente en incidentele energiebehoefte is het om economische redenen niet zinvol gebruik te maken van een eigen energieopwekking voor de permanente energiebehoefte.

⁶ Bronvermelding: Risico analyse 400V/PLC-net Wijkertunnel, maart 1999, opgesteld door DHV

5.2.2 gevolgen stroomuitval in een verkeerstunnel

De installaties in verkeerstunnels worden ontworpen vanuit het uitgangspunt dat voorkomen moet worden dat de stroomvoorziening geheel uitvalt. Om de kans op volledige stroomuitval te beperken worden vrij aanzienlijke investeringen in apparatuur (back-up apparatuur, redundante netaansluitingen) gedaan. Om te kunnen bepalen in welke mate en tot welk niveau de faalkans van de stroomvoorziening moet worden beperkt is in deze bijlage een inventarisatie gedaan van de mogelijke gevolgen van volledige stroomuitval voor het tunnelbedrijf. Onder volledige stroomuitval wordt verstaan, plotselinge en algehele uitval van alle elektrische voeding van de tunnel.

Volledige uitval van de stroomvoorziening tengevolge van uitval van het openbaar net gedurende een zó lange periode dat ook alle back-up voorzieningen worden uitgeput zal in deze overweging verder niet afzonderlijk worden beschouwd aangezien op dit type volledige stroomuitval ruim van tevoren kan worden geanticipeerd.

Volledig uitvallen van de stroom in een tunnel is mogelijk ten gevolge van:

- falen van het openbare elektriciteitsnet indien geen back-up voorzieningen in de tunnel zijn geïnstalleerd;
- falen van het openbare elektriciteitsnet én gelijktijdig falen van alle back-up voorzieningen (falen van de UPS tijdens uitval van het openbaar net);
- falen van de hoofdvoedingscomponenten van de energievoorziening van de tunnel;
- sabotage (of bewust uitschakelen).

De kans op volledige stroomuitval wordt bepaald door:

- de kans op falen van het openbaar net en gelijktijdig falen van de back-up voorzieningen indien geïnstalleerd;
- de wijze waarop de energievoorziening van de tunnel is opgebouwd en aangesloten op het openbaar net;
- het aantal, type, capaciteit en faalkans van de hoofdvoeding en de back-up componenten in de stroomvoorziening;
- de kwaliteit en de faalkans van de regelcircuits van de energievoorziening.

Volledige stroomuitval heeft tot gevolg dat alle tunnelinstallaties buiten bedrijf gaan.

- In eerste instantie merkt de tunnelgebruiker dit doordat alle verlichting en alle verkeersregelsystemen uitvallen; het wordt volledig donker in de tunnelbuis en matrixsignaalgevers van de verkeerssignalering doven.
- In tweede instantie merkt de tunnelgebruiker dit doordat alle communicatiemiddelen falen, dat wil zeggen de HF-installatie zendt niet meer uit (radio valt stil) en de [noodtelefoons](#) zijn niet meer bruikbaar.
- De tunnelbediening krijgt geen signalen meer uit de tunnel aangezien de CCTV geen beeld meer geeft en ook detectiesystemen (stilstandsdetectie, apparatuur stand- en niveaumeldingen) niet meer werken. Eventuele gevolgen van het uitvallen van de stroom in de tunnel worden daarom door de tunnelbediening niet opgemerkt.
- Communicatie richting tunnel is niet meer mogelijk. Luidsprekers en de HF-installatie zijn buiten bedrijf.
- De drainage pompinstallaties werken niet meer. Afhankelijk van de hoeveelheid water die gedurende de stroomuitval wordt toegevoerd ten gevolge van regenval en/of lekkages en de bergingscapaciteit van de waterkelders zullen daardoor na zekere tijd de waterkelders gaan overstromen waardoor zich water gaat verzamelen op het diepste punt van de tunnel. Zodra een plas water op de weg ontstaat wordt de tunnel ongeschikt voor normaal verkeer. Al een vrij dunne laag water op de weg kan leiden tot watergordijnen en slippartijen met mogelijk ernstige gevolgen. Op langere termijn zou zich een aanzienlijke hoeveelheid water in de tunnel kunnen gaan verzamelen met mogelijk gevolgen voor de tunnel en de installaties. Dit is eveneens afhankelijk van de tijdsduur van de stroomuitval en de hoeveelheid toegevoerd water.
- De tunnelventilatie werkt niet meer. Tijdens normaal verkeer heeft dit geen gevolgen.

De gevolgen van volledige stroomuitval tijdens onderhoud en opruimingswerkzaamheden in de tunnel zijn gelijk aan die tijdens normaal verkeer, echter er ontstaat een bijzondere situatie doordat tijdens werkzaamheden in de tunnel zeker minstens één rijstrook verkeersvrij zal zijn gemaakt ten behoeve van bij de werkzaamheden betrokken personen en de benodigde voertuigen en werktuigen. Indien deze afzetting niet is begeleid door harde verkeersmaatregelen zoals vaste borden, bakens en barrières (en dat is vrijwel uitsluitend het geval bij langdurige, geplande

werkzaamheden), zal de weggebruiker niet langer geattendeerd worden op de aanwezigheid van personen en werktuigen in de tunnel, waardoor zeker een extra gevaarlijke situatie zal ontstaan.

De gevolgen van volledige stroomuitval tijdens een calamiteit in de tunnel zijn in principe overeenkomstig die tijdens onderhoud en opruimingswerkzaamheden, echter ook de middelen ter bestrijding van de calamiteit of ter beperking van de gevolgen daarvan zijn niet langer meer bruikbaar. De tunnelventilatie stopt waardoor rook en gassen die vrijkomen niet meer kunnen worden verdreven.

De brandblusinstallatie, tenzij gevoed met externe middelen (bluspomp van de brandweer of direct aangesloten op de openbare waterleiding), wordt drukloos zodat niet meer beschikt kan worden over bluswater.

Bijzondere gebeurtenis⁷ leidend tot stroomuitval

- Een calamiteit in de tunnelbuis kan leiden tot uitvallen van een deel van de tunnelinstallaties. Alle tunnelinstallaties zijn per installatie verdeeld in secties en onderverdeeld in groepen. Elke sectie en/of groep is afzonderlijk beveiligd zodanig dat uitval van één sectie of groep niet kan leiden tot uitval van een andere sectie of groep. Daarbij is zorg gedragen dat geheel of gedeeltelijk uitvallen van een installatie in één tunnelbuis niet zal leiden tot uitval of storingen in de functie van dezelfde installatie in de andere tunnelbuis.
- Een calamiteit binnen het gebouw of de technische ruimten waar de hoofdvoeding van een installatie staat kan leiden tot volledige uitval van een installatie of van alle installaties.
- Sabotage kan leiden tot volledig uitvallen van alle tunnelinstallaties.
- Storing in één deel van de technische installaties kan andere installaties beïnvloeden. Volledige stroomuitval ten gevolge van een dergelijke storing is onwaarschijnlijk. Bovendien zijn de meeste installaties 'fail-safe' uitgevoerd; dat wil zeggen bij uitvallen van de sturing schakelt het systeem in de meest gewenste bedrijfsstand. Bijvoorbeeld: indien de sturing van de brandbluspompen faalt, starten de brandbluspompen; bij falen van de sturing van de verlichting gaat deze in de stand 100% branden.
- In een tunnel met back-up faciliteiten in de stroomvoorziening zullen weersomstandigheden in het algemeen niet leiden tot het volledig uitvallen van de stroomvoorziening. In installaties die daar onvoldoende tegen zijn beschermd zou blikseminslag tot volledige stroomuitval kunnen leiden.

Stroomuitval leidend tot een calamiteit

- Plotselinge stroomuitval komt voor de weggebruikers als een verrassing. Doordat het donker wordt verandert opeens het referentiekader en wordt een andere wijze van oriëntatie vereist. Met name in tunnels waar de visuele geleiding slecht is (slechte of onduidelijke belijning, donkere of vuile wanden) zou dit kunnen leiden tot desoriëntatie en daardoor tot calamiteiten.
- Volledige stroomuitval zal ook uitvallen van de verkeerssignalering tot gevolg hebben. Indien dit gebeurt tijdens een rijstrookblokkering ten behoeve van werkzaamheden waarbij mensen en voertuigen in de tunnel aanwezig zijn, kan uitvallen van de verkeerssignalering tot ernstige ongelukken leiden (zeker in combinatie met plotseling uitvallen van de verlichting).
- De lange-termijneffecten van een stroomuitval zullen niet snel leiden tot een calamiteit aangezien er tijd is om hierop te anticiperen.
N.B. 'Lange-termijneffect' is bijvoorbeeld wateroverlast in de tunnel ten gevolge van het stoppen van de pompinstallaties. Er zijn echter omstandigheden waarbij dit lange-termijneffect al binnen korte tijd kan optreden, bijvoorbeeld als de stroomvoorziening faalt tijdens een hevige regenbui. Al binnen korte tijd zal dan wateroverlast in de tunnel kunnen ontstaan.

5.3 Indeling naar bedrijfsvoering

Het onderscheiden van enkele typen van bedrijfsvoering geeft de mogelijkheid tot het onderkennen van prioriteit en functionaliteit, waarna het eenvoudig is de betreffende installaties in te delen. Op deze manier ontstaat een logisch verband tussen installaties en voedingssystemen, gerelateerd aan de kansen op uitval van de stroomvoorziening. De onderscheiden bedrijfsvoeringen zijn: normaal bedrijf en calamiteitenbedrijf.

⁷ Onder bijzondere gebeurtenissen wordt in dit verband verstaan: calamiteiten, sabotage, storingen in een deel van de technische installaties en weersomstandigheden.

Normaal bedrijf

Hiermee wordt de situatie bedoeld waarbij de tunnel volledig operationeel is, onder wisselende licht-, weers- en verkeersomstandigheden. Tot dit bedrijf behoren alle installaties die een directe functionele relatie hebben met het verkeer en de verkeersveiligheid met uitzondering van ventilatiesystemen en brandblusvoorzieningen. Aangezien deze bedrijfssituatie het meest aan de orde is, is de beschikbaarheid van het openbaar net maatgevend en zal eventueel een noodstroomvoorziening noodzakelijk zijn. Indien sprake is van een noodstroomvoorziening zal deze gedimensioneerd moeten zijn op de gehele of gedeeltelijke energiebehoefte van normaal bedrijf. Bij normaal bedrijf worden onderscheid gemaakt tussen kritische en niet-kritische functies, waardoor het mogelijk is een toedeling te maken naar een nobreaksysteem. De energiebehoefte tengevolge van normaal bedrijf wordt de basislast genoemd.

Kritische en niet-kritische functies

Bij een omvangrijke stroomuitval is het nodig een aantal systemen langer in bedrijf te houden om de veiligheid van de weggebruiker zo veel mogelijk te waarborgen.

Uit de voorgaande analyse met betrekking tot de gevolgen van stroomuitval blijkt dat de systemen voor verkeersgeleiding, met name de (minimum) tunnelverlichting en verkeerssignaling behoren tot die met het hoogste beschikbaarheidsniveau.

Het is vanzelfsprekend dat systemen voor besturing, bediening en bewaking ook behoren tot deze categorie. Aangezien dergelijke elektronische systemen relatief weinig energie vragen is een verdere afweging om economische redenen niet zinvol. Om dezelfde reden kunnen systemen voor verkeersdetectie, communicatie, gebouwbewaking, zichtmeting en rookdetectie hieraan worden toegevoegd. Verkeersgeleiding, besturing, bediening en bewaking worden daarom 'kritische functies' genoemd.

Gelet op de gevoeligheid op voedingsonderbreking van voornoemde meestal elektronische systemen zal een nobreaksysteem moeten worden toegepast.

De overige functies, met uitzondering van brandbestrijding en vluchten, worden als 'niet-kritisch' beschouwd.

Calamiteitenbedrijf:

Dit is de situatie waarbij sprake is van een verkeersongeval, waarbij ventilatiesystemen en/of brandblusvoorzieningen worden aangesproken. Uit de analyse met betrekking tot de gevolgen van stroomuitval blijkt geen oorzakelijk verband tussen stroomuitval en calamiteit.

Voorts is de kans dat een calamiteit gelijktijdig optreedt met een stroomuitval van het openbaar net dermate klein dat op economische gronden niet wordt voorzien in noodstroomvermogen voor de relatief zware vermogens voor ventilatoren en brandbluspompen. De extra energiebehoefte ten gevolge van het calamiteitenbedrijf wordt de pieklast genoemd.

Falen van de noodstroomvoorziening of de tweede netaansluiting

Indien een beroep wordt gedaan op deze secundaire voorzieningen en de omschakeling door een storing niet goed verloopt, resteert alleen de nobreakinstallatie als energiebron. In dat geval, hetgeen als een uitzonderlijke situatie kan worden beschouwd, rest niets anders dan de tunnel op een beheerste manier verkeersvrij te maken en af te sluiten. Dit betekent dat deze procedure moet eindigen in een fysieke afsluiting door middel van verkeerslichten en slagbomen. De benodigde tijd voor zo'n afsluitingsprocedure is circa 20 minuten; **de standtijd van het nobreaksysteem dient te worden afgestemd op de benodigde tijd voor de afsluitprocedure.** De capaciteit van het nobreaksysteem wordt bepaald door het totaal vermogen van de op nobreak aangesloten installaties. Hiertoe behoren dus ook de slagbomen.

Zie ook hoofdstuk 21 'Compenserende maatregelen bij falen van tunnelinstallaties'.

In die gevallen waarbij sprake is van een onbediend object of een bediend object zonder fysieke afsluitingsmiddelen, rest ingeval van voornoemde storing nog maar één mogelijkheid en die is het handmatig ingrijpen in de situatie terplekke. De standtijd voor het nobreaksysteem zou hierop aangepast moeten worden.

6 Verlichting

6.1 Algemeen

In verkeerstunnels moet een veilige en ongestoorde doorstroming van het verkeer zo goed mogelijk worden gewaarborgd. De verlichting draagt hier in hoge mate aan bij.

Voor een weggebruiker spelen bij het besturen van een voertuig onder andere de volgende aspecten een rol:

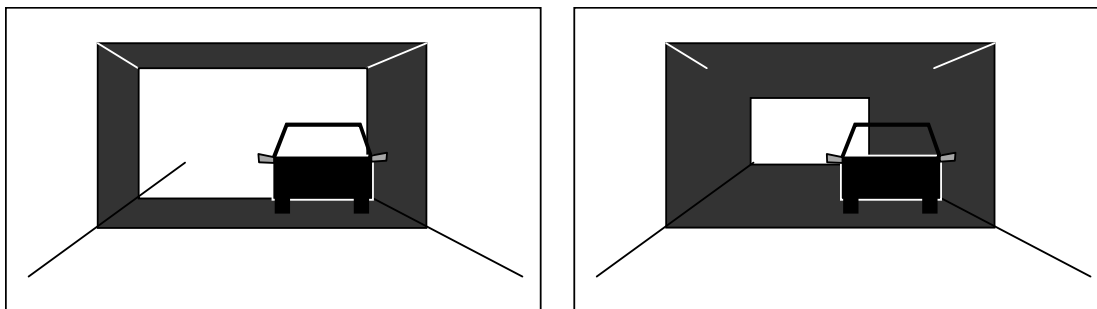
- De waarneming van andere voertuigen en van objecten op de weg:
Aangezien in tunnels relatief veel ongevallen ontstaan door verschillen in snelheid dient aan weggebruikers voldoende visuele informatie te worden geboden waaruit zij de snelheid van en de afstand tot hun voorgangers kunnen afleiden. De mogelijkheid tot het kunnen waarnemen en herkennen van andere voertuigen en objecten op de weg hangt samen met het contrast dat deze hebben met de weg en andere elementen binnen het blikveld. De mate van contrast wordt bepaald door een combinatie van factoren zoals de mate van daglicht, de hoeveelheid tunnelverlichting, de grootte van het waar te nemen object, de reflectie-eigenschappen van het wegdek, verstorende invloeden in de atmosfeer, de voorruit en het oog van de waarnemer zelf en verstorende invloeden van lichte vlakken in het blikveld van de waarnemer. Vanaf de waarnemerpositie steken voertuigen vooral tegen het wegdek af en voor een geringer deel tegen de wanden.
- Het kunnen volgen van de weg, ook wel visuele geleiding genoemd:
Visuele geleiding wordt bepaald door visuele aanwijzingen over het verloop van de weg. Dit aspect hangt slechts ten dele met tunnelverlichting samen (in de tunnel kan het verloop van de weg worden afgeleid zowel uit de verlichtingsarmaturen als uit de aangestraalde constructie-elementen en wegdekbelijning). Eventuele retroreflecterende elementen of actieve ondersteunende verlichting (bijvoorbeeld LED's) dragen hier ook toe bij.
- De beleving of mentale gevoelens:
Verlichting kan voor een deel helpen bij de oriëntatie en bij het verminderen van claustrofobische angstgevoelens.

6.2 Kunstverlichting

Verlichting van korte gesloten constructies in de dagsituatie

Korte gesloten constructies kunnen overdag onverlicht blijven als voertuigen en/of andere weggebruikers zich in voldoende mate als donker silhouet aftekenen tegen de relatief lichte buitenwereld die achter de uitgang wordt gezien. In het algemeen geldt dat korte gesloten constructies met een lengte tot 25m overdag nooit worden verlicht en dat gesloten constructies langer dan 200m overdag altijd kunstverlichting behoeven. De noodzaak van kunstverlichting in gesloten constructies met een lengte van 25 tot 200m dient op basis van een analyse te worden vastgesteld.

Weggebruikers nemen een korte gesloten constructie waar als een zwart of donker grijs raam (zie figuur 6.1). Indien op stopafstand voor de ingang een weggebruiker de uitgang niet of niet voldoende kan zien, doordat de constructie daarvoor te lang is of vanwege een bocht, kunnen voertuigen en voorwerpen 'verdwijnen' in het zwarte raam. In dat geval dient de verlichting van het eerste deel van de constructie te worden uitgevoerd als bij een tunnel.



Figuur 6.1 Een korte gesloten constructie doet zich voor als een zwart raam

Verlichtingszones van tunnels in de dagsituatie

Men verdeelt een tunnel lichttechnisch veelal in de volgende delen:

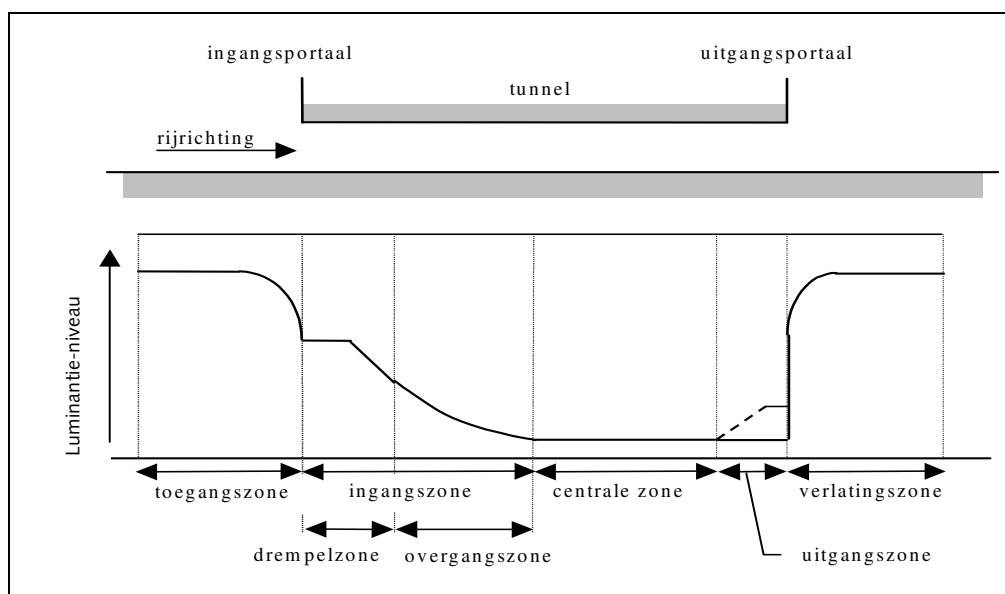
- de ingangszone, waarin het lichtniveau geleidelijk wordt verminderd;
- de centrale zone, waarin het lichtniveau constant is;
- de uitgangszone, waarin het lichtniveau geleidelijk wordt verhoogd.

Men verdeelt de ingangszone weer in twee delen: de drempelzone en de overgangszone. Daarnaast onderscheidt men nog de toegangszone en de verlatingszone.

Bij het rijden door een tunnel doen zich achtereenvolgens de volgende situaties voor:

- 1 Toegangszone: tijdens het naderen van de tunnel moet men, nog rijdend in het daglicht, in de ten opzichte van de buitenwereld relatief donkere ingangszone van de tunnel kunnen onderscheiden of de weg vrij is dan wel dat men manoeuvres moet maken. Men moet hierbij contrasten voldoende kunnen waarnemen.
- 2 Ingangszone: bij het binnenrijden van de tunnel wordt de hoeveelheid waargenomen licht in korte tijd veel minder waardoor het oog zich moet adapteren aan de gewijzigde verlichtingssituatie. Oogadaptatie is een tijdsafhankelijk proces. De mate waarin het verlichtingsniveau in het verdere verloop van de ingangszone afneemt dient derhalve te zijn afgestemd op de ontwerpsnelheid.
- 3 Centrale zone: bij het rijden door de centrale zone van de tunnel, waarbij men is gewend aan het lage lichtniveau, dient de verlichting een voldoende niveau en gelijkmatigheid te hebben.
- 4 Uitgangszone: bij het naderen van de uitgang kan men, vooral bij lange tunnels (tunnels langer dan circa 1km) met een laag lichtniveau, verblind raken door de uitgang. Bij lange tunnels waar het lichtniveau in de centrale zone erg laag is, vormt men daarom een uitgangszone met een verhoogd lichtniveau.
- 5 Verlatingszone: bij het verlaten van de tunnel moet men weer wennen aan het daglichtniveau buiten de tunnel.

Het verloop van het verlichtingsniveau is weergegeven in figuur 6.2.



Figuur 6.2 verloop van het verlichtingsniveau in de dagsituatie tijdens het passeren van een tunnel

Verlichting in de ingangszone van tunnels

In de drempelzone is de waarneming van contrasten van grotere invloed op het verlichtingsniveau dan de oogadaptatie.

In de overgangszone is de oogadaptatie van weggebruikers maatgevend.

Voor de ingangsverlichting zijn er 3 verschillende methoden te onderscheiden:

- tegenstraalverlichting: hierbij wordt meer licht tegen de rijrichting in gestraald dan met de rijrichting mee, waardoor het wegdek zich extra verlicht voordoet terwijl de achterzijde van voertuigen zich donker voordoet (contrast door donker voertuig tegen licht wegdek);
- symmetrische verlichting: hierbij wordt zowel tegen de rijrichting in als met de rijrichting mee evenveel licht uitgestraald; donkere voertuigen hebben een contrast tegen een licht wegdek, lichte voertuigen tegen een relatief donkerder wegdek;
- meestraalverlichting: het meeste licht wordt met de rijrichting mee gestraald, waardoor voertuigen als lichte objecten tegen een donker wegdek afsteken.

Het daglicht werkt bij de ingang als meestraalverlichting en heeft een overheersende invloed over de eerste 20m vanaf de ingang. Bij tunnels geheel boven maaiveld (er valt dan veel daglicht in de tunnelingang) kan tegenstraalverlichting duurder zijn dan symmetrische verlichting. De tegenstraalverlichting moet het dan opnemen tegen het meestralende daglicht waardoor een hoog lichtniveau en daardoor een omvangrijke installatie nodig is. In alle andere gevallen blijft tegenstraalverlichting goedkoper te zijn dan symmetrische verlichting.

Bij toepassing van meestraalverlichting doet de tunnelingang zich als een 'donker gat' voor aan weggebruikers en versterkt daardoor gevoelens van onbehagen. Tevens doet circa 75% van de voertuigen zich lichttechnisch gesproken donker voor waardoor bij meestraalverlichting veel meer licht moet worden geïnstalleerd dan bij symmetrische of tegenstraalverlichting het geval zou zijn. Meestraalverlichting kan daarom meestal beter niet worden toegepast.

Het niveau van de ingangsverlichting dient te worden geregeld op basis van de hoeveelheid daglicht. De regeling geschiedt bij voorkeur op basis van een diminstallatie (bestaande uit dimmers en groepsschakelaars), maar kan bij tunnels met een gering verkeersaanbod worden uitgevoerd door het schakelen van groepen armaturen.

Een te laag lichtniveau in de ingang leidt tot gevoelens van onbehagen bij weggebruikers. Een te hoog lichtniveau in de ingang leidt tot verblinding. Beide situaties kunnen tot onveilig verkeersgedrag leiden.

Rijkswaterstaat heeft onderzoek laten uitvoeren waaruit blijkt dat wanneer een optimaal schakelsysteem wordt gebruikt er qua totale kosten weinig verschil is tussen een geschakeld systeem en een gedimd systeem. Echter een optimaal geschakeld systeem vereist een meer uitgekende vorm van lampvervanging die in de praktijk moeilijker is te realiseren dan de lampvervanging bij een gedimd systeem. Tevens is de verlichtingssituatie bij dimmen voor de weggebruikers aangenamer omdat er minder discontinuïteiten in de verlichting zijn wanneer een laag lichtniveau is ingeschakeld.

Verlichting in de centrale zone en uitgangszone van tunnels

De verlichting in de centrale zone wordt in principe bepaald door het niveau en de gelijkmatigheid in dwars- en langsrichting. In moderne tunnels is meestal hoge druk natrium puntverlichting aangebracht.

Naarmate de tunnel langer is kan het lichtniveau in de centrale zone lager zijn. Hoe lager het lichtniveau in de tunnel is hoe meer het oog moet adapteren aan het daglichtniveau buiten de tunnel. Bij lage lichtniveaus in de tunnel dient het lichtniveau in de uitgangszone met de lengte toe te nemen zodat het oog alvast enigszins adapteert.

Wanneer men bij een lange tunnel reeds op grote afstand de heldere uitgang kan zien kunnen weggebruikers daarop gefixeerd raken waardoor hun concentratie op de verkeerssituatie vermindert. Dit kan worden voorkomen door bijvoorbeeld aan het eind van de tunnel een bocht te maken of door het directe daglicht in de verlatingszone (gedeeltelijk) af te schermen.

Verlichting in de nachtsituatie

Omdat een korte gesloten constructie of een tunnel altijd een discontinuïteit in het wegbeeld oplevert is het gewenst dat de constructie en de wegdelen in de toegangs- en verlatingszone verlicht zijn, ook als de aansluitende wegen 's nachts onverlicht zijn. Hiermee wordt voorkomen dat weggebruikers plotseling snelheid verminderen bij de onverwachte confrontatie met de tunnelingang dan wel een grotere afstand tot de berm houden. Het lichtniveau dient echter niet zodanig hoog te zijn dat men bij het binnenrijden van de tunnel wordt verblind, dan wel bij het uitrijden van de tunnel de eerste tijd niets ziet vanwege de noodzakelijke adaptatie van de ogen.

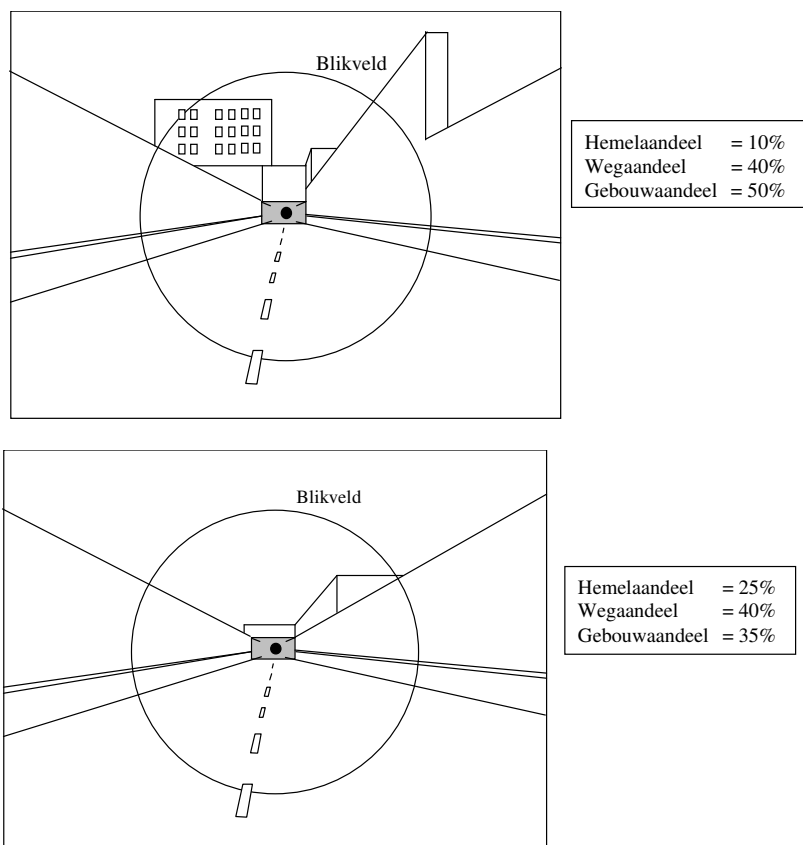
Als de aansluitende wegen verlicht zijn mag de verlichting in de tunnel qua niveau niet teveel afwijken van de openbare verlichting van de aansluitende wegen. Het verdient de voorkeur het lichtniveau in de tunnel wat hoger te houden dan buiten de tunnel.

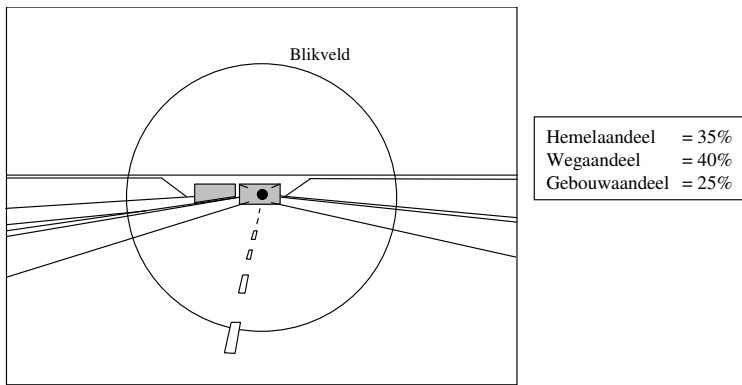
In de nachtsituatie dient het verlichtingsniveau in de ingangszone gelijk te zijn aan het niveau in de centrale zone om een continu wegbeeld te krijgen.

6.3 Bouwkundige aspecten

De tunnelingang dient zodanig te worden ontworpen dat bij voorkeur een zo groot mogelijk deel van de hemel wordt afgeschermd binnen het blikveld van de weggebruiker, gezien vanaf de stopafstand voor de ingang. Met name bij een Oost-West ligging dient hierop te worden gelet vanwege lage zonnestanden.

De volgende figuren illustreren dit.





Directe zonnestraling kan men vermijden door bijvoorbeeld een gebouw of beplanting bovenop het tunnelportaal.

Bij tunnelingangen dienen de constructieonderdelen van de tunnel, die binnen het blikveld van de weggebruiker liggen gerekend op stopafstand geen grote helderheid te bezitten. Met name door de zon beschenen oppervlakken dienen van zodanig materiaal te zijn of zodanig te zijn behandeld dat zij niet sterk reflecteren of spiegelen. Aan de andere kant leidt een tunnelingang die een donkere indruk geeft, tot gevoelens van onbehagen en onveiligheid bij weggebruikers⁸.

De weggebruiker moet zich reeds op geruime afstand van de tunnelingang bewust kunnen worden van het feit dat hij of zij een tunnel nadert. Dit dient te worden bereikt door het wegbeeld van de toeleidende weg en door een zodanige vormgeving van de ingang dat deze zich ruim van tevoren als zodanig manifesteert⁹.

In de drempelzone dienen de wanden tot een hoogte van circa 2m boven het wegdek in een lichte kleur te zijn afgewerkt. Dit ondersteunt weggebruikers in hun waarneming bij het naderen en binnenrijden van een tunnel. Wanden met een donkere kleur in de ingangzone leiden bij weggebruikers, die de tunnel naderen tot gevoelens van onbehagen en onzekerheid, waardoor sommigen snelheid zullen verminderen. Dit leidt tot een onrustig verkeersbeeld en een verhoogde kans op ongevallen.

De wanden in de centrale zone dienen voldoende zichtbaar te zijn en voor de weggebruiker dient zichtbaar te zijn waar het wegdek ophoudt en de wand begint. In de centrale zone hebben wanden ten opzichte van het wegdek slechts een geringe bijdrage aan het vermogen voertuigen te kunnen waarnemen, maar wel een significante bijdrage aan het voorkomen of verminderen van gevoelens van onbehagen bij weggebruikers.

Uit berekeningen blijkt dat wit betegelde wanden een te verwaarlozen bijdrage (in gunstige gevallen maximaal 5%) aan de verlichting op het wegdek leveren. Zij dragen echter wel bij tot het bevorderen van de positieve beleving in de tunnel.

Hoogglanzende wandafwerkingen dienen in de gehele tunnel te worden vermeden omdat:

- glanzende wanden bij de tunneluitgang veel daglicht weerkaatsen waardoor de tunneluitgang zich als veel groter voordoet dan deze in werkelijkheid is, hetgeen tot desoriëntatie leidt; tegelijkertijd worden weggebruikers, waarvan de ogen aan een donkere situatie zijn geadapteerd, door het vele weerkaatste daglicht verblind;
- de waarneming met CCTV-camera's wordt bemoeilijkt;
- de remlichten van een voorganger vele malen worden weerkaatst waardoor het lijkt alsof er een grote stremming is wat tot gevaarlijke reacties kan leiden.

Het tunnelplafond mag donker zijn omdat deze lichttechnisch niet van belang is voor het kunnen waarnemen van medeweggebruikers en omdat deze weinig of niet bijdraagt aan het verbeteren van de beleving van een tunnel.

⁸ Als voorbeeld: de Botlek tunnel wordt door sommigen als zodanig ervaren.

⁹ Goede voorbeelden zijn met name de Schiphol tunnel en de 2^e Benelux tunnel

Uit het oogpunt van verlichting is het gunstig in een tunnel een wegdek met een gesloten structuur toe te passen omdat een dergelijk wegdek het licht goed reflecteert. Dat is vooral in de ingangszone belangrijk als tegenstraalverlichting is toegepast. Een wegdek met een gesloten structuur leidt bij regenval echter tot veel opspattend water hetgeen nabij de tunnelingang leidt tot een sterk verlies aan waarneming. Er zijn goede ervaringen opgedaan met een ZOAB-wegdek zowel voor de tunnelingang als de eerste meters in de tunnel. Dit is niet strijdig met de ingangsverlichting: de eerste 20m na de ingang overheerst de daglichtinvloed in de wegdek luminantie, daarna de invloed van de ingangsverlichting.

6.4 Daglichtinvloeden

Daglichtroosters

Daglichtroosters zijn in 2 klassen onder te verdelen:

- daglichtroosters zonder doorlating van direct zonlicht;
- daglichtroosters met doorlating van direct zonlicht.

Daglichtroosters zonder doorlating van direct zonlicht zijn bedoeld om het lichtniveau in de drempelzone via natuurlijke weg te verminderen. Op basis van praktijkervaring in Nederland¹⁰ blijken dergelijke roosters slecht te werken en sterk gevoelig te zijn voor veroudering en vervuiling. Dat is de reden waarom zij niet meer worden toegepast.

Daglichtroosters met doorlating van een deel van het daglicht en een deel van het directe zonlicht zijn vooral bedoeld om de hemel binnen het blikveld van de weggebruiker af te schermen, waardoor de verstorende werking daarvan voor de weggebruiker wordt verminderd. Een ander doel is een zo evenredig mogelijke verhouding te verkrijgen tussen het lichtniveau in het vrije veld en de door het lichtrooster doorgelaten hoeveelheid licht. Het resultaat is dat een kleinere hoeveelheid ingangsverlichting noodzakelijk is dan zonder lichtrooster.



Foto: daglichtrooster Noordtunnel

Bij de huidige prijsniveaus voor installatie, energie en onderhoud blijken de kosten, gerekend over de hele levensduur, voor daglichtroosters in combinatie met een beperkte ingangsverlichting hoger dan

¹⁰ Bij de Velsertunnel, Coentunnel, Beneluxtunnel, Heinenoordtunnel

de kosten voor alleen ingangsverlichting. In het kader van duurzaam bouwen zijn daglichtroosters qua belasting van het milieu gunstiger.
Qua veiligheid zijn zowel daglichtroosters als kunstverlichting toelaatbaar.

Openingen

Wanneer het tunneldak of een tunnelwand is voorzien van openingen dan dienen er voorzieningen te zijn getroffen die voorkomen dat er bij hoge daglichtniveaus grote verschillen in lichtniveaus op de rijbaan en/of de wanden ontstaan. Directe zonnestraling dient derhalve te worden afgeschermd en eventueel kunnen donkere plaatsen met kunstverlichting worden opgelicht.

Wanneer de afstand tussen twee opeenvolgende tunnels korter is dan de stopafstand dient er voor te worden gezorgd dat, terwijl men nog in de vorige tunnel rijdt, voldoende waarneming van voertuigen in de volgende tunnel mogelijk is.

7 Afvoersysteem

.....

7.1 Algemeen

Het afvoeren van vloeistoffen in tunnels betreft voornamelijk het afvoeren van regenwater; dit regenwater kan (tijdelijk) verontreinigd zijn met afvalstoffen van het verkeer. Daarnaast moet rekening worden gehouden met water afkomstig van lekkage van de constructie, bluswater en schoonmaakwater, door verkeer verloren vloeistoffen en bij calamiteiten vrijgekomen vloeistoffen. De richtlijnen in dit hoofdstuk richten zich vooral op de (potentiële) gevolgen van het vrijkomen van gevaarlijke stoffen.

Onderzoek explosiegevaar

Door TNO is in 1984 onderzoek verricht naar het explosiegevaar bij benzinetransport door zeven verkeerstunnels (TNO-rapport PML 1984 C-46, juni 1984). In dit rapport worden, met het doel om onherstelbare schade aan de tunnelconstructie ten gevolge van een benzinedamp-luchtexplosie te voorkomen, bij het toetsen de volgende criteria gehanteerd:

- Een explosief mengsel over de volle doorsnede is niet toelaatbaar, ook al zal een explosie van een mengsel met een dampconcentratie juist boven de onderexplosiegrens nauwelijks overdruk veroorzaken.
- Een explosie in de kelders is niet toelaatbaar indien de explosie zich kan ontlasten naar het middenkanaal en/of de bedieningsgebouwen en wanneer delen van de kelders in dat geval zo bezwijken dat dit voor de tunnelconstructie fatale gevolgen heeft.
- Overslag van brand en/of explosie van één van de tunnelbuizen naar de andere is niet toelaatbaar.

Op basis van deze criteria zijn door TNO de volgende algemene aanbevelingen opgesteld:

- a) Beperking van de oppervlakte van de benzineplas in de tunnelbuis.
- b) Inlaatcapaciteit en afvoercapaciteit riolering voldoende groot maken.
- c) Ter voorkoming van een detonatie in de rioleringsbuis voldoende ontluchtingsmogelijkheden aanbrengen.
- d) Ter voorkoming van 'pressure piling' (voorcompressie in combinatie met zeer krachtige ontsteking) extra ontluchtingsmogelijkheden aanbrengen bij de ingang van de riolering naar de kelders.
- e) Het verdampend oppervlak in de kelders zo klein mogelijk houden.
- f) De beide tunnelbuizen dienen gescheiden (vloeistof en dampfase) middenkelders te hebben. Zo wordt voorkomen dat een lekkage in één tunnelbuis voor beide buizen gevolgen kan hebben.
- g) In geval van benzinelekkage dienen de pompen uit de middenkelder de vloeistof naar een veilige plaats buiten de tunnel te verpompen. Zo wordt voorkomen dat benzine naar een hoofdkelder gepompt wordt en het explosierisico verplaatst of vergroot wordt.
- h) De pompen dienen geschikt te zijn voor een omgeving waarbinnen de kans op een explosief mengsel onder normaal bedrijf groot is. Een dergelijke omgeving wordt aangegeven als zone 1.
- i) De luiken op de kelder moeten zoveel mogelijk dampdicht zijn, om verspreiding van benzinedamp te beperken.
- j) Het gedeelte boven de kelders dient zo goed mogelijk gescheiden te worden van omliggende ruimten, om verspreiding van damp te beperken (doorvoeren dicht maken, drangers op deuren plaatsen).
- k) In de ontstane afgesloten ruimte boven de kelders dient de elektrische apparatuur (verlichting, niveauschakelaars enzovoort) geschikt te zijn voor een omgeving waarbinnen de kans op een explosief mengsel gering is en dit mengsel maar korte tijd bestaat. Een dergelijke omgeving wordt aangegeven als zone 2.
- l) Om indringing van dampen in het middenkanaal (tevens vluchtgang!) te voorkomen (vanuit tunnelbuizen en pompenruimte) is het aan te bevelen deze onder een lichte overdruk te houden of te brengen bij een eventuele calamiteit.
- m) Zoveel mogelijk voorkomen dat benzine in een hoofdkelder terecht komt door wegpompen uit de zandvangen.

Verder staat in het rapport aangegeven dat, als toch een explosie in de (kleine) middenkelder plaats zou vinden, verwacht wordt dat de structurele schade aan de tunnel beperkt zal blijven (indien voldoende mogelijkheden voor ontluchting aanwezig zijn bij de ingang van de kelder opdat de explosie niet wordt versterkt door pressure piling). Een explosie in een hoofdkelder kan mogelijk ernstige gevolgen hebben, zoals schade aan het bedieningsgebouw.

Bovenstaande aanbevelingen hebben gediend als uitgangspunten voor de richtlijnen, evenwel met de volgende opmerkingen:

Ad a) en b):

In 1988 verscheen het TNO-rapport betreffende de detaillering van de uitstroomhoeveelheid en de uitstroomkansen (TNO ref.nr. 88040, september 1988). In dit rapport wordt uitgegaan van uitstroming van benzine uit een tankwagen verdeeld naar gatgrootte. De volgende gatgroottes worden onderscheiden:

- gatgrootte 1 : 0,02 m³ per minuut
- gatgrootte 2 : 1,8 m³ per minuut
- gatgrootte 3a: 6 m³ per minuut
- gatgrootte 3b: 12 m³ per minuut.

Gatgrootte 3a en gatgrootte 3b kunnen slechts ontstaan indien de tankwagen gekanteld is. Aangegeven wordt dat de kans op kantelen bij een 2-strooks tunnelbuis nagenoeg uitgesloten (nihil) is; in een 2-strooks tunnelbuis met vluchtstrook en een 3-strooks tunnelbuis is deze kans wel aanwezig, maar klein.

Aangezien het uitstroomdebiet erg groot kan zijn (de aangegeven gatgroottes zijn klasse gemiddelden en geen grenswaarden!; het kan gaan om een gescheurde tank) kan niet worden uitgesloten dat een erg grote benzineplas ontstaat. Indien de ontstane plas voldoende tijd krijgt om te verdampen en een optimaal mengsel met lucht kan vormen en daarna wordt ontstoken kunnen de overdrukken bij de optredende explosie zodanig hoog zijn dat de tunnel verloren gaat. De kans hierop is gelukkig klein. Riolerings met een erg grote capaciteit kan de kans hierop slechts in beperkte mate verder verkleinen, maar niet wegnemen (de benzine moet er ook snel genoeg in kunnen).

Als uitgangspunt voor de richtlijnen is aangehouden dat bij gatgrootte 2 (1,8m³ per minuut) het plasoppervlak beperkt moet blijven en de afvoercapaciteit voldoende moet zijn.

Ad e) en f):

Het verdampend oppervlak wordt bij de middenkelder voornamelijk bepaald door constructieve aspecten. Bij de hoofdkelders wordt de aanlegdiepte in meer of mindere mate bepaald in samenhang met het bemalingspeil. In verband met de benodigde nuttige berging is om constructieve redenen besloten de kelders niet te scheiden in één deel per tunnelbuis. In plaats hiervan worden de kelders gescheiden van de tunnelbuizen door middel van watersloten; een waterslot mag niet in verbinding staan met een waterslot in een andere tunnelbuis.

Ad g):

In verband met de hoge kosten en de geringe kans op het samenvallen van een calamiteit met een, ten gevolge van regenval, snel vol stromende hoofdkelder is besloten geen apart reservoir buiten de tunnel aan te leggen. Wel worden aanvullende maatregelen genomen (stoppen pompen, hoogwaterregeling).

Ad m):

Het rechtstreeks pompen vanuit de zandvangen stuit op bezwaren. De zandvangen dienen dan schoon te worden gehouden; proeven in de Beneluxtunnel en de Coentunnel hebben aangetoond dat de afvoerleidingen verstopt kunnen raken; bovendien wordt het milieu belast met verontreinigd slib, hetgeen in toenemende mate bezwaarlijk wordt geacht.

Er is geen garantie te geven dat er geen benzine in de hoofdkelder komt; ook ontstaat er een open verbinding tussen tunnelbuis en kelder. Bovendien is er dan een apart reservoir buiten de tunnel nodig.

Om deze redenen wordt afgezien van het pompen vanuit de zandvangen.

De aanbevelingen van TNO hebben gediend als uitgangspunten voor de richtlijnen. In Nederland zijn de tunnels verdeeld in 3 categorieën¹¹:

¹¹ Deze indeling wordt per 1 januari 2010 gewijzigd. Vanaf dan zijn er 5 categorieën A t/m E, waarbij A overeenkomt met "categorie 0", C vrijwel overeenkomt met categorie I en D lijkt op categorie II, echter met een verbod op dieselolie e.d.

- In categorie II tunnels zijn niet toegelaten de explosieve en makkelijk ontvlambare brandbare stoffen. Wel toegelaten zijn minder makkelijk ontvlambare brandbare stoffen zoals dieselolie.
- In categorie I tunnels zijn niet toegelaten de explosieve stoffen maar wel de makkelijk ontvlambare brandbare stoffen zoals benzine.
- In de zogenaamde 'categorie 0 tunnels' is het vervoer van alle stoffen, die over de weg vervoerd mogen worden, in principe toegelaten.

Aangezien het merendeel van de over de weg vervoerde gevaarlijke stoffen koolwaterstofverbindingen zijn, zijn de maatregelen ter voorkoming van verspreiding en ontbranding van gevaarlijke stoffen gericht op de eigenschappen van koolwaterstofverbindingen, met benzine als representatieve stof.

Ten opzichte van een categorie I tunnel zijn de belangrijkste extra toegelaten stoffen in 'categorie 0 tunnels' de vloeibaar gemaakte gasvormige koolwaterstoffen zoals LPG. Bij het vrijkomen van deze tot vloeistof verdichte gassen vindt directe verdamping plaats van een gedeelte van de vloeistof door expansie bij atmosferische condities. De nog niet verdampte vloeistof zal in de vorm van druppels worden meegevoerd met het expanderende mengsel. Een gedeelte van de druppels zal verdampen, de rest vormt een vloeistofplas waaruit verdamping plaatsvindt. Mogelijk zou een deel van de vloeistofplas via de riolering naar de waterkelder kunnen stromen; echter doordat watersloten zullen bevriezen is het de vraag of en zo ja in welke mate vloeibare LPG de waterkelders kan bereiken (hiernaar is geen onderzoek verricht). De genomen maatregelen in waterkelders zijn gericht op de aanwezigheid van vloeibare koolwaterstofverbindingen en hun gasvormige (verdampings)producten.

Het afvoersysteem wordt onderstaand opgesplitst in: het wegdek, het rioleringssysteem, de waterkelder en de pompinstallaties.

7.2 Het wegdek

Aan de aard en de afwatering van de toplaag in het gesloten gedeelte van constructies worden eisen gesteld om zoveel mogelijk te bereiken dat, bij eventueel vrijgekomen gevaarlijke vloeistoffen, de ontstane plas (en daarmee het verdampend oppervlak) beperkt blijft.

De grootte van een vloeistofplas is voornamelijk afhankelijk van de volgende factoren:

- het uitstroomdebiet;
- de afstand tussen de plaats van uitstromen en het rioleringssysteem;
- het type wegdekverharding (toplaag);
- de langshelling en de dwarsshelling van de weg.

Door TNO is onderzoek gedaan naar de kritische plaslengte bij ventilatie (TNO rapport PML 1984 C-46). Onder kritische plaslengte wordt in dit verband verstaan de minimaal benodigde lengte van een benzineplas die nodig is om bij vertraagde ontsteking van het, door verdamping ontstane, gasmengsel een explosie met zodanige overdruk te kunnen krijgen dat de tunnel kan worden beschadigd. Als breedte van de plas wordt hierbij aangehouden de breedte tussen de geleideprofielen.

Als kritische plaslengte werd gevonden: afhankelijk van de tunnelhoogte (aangehouden op 4,25 - 5,6m): 75-100m voor zomerbenzine en 50-70m voor winterbenzine. Op basis hiervan wordt de ondergrens van 50m (geldend voor een tunnelhoogte van 4,25m bij winterbenzine) aangehouden als veilige ondergrens; dit komt voor een 2-strooks tunnelbuis neer op een oppervlak van circa 500m².

7.3 Het rioleringssysteem

In Nederlandse tunnels toegepaste rioleringssystemen:

De eerste Rijkstunnels (Velser, Coen, Benelux, Schiphol en Heinenoordtunnel) werden bij de bouw voorzien van stoepen. Onder deze stoepen waren, ten behoeve van de afwatering, goten aanwezig. Vanaf de bouw van de Vlaketunnel werden deze stoepen niet meer toegepast. Bij de renovatie zijn bij de oudste tunnels de stoepen aan weerszijden van de rijbaan verwijderd.

Bij enkele tunnels (Vlake en Drecht) bestaat de riolering in het gesloten gedeelte uit een zogenaamde verholten goot (in feite een aan de bovenzijde, over de gehele lengte, opengesneden

buis). In deze verholen goot bevinden zich op regelmatige afstand putjes, afgedekt met geknevelde roosters.

In enkele tunnels (onder andere Wijker, Heinenoord en Benelux) bestaat de riolering uit rioolbuizen met inlaatputjes.

Sommige tunnels (onder andere Botlek, Zeeburger, Noord, Schiphol en Coen) zijn voorzien van goten onder de betonnen geleideprofielen. Bij de Coentunnel is tevens een spoelsysteem voor deze riolering aangebracht omdat er, in verband met de vervuiling en de beperkte capaciteit van de goot, vaak schoonmaakwerkzaamheden moesten worden uitgevoerd.

Ten aanzien van de bestaande afvoersystemen kan het volgende worden opgemerkt:

Verholen goten:

Met betrekking tot het voorkomen van een explosie in de riolering biedt een verholen goot een uitstekende oplossing omdat over de gehele lengte een ontluchting aanwezig is.

Bij brand zal echter een brandend lint ontstaan vanaf de plaats van het ongeluk tot de ingang van de kelder.

Verholen goten worden minder wenselijk geacht omdat deze snel vervuilen.

Rioolbuizen met inlaatputten:

Met betrekking tot brand is een afvoersysteem van rioolbuizen met inlaatputten de meest aanvaardbare oplossing. Om explosie in de rioolbuizen te voorkomen dienen er voldoende ontluchtingmogelijkheden aanwezig te zijn. Door TNO werd hiervoor een lengte/diameter verhouding van maximaal 10:1 aanbevolen. Bij een buis met een diameter van 200mm betekent dit echter dat de ontluchtingen (inlaatputten) om de 2m zouden moeten worden geplaatst. Indien zoals bij zinktunnels gebruikelijk was, 1 inlaatput per stortmoot (18 à 20m) wordt aangebracht diende dus met een mogelijke explosie rekening te worden gehouden. Bij proeven bij TNO bleek het echter bij een proefstuk van 25m lengte, met dichtgezette sparingen niet mogelijk om met een ideaal gasmengsel de verwachte detonatie op te wekken; het explosie risico blijkt dus mee te vallen.

Vooral bij toepassing van rioolbuizen dienen maatregelen te worden getroffen om het doorschieten van de vlam tot in de waterkelder te voorkomen (door het aanbrengen van extra ontluchting).

Voor de beheerders is dit afvoersysteem het meest ideale omdat de vervuiling in het riool beperkt is en de riolen eenvoudig zijn te reinigen.

Goten achter of onder barrièrprofielen:

Aangezien in de barrièrprofielen voldoende inlaatopeningen kunnen worden gemaakt is dit voor zowel brand als explosie een goede oplossing. Dit afvoersysteem vervuilt echter snel en is moeilijk schoon te maken. Het is daarom aan te bevelen de gootbodem zoveel mogelijk een half ronde doorsnede te geven.

Open goot:

Open goten worden niet in het gesloten gedeelte van een tunnel toegepast, zij vergroten namelijk het vloeistof oppervlak. Open goten worden wel toegepast op de toeritten of een gedeelte daarvan (zoals bij de Beneluxtunnel).

Toepassing bij een opgaande helling heeft (in tegenstelling tot een neergaande helling) tot gevolg dat eventuele vrijgekomen brandbare vloeistoffen in de richting van het tot stilstand gekomen verkeer stromen.

Toegepaste rioleringssystemen in Europa:

In Frankrijk en enkele Alpenlanden wordt tegenwoordig veelal een rioleringssysteem toegepast bestaande uit een in secties verdeelde verholen goot waarbij elke sectie door middel van een sifon verbonden is met een rioleringsbuis. Voordeel hiervan is dat over de gehele lengte vloeistof in het rioleringssysteem terecht kan komen terwijl het nadeel (bij brand) van een brandend lint naast de rijbaan vanaf de plaats van het ongeluk tot de ingang van de kelder wordt weggenomen. Dit systeem is echter gevoelig voor vervuiling.

Het afvoersysteem met rioolbuizen en inlaatputten verdient in het algemeen de voorkeur vanwege de beheertechnische voordelen.

7.4 De waterkelders

Vloeistoffen komen via het rioleringstelsel terecht in een waterkelder. Een waterkelder dient als tijdelijke opslag en tevens als buffer. De bergingscapaciteit van een waterkelder moet voldoende zijn

om de te verwachten waterhoeveelheden bij een maatgevende regenbui, voor zover de watertoevoer de afvoercapaciteit van de pompen overtreft, tijdelijk te kunnen bergen.

Aanbevolen wordt om te onderzoeken of de waterkelder op een zodanige plaats kan worden gemaakt dat bij het eventueel (door een explosie) verloren gaan van de kelder de hoofdconstructie niet wordt beschadigd. Bij landtunnels zal het in veel gevallen mogelijk zijn de waterkelder buiten de hoofdconstructie te plaatsen.

Bij calamiteiten moeten de pompen worden gestopt. Bij de calamiteit vrijkomende stoffen worden aldus vastgehouden in de waterkelders. Ze dienen daarna op gecontroleerde wijze te worden afgevoerd.

De maximale hoeveelheid uitstromende brandbare vloeistof uit een tankauto wordt gesteld op 30m³ (zie TNO rapport 85-03659, januari 1986).

Ten behoeve van het vaststellen van de maximale hoeveelheid te bergen bluswater wordt aangenomen dat bij een brand gedurende 2 uur met de maximale capaciteit van 2m³/min wordt geblust. Voor de maximale hoeveelheid bluswater wordt daarom aangehouden: 240m³.

Op de schoonmaakkosten van een waterkelder kan aanzienlijk worden bespaard door de watertoevoer naar de kelder te laten plaatsvinden via een zogenaamde zandvang: in feite is dit een tussenreservoir met een veel kleinere inhoud dan de kelder, waarin zand en slib kunnen bezinken.

Bij de berekening van de ontluchting rekening houden met het volgende:

De instroom van gevaarlijke vloeistoffen wordt in dit verband gesteld op 0,1m³/s; bij deze instroom mag de druk in de kelder niet meer bedragen dan 100Pa.

De capaciteit van de instroom ten gevolge van regenval is afhankelijk van het oppervlak dat op de kelder afwatert. Bij de maximale regenwater instroom mag de druk in de kelder niet meer bedragen dan 1000Pa.

Bij het leegpompen van de kelder moet deze belucht worden. De druk mag in deze situatie niet lager zijn dan -500Pa. Ten gevolge van een druk van -500Pa zal de hoogte van het waterslot met circa 50mm verminderd worden.

7.5 Pompinstallaties

Voor belangrijke verkeerstunnels wordt de afvoercapaciteit van installaties voor kortdurende buien berekend aan de hand van de regenkromme met een herhalingstijd van 1x per 250 jaar, zoals weergegeven in het rapport "Extreme-neerslagcurven voor de 21^e eeuw, Vaststelling van de, voor ontwerp-toepassingen maatgevende, extreme-neerslagcurven", opgesteld door Meteoconsult, (oktober 2006) in opdracht van de Bouwdienst Rijkswaterstaat. Besparing is mogelijk door bij de berekening van capaciteiten uit te gaan van een kortere herhalingstijd, dus een minder intensieve regenval. Aanpassing van dit uitgangspunt heeft overigens in het algemeen weinig effect.

Onnodige belasting van de pompinstallaties kan worden voorkomen door zoveel mogelijk water langs natuurlijke weg af te voeren. Dit is mogelijk door het deel van de toeritten van de tunnel dat zich boven het omringend waterpeil bevindt van een afzonderlijke afwatering te voorzien.

Binnen een tunnelconstructie zijn (grote) reservoirs over het algemeen duur. Afvoeren van afstromend wegwater en water uit het overdekte gedeelte van de tunnel naar een waterkelder buiten de tunnelconstructie, zo mogelijk door middel van natuurlijk verval, is daarom besparend. Het plaatsen buiten de constructie maakt tevens de aanleg van ruime waterkelders of vijvers mogelijk waardoor de benodigde pompcapaciteit kan worden beperkt.

Het onderhoud van een pompinstallatie is aanzienlijk gemakkelijker en veiliger indien de pompen en de kelder bereikbaar zijn vanaf een buiten de rijweg gelegen locatie. Dit maakt tevens het treffen van verkeersmaatregelen overbodig.

Door het gescheiden afhandelen van 'schoon water' en 'vuil water' kan aanzienlijk beperkt worden op de te behandelen hoeveelheid afvalwater uit de tunnel. Als schoon water kan worden aangemerkt (regen)water dat afkomstig is van niet bereden oppervlakken en/of begroeide

oppervlakken. Als vuil water kan worden aangemerkt water dat verontreinigd is met stoffen afkomstig van het verkeer of van schoonmaak werkzaamheden in de tunnel.

Als regel kan worden aangenomen dat water afkomstig uit de middenkelders de hoogste concentratie verontreiniging bevat. De hoeveelheid af te voeren vloeistof is onder normale omstandigheden gering.

Water uit de hoofdkelders is meestal hoofdzakelijk regenwater. De verontreiniging van het in de hoofdkelders opgevangen water is meestal gering en de hoeveelheid af te voeren water is relatief groot. Bij toepassing van ZOAB is het run-off water (regenwater gemengd met verontreinigingen van de weg) relatief schoon (ZOAB absorbeert een deel van de verontreiniging van de weg; toepassing van ZOAB verbetert aldus de kwaliteit van het van de weg afkomstige water; de geabsorbeerde verontreiniging kan door periodiek reinigen van het ZOAB op gecontroleerde wijze worden afgevoerd).

Water uit hellingkelders is afkomstig van begroeide, niet bereden oppervlakken en daarom in principe schoon.

Bij het reinigen van de tunnel(wanden) komen stoffen vrij die in de meeste gevallen niet op open water of in een openbaar riool mogen worden afgevoerd. In de huidige praktijk wordt afkomend schoonmaakwater tijdelijk opgeslagen in de middenkelder en afzonderlijk afgevoerd in een tankwagen.

In situaties waar het in verband met milieuvorschriften en/of plaatselijke regelgeving niet toegelaten wordt om tijdens normaal bedrijf rechtstreeks te lozen op aangrenzend open water of op een gemeentelijke riolering, kan het noodzakelijk zijn een tussenreservoir aan te leggen waarin het uit de tunnel afkomstige water wordt verzameld. Na eventuele behandeling kan vanuit het tussenreservoir geloosd worden op nader met regelgevers overeen te komen wijze. Dit soort maatregelen moet altijd worden ontworpen en vastgesteld in overleg met plaatselijke milieu- en/of waterbeheerders.

Een voorbeeld van een dergelijke installatie is een afzonderlijke waterkelder voor het eerste van de weg afkomende water (de eerste 4mm). Als deze kelder vol is wordt hij afgesloten waarna het overige water doorstroomt naar de normale kelder. Vanuit de afzonderlijke waterkelder wordt het vervuilde water afzonderlijk afgevoerd naar een gemeentelijk riool of een zuiveringsinstallatie. Vanuit de normale kelder wordt ongezuiverd afgevoerd op open water.

Realisering van overdruk in de pompkamer kan als volgt geschieden:

- a) Door gebruik te maken van de overdruk die in het middenkanaal (vluchtgang) bij een calamiteit aanwezig dient te zijn; met behulp van een motorbediende luchtklep kan in deze situatie een open verbinding tussen middenkanaal en pompenkamer worden gemaakt waardoor in de pompenkamer de gewenste overdruk wordt bereikt. De motorbediende luchtklep kan in de wand of in een luchtkanaal worden opgenomen.

Indien de overdrukinstallatie ten behoeve van de overdruk in de vluchtgang buiten bedrijf is, dient de motorbediende luchtklep gesloten te zijn. Bij het wegvallen van de spanning dient de luchtklep zich te sluiten.

- b) Door het toepassen van een (voor elke pompenkamer afzonderlijk) aan te brengen ventilator met terugslagklep. Bij het starten van de overdrukinstallatie voor de overdruk in de vluchtgang moet tevens deze ventilator worden gestart (hierdoor wordt tevens de terugslagklep geopend). Indien de overdrukinstallatie ten behoeve van de overdruk in de vluchtgang buiten bedrijf is, moet de ventilator uitgeschakeld en de terugslagklep gesloten zijn.

Uiteraard is continue overdruk ook een goede (doch dure) oplossing.

Omdat de overdrukinstallatie ten behoeve van de overdruk in de vluchtgang meestal buiten bedrijf is, dient de pompenkamer zo goed mogelijk te worden gescheiden van het middenkanaal en/of andere omringende ruimten om in situaties waarbij ongemerkt gevaarlijke stoffen in de kelder terecht zijn gekomen verspreiding van dampen zoveel mogelijk te voorkomen.

De lucht die ten behoeve van de overdruk in de pompenkamer wordt aangezogen mag niet uit een tunnelbuis worden betrokken om te voorkomen dat rook en/of explosieve dampen in de pompenkamer geblazen worden.

De hoeveelheid lucht die nodig is om de overdruk te realiseren moet tot een minimum worden beperkt; dit om te voorkomen dat bij temperaturen onder 0°C de installatie (te) sterk afkoelt.

Bij tunnels die zijn voorzien van noodstroom door middel van een aggregaat de pompen aansluiten op de noodstroomvoorziening om te 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. Aansluiten op de UPS (uninterrupted power supply, ook wel no-break genoemd) heeft geen zin aangezien een korte onderbreking van het pompbedrijf tijdens overschakelen op de noodstroomvoorziening geen enkel nadelig gevolg heeft. Ook in tunnels die, naast de net aansluiting, uitsluitend zijn voorzien van een UPS-installatie wordt aansluiting hierop van de pompinstallaties niet zinvol geacht. Na het einde van de bedrijfsperiode van de UPS zal de tunnel stroomloos worden en kan op termijn wateroverlast in de tunnel ontstaan waardoor deze moet worden afgesloten.

In tunnels met meerdere onafhankelijke, eventueel redundante aansluitingen op het openbaar net is het zinvol om de voeding (en sturing!) van de verschillende pompen te verdelen over meerdere aansluitingen, zodat bij wegvallen van één netaansluiting niet de gehele pompinstallatie zal stilvallen.

8 Bescherming tegen brand

.....

8.1 Schademechanismen

Brand bij betonconstructies kan leiden tot de volgende schade mechanismen:

- a. het afspatten van beton;
- b. het afnemen van de sterkte van beton en staal;
- c. het ontstaan van temperatuurgradiënten.

Ad a. het afspatten van beton.

Door opwarming van beton gaat het, in het beton aanwezige, water over in damp; de opgesloten damp geeft (hoge) inwendige spanningen hetgeen kan leiden tot het afspatten van (schollen) beton. Zoals gebleken is bij brandproeven ten behoeve van de Westerscheldetunnel kan dit een doorgaand proces zijn.

Factoren die een belangrijke rol spelen zijn:

- het vochtgehalte; naarmate er meer water in het beton aanwezig is neemt de kans op afspatten toe;
- de dichtheid van het beton; naarmate het beton dichter is neemt de kans op afspatten toe; in het algemeen is de dichtheid gekoppeld aan de sterkte(klasse): hogere sterkte betekent hogere dichtheid;
- de thermische belasting en de temperatuurgradiënt over de doorsnede;
- de mechanische belasting; door drukspanningen wordt de kans op afspatten verhoogd;
- de snelheid van opwarmen; naarmate de snelheid van opwarmen hoger is neemt de kans op afspatten toe.

Ad b. het afnemen van de sterkte van beton en staal

Beton en staal verliezen bij verwarming hun sterkte. Dit sterkteverlies begint bij wapeningsstaal bij circa 250 °C; boven deze temperatuur neemt de sterkte geleidelijk af naar 0. Bij beton neemt de sterkte tot circa 350 °C nauwelijks af; boven deze temperatuur neemt de sterkte geleidelijk af naar 0.

Ad c. het ontstaan van temperatuurgradiënten

Als gevolg van de warmtestroom ontstaat er over de dikte van de constructie een tijdsafhankelijke temperatuurgradiënt. Als het tunneldak aan de binnenzijde warm wordt heeft dit tot gevolg dat er een zekere extra doorbuiging optreedt en de inklemmingsmomenten toenemen. Mits er voldoende herverdelend vermogen beschikbaar is (vloeigebieden als gevolg van het taai gedrag van gescheurd gewapend beton) wordt de veiligheidsfactor door de aanwezigheid van temperatuurgradiënten niet nadelig beïnvloed. De extra optredende doorbuiging is echter, als gevolg van het plastisch gedrag van de constructie, bij afkoelen niet volledig omkeerbaar (blijvende vervorming) en kan daarmee eventueel een niet te accepteren schade vormen.

Een onderscheid moet worden gemaakt tussen constructies die, nabij het vlak waar de brand kan optreden, voor de constructieve integriteit essentiële wapening bevatten (bijvoorbeeld afgezonken tunnels) en constructies waarbij de aanwezige wapening in de eindtoestand niet zo essentieel is (boortunnels).

Voor afgezonken tunnels geldt dat, bijvoorbeeld aan de binnenzijde in het midden van het dak, de zware aanwezige wapening goed gehecht moet blijven aan gezond beton en niet te veel sterkte verloren mag gaan als gevolg van verhoging van de temperatuur in de wapening. Dit wordt al jaren bereikt door het aanbrengen van hittewerende bekleding. Bij een brand volgens de RWS-brandkromme wordt door de isolerende werking van de hittewerende bekleding de temperatuur op de interface hittewerende bekleding/beton beperkt tot maximaal circa 380 °C, terwijl op 2,5cm diepte in het beton de maximaal bereikte temperatuur lager dan circa 250 °C blijft. Gezien de beperkte dekking op de wapening is afspatten onder deze omstandigheden feitelijk niet toelaatbaar. Voor het beton dat de laatste jaren bij afgezonken tunnels wordt toegepast (B35) en zonder de aanwezigheid van drukspanningen als gevolg van de belasting (trekzone aan binnenzijde en in het midden van de overspanning van het dak) is uit onderzoek gebleken dat bij toepassing van hittewerende bekleding onder deze omstandigheid geen afspatten optreedt (ook bij niet droog beton).

Bij boortunnels wordt echter dichter beton (hogere sterkte) gebruikt terwijl het beton door de aard van de constructie onder druk staat. Hierdoor is de afspatgevoeligheid veel hoger dan bij afgezonken tunnels.

Het mechanisme van afspatten is een complex geheel. Hierdoor is vooralsnog niemand in staat om door middel van berekeningen met enige nauwkeurigheid het verschijnsel afspatten te kunnen voorspellen. Het bestaande inzicht is op dit moment daarom hoofdzakelijk kwalitatief. Zo is bekend dat een dichtere beton (hetgeen enigszins correleert met de betondruksterkte) gevoeliger is voor afspatten. Verder versterkt de aanwezigheid van een normaal drukspanning het afspatten. Natuurlijk heeft de aard van de gehanteerde brandkromme ook invloed; vooral de snelheid waarmee de temperatuur in het begin stijgt is van belang.

Een belangrijk aspect bij het afspatten is de snelle verdamping van in het beton aanwezige water (stoomvorming). Afhankelijk van de mate van doorlatendheid voor waterdamp van het beton bouwen zich door stoomvorming hoge drukspanningen in de poriën op en daardoor trekspanningen in het beton. De aard van het poriënsysteem verandert ook aanzienlijk bij toenemende temperatuur; vooral dit aspect maakt het moeilijk voor berekening toegankelijk. Verder veroorzaken de optredende temperatuurgradiënten, het geringe verschil in uitzettingscoëfficiënten tussen de samenstellende bestanddelen bij hoge temperaturen enzovoort ook trekspanningen.

Als op een bepaalde plaats in het betreffende beton de stijging van de temperatuur als functie van de tijd beneden een zekere waarde blijft zal er voldoende tijd zijn voor de gevormde waterdamp om te ontsnappen zonder dat te grote trekspanningen ontstaan. Dit is echter kwalitatief, het is heden ten dage echter niet mogelijk hierover kwantitatieve uitspraken in een voorspellende sfeer te doen.

Het afspatten kan in een relatief hoog tempo doorgaan (progressive spalling) waardoor de overall veiligheid snel de kritische waarde kan bereiken. Progressive spalling wordt niet alleen in het laboratorium geconstateerd maar ook bij een aantal branden in tunnels in het buitenland de laatste jaren (Kanaaltunnel, Mont Blanc, Tauerntunnel, brand boormachine in Denemarken). In Nederland is er geen omliggende rots die voorkomt dat de tunnel instort.

Het mechanisme van afspatten heeft een enigszins alles of niets karakter: of het treedt (net) niet op, of het kan al snel destructief zijn.

Aan de binnenzijde van het dak van afgezonken tunnels is geen afspatten toegestaan (theoretisch is zeer beperkt afspatten toelaatbaar) teneinde de werking van de essentiële wapening niet in gevaar te brengen. Bij geboorde tunnels kan daarentegen op zich relatief veel schade worden toegelaten. Dit komt omdat bij geboorde tunnels in de gebruiksfase de aanwezige wapening betrekkelijk weinig functie heeft in de krachtwerving. De aanwezige wapening is immers primair benodigd voor het transport en vooral bij het inbouwen van de liningelementen. De schade mag echter ook bij een boortunnel niet zo groot zijn dat de constructieve integriteit in gevaar komt, met andere woorden enig afspatten is toegestaan maar het proces van afspatten moet wel stoppen (geen progressive spalling). Verder moet de ontstane schade te repareren zijn. Over de diepte waar de temperatuur van het beton hoger is geweest dan circa 400 °C (bij lagere temperaturen is het beton 'gezond' gebleven) moet het beton worden verwijderd en door nieuw (bijvoorbeeld spuitbeton) vervangen worden; het gaat hierbij om enige centimeters bij een brand volgens de RWS-brandkromme.

Een bijzonder aandachtspunt is het optreden van warmtelekken via verbindingsmiddelen van tegen het beton gemonteerde voorzieningen. Enkele brandproeven ten behoeve van de Westerscheldetunnel zijn uitgevoerd met plaatmaterialen die met bouten op het beton zijn aangebracht. Bij de gebruikte korte bouten, M8 op relatief grote onderlinge afstand en nauwelijks belast, is niet gebleken dat warmtelekken via deze bouten de inleiding vormen voor afspatten. Wel is bij een andere proef gebleken dat bij een groep, dicht bij elkaar aangebrachte, bouten wel afspatten werd ingeleid. Bij toepassing van lange, zwaar belaste bouten of een groep van, dicht bij elkaar aangebrachte, bouten dient daarom het inleiden van afspatten te worden onderzocht.

8.2 Economische afweging

Of tunnel(achtige) constructies moeten worden beschermd tegen de mogelijke gevolgen van brand is vooral afhankelijk van de vraag wat de economische gevolgen zijn van het (gedeeltelijk) verloren gaan van de constructie. De kans op het (gedeeltelijk) verloren gaan is vooral afhankelijk van: verkeersintensiteit, lengte van de constructie, beschermende maatregelen en repressieve mogelijkheden.

Er dient onderscheid te worden gemaakt tussen tunnels die onder waterwegen zijn gelegen en tunnels die niet onder waterwegen zijn gelegen (landtunnels, overkapte wegen, viaducten en dergelijke). Een onderwatertunnel zal na instorting hoogstens tegen zeer hoge kosten hersteld kunnen worden. De bijkomende economische gevolgschade, door het gedurende lange tijd niet beschikbaar zijn van de oeververbinding, kan dan zeer groot zijn.

Bij een niet onder waterwegen gelegen constructie ligt dit anders omdat herstel mogelijk is en de transportfunctie relatief korte tijd verstoord wordt.

Bij de beslissing om wel of niet beschermende maatregelen te treffen dient dit in de overwegingen te worden meegenomen.

In 1980 werd besloten alle belangrijke verkeerstunnels in autosnelwegen, zowel bestaande als nieuwe tunnels, (met uitzondering van de Schiphol tunnel waren dit allemaal oeververbindingen) te voorzien van een hittewerende bekleding; dit gold ook voor aquaducten.

De dikte van de bekleding werd zodanig gekozen dat een 2 uur durende felle benzinebrand kan worden doorstaan (er was toentertijd alleen aandacht voor de temperatuurcriteria; aan het eventueel optreden van afspatten werd toen nog niet gedacht).

Een risicostudie van TNO heeft aangetoond dat het economisch verantwoord is om hittewerende bekleding aan te brengen in onderwatertunnels (en aquaducten) in autosnelwegen ook al wordt het tanktransport van benzine door de betreffende tunnel niet toegestaan.

Het nemen van beschermende maatregelen kan worden gezien als een vorm van 'verzekering' tegen niet of moeilijk te dragen kosten. Daarbij rendeert natuurlijk een goedkope 'verzekering' (PP-vezels) eerder dan een dure 'verzekering' (sprinkler, hittewerende bekleding).

Niet bij elke constructie behoeven per definitie beschermende maatregelen te worden aangebracht; als het risico (kans * gevolg) voldoende klein is, in relatie tot de investeringskosten van de maatregelen, kunnen deze maatregelen eventueel achterwege worden gelaten. Zo is het niet gebruikelijk bij viaducten hittewerende bekleding aan te brengen.

8.3 Hittewerende bekleding

Geschiedenis

De aanleidingen tot het toepassen van hittewerende bekleding zijn:

1^e Op verzoek van de toenmalige minister van Verkeer en Waterstaat werd in 1974 door de hoofddirectie van Rijkswaterstaat aan TNO opgedragen een oriënterend onderzoek te doen naar het vervoer van gevaarlijke stoffen door tunnels. Doel van dit onderzoek was te bekijken of meer gevaarlijke stoffen dan voorheen tot de Rijksverkeerstunnels konden worden toegelaten. Uit dit onderzoek bleek dat het mogelijk is om tunnels tegen een (benzine)brand te beschermen door het aanbrengen van een hittewerende bekleding.

2^e Bij een ernstig ongeval in de Velsertunnel in 1978, waarbij 5 doden vielen en waarbij 2 vrachtwagens en enkele personenwagens waren betrokken, ontstond er een brand die circa 30 minuten duurde. Uit onderzoek achteraf bleek dat er temperaturen tot circa 800 °C waren opgetreden. De tunnelconstructie, bestaande uit gewapend beton met een dekking van 70mm op de wapening (met een lage treksterkte), heeft hierbij geen aantoonbare blijvende schade ondervonden. Tegenwoordig wordt vrijwel uitsluitend hoogwaardig wapeningsstaal met een dekking van minimaal 35mm toegepast. Beide facetten (kleinere dekking en hoogwaardiger staal) werken nadelig bij het optreden van brand.

Hoewel bij de korte brand in de Velsertunnel er slechts in beperkte mate beton is afgespat werd, vooral voor de nieuwere tunnels, gevreesd voor grotere schade bij branden. Vooral bij een langere brandduur kan meer beton afspatten en is de wapening minder beschermd.

Na overleg met het Brandweerwezen (later genoemd: de directie Brandweer en Rampenbestrijding) van het ministerie van Binnenlandse Zaken en het Directoraat-Generaal voor het Vervoer (DGV), besloot de hoofddirectie van Rijkswaterstaat in 1980 om alle belangrijke Rijksverkeerstunnels in autosnelwegen, zowel bestaande als nieuwe tunnels, (met uitzondering van de Schiphol tunnel waren dit allemaal oeververbindingen) te voorzien van hittewerende bekleding; dit gold tevens voor aquaducten.

Tevens werd besloten om een aantal veiligheidsvoorzieningen aan te passen en uit te breiden.

Later is door TNO met een kosten/baten analyse aangetoond dat het economisch verantwoord is om alle onderwatertunnels van een hittewerende isolatielaag te voorzien, ongeacht het wel of niet toelaten van benzine transport.

Maatgevende temperatuur en brandduur

Uitgangspunt 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.

Temperatuur:

Ten behoeve van de eerste proeven op hittewerende bekleding werd door TNO een tunnel gemaakt van 2 x 2m² met een lengte van 8m. Het dak van deze tunnel bestond uit betonplaten met een dikte van 150mm. Aan de tunnelzijde waren deze platen voorzien van de te beproeven hittewerende materialen. In de tunnel werden 4 bakken opgesteld die vanuit een tank werden gevuld met benzine. Bij de proeven werden in de tunnel temperaturen gemeten tot circa 1350 °C.

Reeds bij de brandproeven in de Ofenegg-tunnel (1965) en de Zwenberg-tunnel (1975) werden temperaturen tot ruim boven de 1300 °C gemeten. Deze hoge temperaturen werden later bevestigd door onderzoeken in de Memorial-tunnel (1993 tot 1995) in de Verenigde Staten van Amerika en de brandproeven in het kader van het Eureka-project, uitgevoerd in een tunnel in Noorwegen.

Brandduur (twee uur):

- De inhoud van de grootste benzine tankauto bedraagt 50.000 liter;
- de beladingsgraad is 80% tot 90%, dat betekent dat in een tankauto maximaal 45.000 liter aanwezig is;
- de specifieke dichtheid van benzine is 0,72 kg/l, dus 45000l = 32400kg;
- de specifieke warmte van benzine is 43,5 MJ/kg, dus totaal: 32400 * 43,5 = 1409400 MJ;
- bij een brand van gemiddeld 200 MW is de brandduur dus: 1409400 : 200 = 7047 s = 118 minuten.

De invloed van temperatuur op beton en staal

Bij toepassing van hittewerende bekleding is primair van belang dat geen afspatten optreedt. Voor constructies die, nabij het vlak waar brand kan optreden, voor de constructieve integriteit essentiële wapening bevatten (zoals afgezonken tunnels) geldt bovendien dat de wapening gehecht moet blijven aan gezond beton en niet te warm mag worden.

Bij temperatuurverhoging neemt de sterkte van beton en staal af. Uit onderzoek rond 1980 werd geconcludeerd dat bij beton dit sterkteverlies begint bij circa 200 °C; bij circa 800 °C is de sterkte gereduceerd tot nul; ander onderzoek geeft aan dat de sterkte tot circa 350 °C nauwelijks afneemt. Bij staal gaat tot circa 250 °C de sterkte weinig achteruit maar daarna daalt de sterkte, sneller dan bij beton, naar nul bij een temperatuur van circa 750 °C. Deze waarden zijn conservatief, in de Eurocodes ENV-1993-1-2 en ENV-1994-1-2 worden minder conservatieve waarden voor de treksterkte gegeven. Bij brandproeven met achteraf gemonteerde platen is bovendien gebleken dat aan het eind van de proef de bevestigingsmiddelen hun functie nog niet hebben verloren. Gebleken is dat naar mate de staalkwaliteit hoger is de afname van de sterkte bij een lagere temperatuur begint en de sterkte sneller terugloopt.

Vanaf de invoering van de nieuwe voorschriften worden voor de berekening van betonconstructies partiële veiligheidsfactoren gebruikt. Vóór 1992 was er sprake van één veiligheidscoëfficiënt van 1,7 wat betekent dat wanneer de sterkte van beton en staal teruggaat tot 100%/1,7 = 59%, de veiligheid 1,0 is, ofwel geen veiligheid meer op de maatgevende belasting. In de praktijk is er vaak sprake van een nog hogere veiligheidscoëfficiënt door het toepassen van extra wapening in verband met scheurwijdt beheersing.

Uit het verloop van de afname van de sterkte valt af te leiden dat de temperatuur van (wapenings)staal tot circa 450 °C mag stijgen voordat de veiligheidscoëfficiënt tot 1,0 is gedaald; voor beton ligt dit minder gevoelig.

Bij de bepaling van de dikte van hittewerende bekleding bij betonconstructies met een hoge dichtheid (in elk geval bij B55 en hoger, zoals toegepast bij boortunnels) is afspatten het maatgevende criterium. Bij betonsterkten van B35 en lager (zoals doorgaans toegepast bij

zinktunnels) is in het algemeen het afnemen van de sterkte van het wapeningsstaal maatgevend. Verwacht wordt dat bij betonsterkten boven B35 en bij B35 met dichtheid bevorderende toevoegingen (zoals vlieg-as) afspatten het maatgevende criterium is.

Eisen

Na de eerste brandproeven werden aan hittewerende bekleding voor toepassing in zinktunnels de volgende eisen gesteld:

- Er moeten minimaal 2 brandproeven worden uitgevoerd volgens de RWS-kromme (2 uur).
- Gedurende deze brandproeven mag:
 - de temperatuur van het betonoppervlak nergens meer dan 380 °C zijn;
 - de temperatuur van het staal (bij een dekking van 25mm) nergens meer dan 250 °C zijn.

Voor een grenswaarde van 380 °C voor beton, in plaats van 450 °C, is gekozen omdat:

- een naijleffect op zal treden; dit naijleffect treedt op enerzijds doordat de tunnel na de brand niet meteen is afgekoeld en anderzijds doordat zowel isolatiemateriaal als beton een grote warmtecapaciteit hebben; zij houden de warmte vast; door het naijleffect kan de temperatuur van het betonoppervlak nog enigermate verder stijgen na afloop van de brand;
- het gewenst is te voorkomen dat na de brand het beton zodanig is aangetast dat het gedeeltelijk moet worden vervangen;
- er bij de opleggingen sprake is van grote dwarskrachten op plaatsen waar, vooral in de oude tunnels, geen dwarskrachtwapening aanwezig is.

Voor een grenswaarde van 250 °C voor staal, in plaats van 450 °C, is gekozen omdat:

- evenals bij beton er sprake is van een naijleffect;
- de sterkte van staal bij 250 °C weliswaar nog niet is afgenomen maar wel treedt bij hogere temperaturen extra doorbuiging van de constructie op; door de permanente belasting op het tunneldak is de kans groot dat deze extra doorbuiging blijvend is.

Bij de, inmiddels vele, brandproeven is gebleken dat beide grenswaarden (380 °C voor beton en 250 °C voor het wapeningsstaal) ongeveer gelijktijdig worden bereikt. Bovendien wordt in de praktijk bij tunnels altijd een dekking op de wapening toegepast die aanmerkelijk groter is dan de bij de brandproeven aangehouden 25mm. Daarom is besloten voortaan bij brandproeven alleen het temperatuur criterium aan het betonoppervlak te controleren. Hierdoor wordt tevens bereikt dat de voorbereidingstijd voor het uitvoeren van brandproeven wordt bekort. Gevolg hiervan is echter wel dat een denkbare goede oplossing zoals het vergroten van de betondekking met toepassing van een relatief dunne hittewerende bekleding op de oude manier zal moeten worden getest. Het kan in dat geval toelaatbaar zijn dat de temperatuur aan het betonoppervlak hoger dan 380 °C wordt, mits het wapeningsstaal gehecht blijft in gezond beton en de temperatuur van het staal niet hoger wordt dan 250 °C (herstel van aangetast beton kan dan na een brand eventueel nodig zijn).

Bij toepassing van beton B35 met dichtheid bevorderende toevoegingen (zoals vlieg-as) en bij beton met een hogere sterkteklasse dan B35 worden brandproeven gedaan met de betonsamenstelling zoals die in de praktijk zal worden toegepast. Verwacht wordt dat afspatten in al deze gevallen het maatgevende criterium zal zijn.

Hittewerende bekleding dient te voldoen aan, en te zijn getest volgens de procedure beschreven in het document [‘Fire testing procedure for concrete tunnel linings’, document nummer 2008-Effectis-R0695, september 2008](#).

Toegepaste materialen

Begin jaren tachtig werd begonnen met het beschermen van de Rijkswaterstaats tunnels. Als eerste werd Pyrok toegepast bij het Gouwe aquaduct. Pyrok is een product dat gebaseerd is op Vermiculiet. Eerst werd het betonoppervlak gegritstraald; daarna werd de isolatielaag in lagen van 4 à 5mm aangebracht. Voor de benodigde dikte van 30mm moest men dus vaak terugkomen, een tijdrovende bezigheid.

Enkele jaren later, toen begonnen werd met de uitvoering van het renovatieprogramma voor tunnels, waren er meerdere goedgekeurde materialen beschikbaar. Al deze materialen waren gebaseerd op Vermiculiet.

Behalve de materialen op basis van Vermiculiet werden ook enkele materialen op basis van minerale wollen getest. Deze materialen konden slechts minder dan één uur bescherming bieden omdat desintegratie optrad.

Bij de renovatie van de bestaande tunnels was het niet mogelijk om de isolatielaag aan te brengen zoals bij het Gouwe aquaduct. Deze tunnels mochten normaal overdag niet worden afgesloten en het hele werk moest daarom worden uitgevoerd binnen de vakantieperiode van 3 à 4 weken. Daarom werd overgegaan tot het aanbrengen van dikkere lagen (15mm) waardoor men maar één keer terug hoefde te komen.

De controle op het gemaakte werk bestond uit het afkloppen van het gehele oppervlak en het steekproefsgewijs meten van de dikte en het uitvoeren van afschuifproeven. Bovendien werden ter plaatse proefplaten voorzien van een hittewerende laag (net als in de tunnel boven het hoofd gespoten). Enkele van deze platen werden daarna getest volgens de RWS-kromme.

In de praktijk deden zich problemen voor; bij de Coentunnel kwamen delen van de isolatielaag naar beneden. Uit de daarna uitgevoerde uitgebreide inspectie bleek dat op vele plaatsen het materiaal los hing. Op sommige plaatsen was het loshangende oppervlak zo groot dat reparatie nodig werd geacht. Later werd als norm vastgesteld dat loshangende delen groter dan 0,25m² moeten worden afgestoken en van een nieuwe isolatielaag moeten worden voorzien.

Achteraf is het te verklaren hoe de isolatielaag los kon komen van het plafond. Het materiaal werd weliswaar met kracht tegen het plafond gespoten, maar in de eerste minuten, voordat het cement gaat binden, hangt de isolatielaag aan de adhesie van water. Als een te dikke eerste laag wordt aangebracht kan het materiaal door zijn eigen gewicht los komen te hangen van het plafond. Het ruw gritstralen van het betonoppervlak geeft nog geen garantie voor een goede hechting van de isolatielaag aan de ondergrond.

Toen de renovatie op gang kwam, werden de Promatect H-platen op de markt gebracht. Door middel van proeven werd aangetoond dat met deze platen, met een dikte van 27mm kon worden voldaan aan de gestelde eisen.

In 1988 werd een proef met het aanbrengen van platen uitgevoerd in de, toen nog niet geopende, Zeeburgertunnel.

Vanaf 1989 zijn zowel bij de renovatie van de tunnels als bij nieuw gebouwde tunnels Promatect H-platen toegepast. Bij de bestaande tunnels werden de platen bevestigd met M8 bouten; dit is kostbaar vanwege de hoge arbeidskosten en de kosten van de roestvaststalen bevestigingsmiddelen. Bij nieuw te bouwen tunnels werd gekozen voor het in de bekisting leggen van de platen waarbij in de platen schroeven werden aangebracht; dit geeft ten opzichte van bevestiging met bouten een flinke kostenbesparing.

Toegepaste gespoten materialen:

Pyrok: Gouwe aquaduct, Botlektunnel

Igniver: Coentunnel, Margriettunnel, Drechtunnel

Pyrocoat: Beneluxtunnel

Strongseal: Schipholtunnel, Zeeburgertunnel

Fendolite: een strook in de Schipholtunnel, Westerscheldetunnel

Toepassing van plaatmateriaal (Promatect H-platen):

Proefstuk Zeeburgertunnel, Velsertunnel, Heinenoordtunnel, Vlaketunnel en alle nieuwe zinktunnels en aquaducten vanaf de Noordtunnel.

Aanvullend onderzoek

a. Beton gestort op Promatect-platen

Er is onderzoek gedaan naar de invloed op de kwaliteit van de betondekking bij beton dat wordt gestort op Promatect-platen. Deze proeven werden opgezet omdat werd gevreesd dat door vochtopname door de Promatect-platen een slechte kwaliteit van de betondekking zou ontstaan.

Er werd beton gestort op één droge plaat, één met water verzadigde plaat en één gehydrofobeerde plaat. Na 4 weken verharding werd de waterindringingsdiepte in het beton bepaald (als maat voor de waterdichtheid en de duurzaamheid). Gemeten werd: gemiddeld 2,3mm (vochtige plaat) en 6,7mm (droge en gehydrofobeerde plaat); dit zijn allemaal lage waarden, dus een goede betonkwaliteit.

Tevens werden trekproeven op gemaakte boorkernen gedaan om de hechting van de platen aan het beton vast te stellen. Het breukvlak trad op in de plaat behalve bij de gehydrofobeerde plaat. Conclusie: liever niet hydrofoberen in verband met de mindere extra hechting (er is sprake van extra hechting omdat wordt verlangd dat ook zonder deze hechting er voldoende schroeven worden aangebracht om de zuigbelasting te kunnen weerstaan, zie onder b.).

b. Zuigbelasting

Naar aanleiding van het loskomen van de isolatielaag in de Coentunnel werd onderzoek gedaan naar de optredende zuigkrachten ten gevolge van voorbijrijdende vrachtauto's. Uit metingen in de Beneluxtunnel bleek dat zuigkrachten van meer dan 200N/m² kunnen optreden. Een maximale waarde kon op basis van deze, onnauwkeurige, metingen echter niet worden vastgesteld. Uit Duitse gegevens bleek dat in (spoor)tunnels zuigkrachten tot circa 1000N/m² kunnen voorkomen. Deze waarde werd als uitgangspunt aangehouden. Met het eigengewicht van het hittewerend materiaal komt dit neer op een belasting van maximaal 1500N/m². Omdat het hier een dynamische belasting betreft, wordt met een opslingeringsfactor van 2 gerekend, waardoor de equivalente statische belasting op 3000N/m² werd vastgesteld.

Er werden duurproeven uitgevoerd op Promatect-platen, waarbij de belasting stapsgewijs werd opgevoerd tot 6000N/m². Deze proeven werden opgezet om te controleren of ponseffecten op zouden treden.

Beproefd werden achteraf aangebrachte platen, bevestigd met bouten en in de bekisting aangebrachte platen met schroeven. Bij de in de bekisting gelegde platen werd voor het storten tussen plaat en beton een folie aangebracht om de extra hechting te beletten.

Bij geen van deze proeven werd schade geconstateerd.

c. Onderzoek beschadigde platen

Om het effect van beschadigde platen op de beschermende werking na te gaan werden 2 brandproeven uitgevoerd.

De 1^e proef betrof één plaat waarin een 7mm diepe groef was aangebracht en één onbeschadigde plaat. Deze platen waren aangebracht op een 150mm dikke betonplaat; deze betonplaat was 40 dagen oud en nog relatief vochtig. Tijdens de proef bleek dat de beschadigde plaat, ter plaatse van de beschadiging, reageerde als een plaat van 20mm (is 27 - 7). Na 110 minuten deed zich een incident voor; de betondekking kwam met een knal los ter plaatse van de wapening. Dit is vermoedelijk te wijten aan het relatief hoge vochtgehalte, in combinatie met de snelle temperatuur stijging.

De 2^e proef betrof één plaat met een groef van 5mm diep en een diagonale scheur en één plaat met een groef van 9mm diep en een dwarsscheur; beide platen waren bevestigd met in totaal 6 bouten. Resultaat: de platen reageren zoals verwacht mag worden van een 5 respectievelijk 9mm minder dikke plaat. Na circa 60 minuten ging de plaat met de dwarsscheur iets open staan waardoor de temperatuur ter plaatse iets sneller opliep. Na 105 minuten viel een deel van deze plaat in de oven. Kort daarna werd de proef beëindigd.

Conclusie: kleine beschadigingen reduceren de hittewerende werking in beperkte mate.

d. Brandwerende deur en voegen tussen platen.

In verband met de eisen ten aanzien van een veilige vluchtweg zijn deuren, voorzien van Promatect-platen, ontwikkeld. Deze deuren werden getest in een proefopstelling waarbij naast de deur nog 8 kleine Promatect-platen waren aangebracht zodanig dat de voegen tussen deze platen alle een andere breedte hadden. Getest werd 180 minuten volgens de NPD hydrocarbon-curve (maximaal 1150 °C); in verband met de maximale capaciteit van de oven kon niet volgens de RWS-kromme worden getest.

Resultaten:

De deur is na 180 minuten nog niet bezweken, de vlamdichtheid is 148 minuten. Bij de voegen ontstond het volgende beeld: de voegen tot en met 4mm waren gedeeltelijk gevuld met beton; de gemeten temperatuur in de voeg ter plaatse van de achterzijde van de Promatect-plaat was hoger naar mate de voeg breder was; bij de voeg van 1mm was de temperatuur gelijk aan de temperatuur bij de situatie zonder voeg. De voeg van 5mm was geheel gevuld met beton; bij deze voeg was de gemeten temperatuur ongeveer gelijk aan de temperatuur bij een voeg van 1mm. De voeg van 6mm was geheel open omdat deze was aangebracht naast een achteraf aangebrachte Promatect-plaat; de hoogst gemeten temperatuur bij deze voeg was vrijwel gelijk aan de hoogst gemeten temperatuur van de volgestorte 5mm voeg; een verklaring van dit verrassende resultaat is niet gevonden.

e. Vochtgehalte beton

Naar aanleiding van het resultaat van de brandproef van de beschadigde Promatect-plaat bevestigd op een betonplaat (zie c.), is een onderzoek ingesteld naar het afspat gedrag van 'nat' beton (beton waarvan uitdroging wordt voorkomen).

Gebleken is dat bij de gebruikte betonkwaliteit (B35) en een bekleding van 27mm Promatect tijdens de 3 uur durende proef geen afspatten optrad. Afspatten is bij de voor zinktunnels gebruikelijke betonkwaliteit (B35) voor deze omstandigheden dus niet maatgevend; volstaan kan worden met brandproeven gericht op de controle van de temperatuur aan het betonoppervlak.

f. Vochtgehalte bekledingsmateriaal en vorstschade

Uit proeven is gebleken dat naarmate het vochtgehalte in het bekledingsmateriaal hoger is de gemeten temperaturen aan het betonoppervlak lager zijn; hieruit blijkt dat de slechtere isolerende werking van nat materiaal ruimschoots wordt gecompenseerd door de verdampingswarmte van het aanwezige water.

In de Drechtunnel is geconstateerd dat, ter plaatse van een lekkende voeg tussen diepwandpanelen, vorstschade is opgetreden. Deze constatering was verrassend omdat werd verwacht dat bij gespoten bekleding geen vorstschade op zou kunnen treden.

In 1980 zijn in Duitsland vorstproeven volgens DIN 52104 uitgevoerd op Promatect platen; er trad geen schade op. Bij later uitgevoerde proeven bij TNO volgens dezelfde norm trad wel vorstschade op. Het is niet duidelijk waardoor het verschil in resultaat tussen deze proeven is ontstaan; mogelijk speelt de uitvoering van het ontdooien tijdens de proef een rol.

In de praktijk is in de Heinenoordtunnel gebleken dat platen gedeeltelijk los kwamen door vochtopname en/of vorstschade ter plaatse van een lekkende voeg. Ook bij de Noordtunnel kwamen platen gedeeltelijk los ter plaatse van een lekkende voeg. Bij later uitgevoerde doortrekproeven van bouten bij natte Promatect platen werden geen lage waarden gevonden. Dit lijkt er op te wijzen dat het loskomen van de platen is ontstaan door vorst.

Afweging spuitmortels/platen

Bij de afweging tussen het toepassen van spuitmortel en het toepassen van platen spelen de volgende aspecten een rol:

a. Kwaliteit hittewerende laag

Bij platen is sprake van een constante kwaliteit die wordt bewaakt tijdens het productieproces. Bij spuitwerk is de kwaliteit vooral sterk afhankelijk van het vakmanschap van de spuijter. Slechts door middel van het houden van extra toezicht, diktemetingen en brandproeven (op tijdens het werk bespoten proefstukken) kan een indruk worden verkregen van het gehaalde kwaliteitsniveau, waarbij een grote spreiding in kwaliteit op kan treden.

b. Hechting aan de ondergrond

Een goede controle op de hechting is vereist.

Gezien de geconstateerde problemen met hechting wordt bij toepassing van spuitwerk voortaan geëist dat in de hittewerende bekleding een wapeningsnet aanwezig is dat aan het beton is verankerd.

c. Gritstralen

Aangezien bij spuitwerk (bij de vroegere toepassing zonder verankerd wapeningsnet) vooraf het beton moet worden gegritstaald is het gevolg:

- nat gritstralen (bij droog gritstralen zijn extra maatregelen nodig om het stof te doen neerslaan);
- geluidsoverlast; gevolg hiervan is het scheiden van deze werkzaamheden van de overige werkzaamheden;
- het afkomende materiaal en het grit moeten worden aangemerkt als chemisch afval wat hoge storkosten met zich meebrengt.

Aangezien voortaan uitsluitend toepassingen met een verankerd wapeningsnet door ons zullen worden geaccepteerd wordt het gritstralen van de ondergrond niet meer nodig geacht (wel reiniging van het oppervlak).

d. Onderhoud en controle

Gezien de niet constante kwaliteit en de aard van het materiaal moet bij spuitwerk vaker en tijdrovender worden geïnspecteerd.

Ook moet worden gecontroleerd of het spuitmateriaal met de tijd niet dunner wordt als gevolg van de zuigende werking van het verkeer (erosie).

Bij plaatmaterialen zal gecontroleerd moeten worden of (bij voegen) lekkage optreedt omdat lekkage (bij vorst) kan leiden tot het loskomen van platen. Bij spuitmateriaal zullen kleine lekkages niet gauw tot problemen leiden; grote lekkages zullen zonder gerichte inspectie eenvoudig te constateren zijn.

e. Duurzaamheid

Het mag duidelijk zijn dat het niet toelaatbaar is dat regelmatig delen van de hittewerende bekleding naar beneden vallen. In hoeverre spuitmaterialen (en platen) aan deze eis langdurig kunnen voldoen is niet duidelijk omdat over de duurzaamheid onvoldoende bekend is. Vooralsnog bestaat de indruk dat spuitmaterialen eerder (gedeeltelijk) zullen moeten worden vervangen dan plaatmaterialen.

f. Uitvoering

Het aanbrengen van platen in de bekisting (voor de toepassing bij zinktunnels) is een relatief eenvoudige handeling. Voldoende aandacht moet worden besteed om te voorkomen dat de schroeven worden plat getrapt.

Het achteraf aanbrengen van platen is tijdrovend. Dit kan vooral een rol spelen bij al in gebruik genomen tunnels en te bouwen boortunnels.

Voor het aanbrengen van spuitwerk moet vervuiling tussen de verschillende lagen worden voorkomen. Bij reeds in gebruik genomen tunnels betekent dit dat het niet aanvaardbaar is tussen het aanbrengen van de verschillende lagen verkeer toe te laten. Consequentie hiervan is dat of gewerkt moet worden in een aaneengesloten periode of dat beperkte stukken per periode worden voorzien van de totaal benodigde dikte.

g. Kosten

Het achteraf aanbrengen van platen is duur vanwege de hoge arbeidskosten en de roestvaststalen bevestigingsmiddelen. Het vooraf in de bekisting aanbrengen van platen is veel minder arbeidsintensief en de bevestigingsmiddelen zijn een stuk goedkoper.

De kosten van het aanbrengen van spuitwerk worden voornamelijk bepaald door de arbeidskosten; het aantal aan te brengen lagen speelt hierbij ook een rol. Rekening moet worden gehouden met de extra kosten voor toezicht en controle.

h. Aanrijdschade

Bij aanrijdschade van gespoten materialen is tot dusver voornamelijk sprake van krassen en afgebroken stukken. Direct te nemen maatregelen zijn beperkt tot het eventueel weghalen van los zittende stukken. Herstel is eenvoudig te realiseren en kan tijdens onderhoud plaatsvinden.

Bij aanrijdschade van platen blijkt het al snel nodig te zijn om beschadigde platen direct weg te halen. De schade zal al snel omvangrijker zijn dan bij een vergelijkbare aanrijding van gespoten bekleding.

9 Bediening en bewaking

9.1 Algemeen

Tunnels zullen, onder meer afhankelijk van hun functie, ligging, verkeersbelasting en risico's met betrekking tot het gebruik (en tijdelijke buitendienststelling/afsluiting), op passende wijze moeten worden bewaakt. Dit kan alleen achterwege blijven indien het constructies van zeer kleine schaal betreft, waar de risico's (combinatie van kans en gevolg) van storingen van welke aard dan ook minimaal zijn te noemen. Constructies die aan deze voorwaarden voldoen manifesteren zich in hun uitrusting met geen of uiterst summiere voorzieningen.

In geval van gesloten constructies met eenvoudige voorzieningen (bijvoorbeeld uitsluitend een pompvoorziening om de constructie droog te houden) kan monitoring ervan beperkt en eenvoudig blijven (bijvoorbeeld door een automatische telefoonmelding in te bouwen en/of een mogelijkheid tot ingrijpen ter plaatse in te bouwen).

Naarmate meer voorzieningen zijn ingebouwd zal de behoefte aan bewaking toenemen.

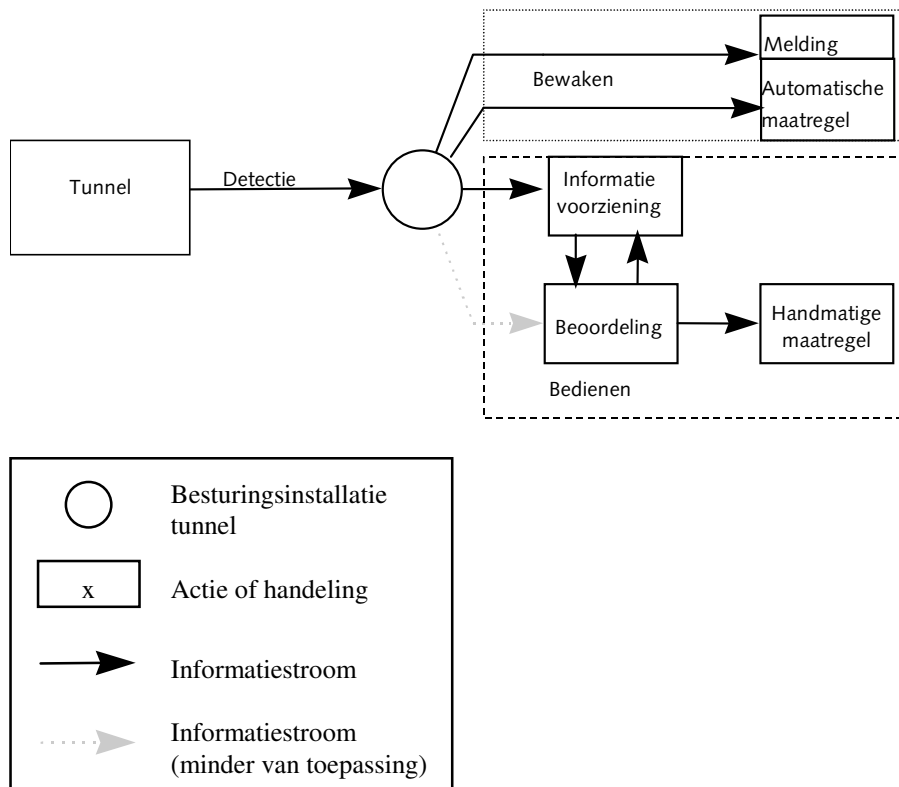
Wanneer er sprake is van een belangrijke constructie, hetgeen in feite het geval is bij alle tunnels in het Nederlandse hoofdwegennet, zal er ook sprake zijn van een uitgebreid voorzieningenniveau, zowel op tunneltechnisch als op verkeerstechnisch gebied. De parameters die dit voorzieningenniveau bepalen (zie hiertoe de betreffende hoofdstukken over ventilatie, verlichting, vluchtvoorzieningen enzovoort) leggen daarmee impliciet de mate van monitoring vast. In de hier bedoelde categorie van tunnels zijn die voorzieningen dermate essentieel dat niet alleen bewaking op de systemen nodig is maar dat bediening ervan evenzeer noodzakelijk is.

Bij bewaking (voor de definitie zie hoofdstuk 2) is sprake van een constructie die passief wordt gecontroleerd en waar verder geen sprake is van een wisselwerking met een centraal meldpunt en/of beheerder. Van actieve bewaking is alleen sprake bij de combinatie van bedienen (voor de definitie zie hoofdstuk 2) en bewaken. In dat geval kan er wel een wisselwerking zijn tussen de besturingsinstallatie en het centrale meldpunt en/of beheerder.

In de tunnels die in het hoofdwegennet zijn gelegen is het aantal installaties dusdanig groot dat zowel bewaking als bediening dient plaats te vinden.

Het is daarbij voor de hand liggend de bewakings- en bedieningsfuncties samen te brengen in één ruimte waarmee een versnipperde, onoverzichtelijke en complexe verdeling van (apparaat) besturingen over meerdere ruimtes wordt voorkomen.

In figuur 9.1 is een en ander schematisch weergegeven.



figuur 9.1

9.2 Besturingsinstallatie

Teneinde bediening en/of bewaking mogelijk te maken zal, naarmate de complexiteit van het totale systeem toeneemt, de behoefte aan sturingsmiddelen toenemen. Hierin wordt voorzien door een besturingsinstallatie.

Bij een onderdoorgang, die uitsluitend is uitgerust met een openbare verlichting, is geen besturingsinstallatie noodzakelijk.

Wanneer echter deze onderdoorgang is voorzien van een daglichtafhankelijke verlichting, hebben hier klaarblijkelijk (verkeers)veiligheidsoverwegingen en/of sociale veiligheidsoverwegingen een rol gespeeld. In dát geval zal aan de beschikbaarheid ervan een zekere eis worden gesteld en zal logischerwijs een zekere periodieke of zelfs permanente bewaking van het functioneren ervan, noodzakelijk zijn. Aldus is een (relatief eenvoudige) besturingsinstallatie noodzakelijk voor de (autonome) regeling en melding van storingen.

Een soortgelijke redenering geldt voor onderdoorgangen met een pompinstallatie.

In tunnels waarbij, behalve de noodzaak tot (passieve) bewaking van systemen, uit veiligheidsoverwegingen de noodzaak tot actieve verkeersmonitoring en ingrijpen op de verkeerssituatie is gewenst, ontstaat de behoefte aan een besturingsinstallatie in zijn meest omvangrijke vorm. Daarbij moet worden gedacht aan:

- het automatisch en handmatig controleren van de tunneltechnische en gebouwtechnische installaties;
- het automatisch en handmatig controleren van de verkeersafwikkeling;
- het reageren op situatiewijzigingen en afwijkingen in verkeersinstallaties;
- het reageren op situatiewijzigingen en afwijkingen in de tunneltechnische en gebouwtechnische installaties.

Er is sprake van een zekere relatie tussen het voorzieningenniveau in en nabij de tunnel en de vraag of er louter bewaakt dan wel bewaakt en bediend moet worden. Navolgend overzicht geeft hiertoe een grove indeling.

Voorziening niveau	geen bewaking ; geen bediening	alleen bewaking	bewaking en bediening
openbare verlichting	X		
daglichtafhankelijke ingangsverlichting		X	
drainagepomp(en)		X	
energievoorziening		X	
branddetectie		X	X
Ventilatie		X	X
brandbluspompen			X
verkeersdetectie en verkeersregeling			X
signalering bij hulpposten			X
hoogtemelding			X
communicatie			X
vluchtwegvoorzieningen			X

Deze tabel dient **niet** te worden beschouwd als een absoluut beslissingsmodel voor al dan niet bedienen! Het geeft louter een glijdende schaal weer van voorzieningen, waarbij geen enkele vorm van bewaken en bedienen nodig is naar een voorzieningenniveau, waarbij zowel bewaken als bedienen noodzakelijk is. De concrete afweging, die uiteindelijk leidt tot de keuze van een van de weergegeven mogelijkheden, zal per project moeten plaatsvinden. Deze afweging wordt onder meer gevoed door de overwegingen die naar voren komen uit een kwantitatieve risicoanalyse en een scenarioanalyse (is bijvoorbeeld een snelle detectie noodzakelijk om een voldoende laag risiconiveau te creëren of is camerabewaking noodzakelijk met het oog op een adequate inzet van de hulpverlenende diensten). Voorts zijn hierin de afwegingen van belang die per toe te passen voorziening spelen (camerabewaking heeft bijvoorbeeld alleen maar zin als er iemand is die de beelden kan bekijken; communicatievoorzieningen zijn alleen maar toepasbaar als er ook daadwerkelijk iemand is die er gebruik van kan maken).

9.3 Ontwerpaspecten

Bij het ontwerp van een besturingsinstallatie voor een tunnel spelen de volgende factoren een rol:

- *Lengte van de tunnel.*
In verband met de lengte van een tunnel is men vaak genooddacht meerdere laagspanningsruimten te maken daar anders de kabeldiameters te groot zouden worden (spanningsverliezen).
Per laagspanningsruimte is dan ook een besturingseenheid noodzakelijk.
- *Beschikbare ruimte voor techniek*
Hiermee wordt bedoeld dat afhankelijk van de ruimte die bouwkundig voorzien is voor laagspanningsverdelingen er tevens ruimte moet zijn voor de bijbehorende besturingsinstallatie.
- *Verkeersintensiteit*
Naarmate er sprake is van hogere verkeersintensiteiten zal het aantal veiligheidsinstallaties in de tunnel navenant groter zijn en de bewaking en bediening ervan eveneens omvangrijker.
- *Aansluitende wegen*
Het karakter van de aansluitende weg kan in belangrijke mate van invloed zijn op de uiteindelijke vormgeving van de besturingsinstallatie (bijvoorbeeld knooppunten vlak voor of na de tunnel).

9.4 Centrale bediening

Nagenoeg alle tunnels in het hoofdwegennet in Nederland zijn of worden aangesloten op regionale verkeerscentrales. Voor de operators ([wegverkeersleiders](#)) in deze regionale centrales zijn standaard taken gedefinieerd. Daarbij is een scheiding aangebracht tussen:

- verkeerskundige taken;
- tunneltechnische en gebouwtechnische beheertaken.

Deze scheiding in taken manifesteert zich ook in een scheiding tussen verschillende operators, te weten de verkeerstechnische operator ([wegverkeersleider](#)) en de (beheer)technische operator. De volgende hoofdtaken zijn te onderscheiden:

verkeerstechnisch:

- het monitoren van het verkeer in de tunnel en op aansluitende wegtracés;
- incident management (bij kleine incidenten);
- calamiteitenmanagement bij grote incidenten.

beheertechnisch:

- beheer in de vorm van het vastleggen van en reageren op technische storingen.

Het streven is erop gericht de bediening en bewaking van de tunnels in het landelijk hoofdwegenet onder te brengen in een beperkt aantal regionale verkeerscentrales. Thans zijn de volgende centrales voorzien:

Centrale	Plaats	verzorgingsgebied
Verkeers Centrale Noord Oost Nederland	Woeste Hoeve	Oost en Noord Nederland
Verkeers Centrale Zuidwest Nederland	Rhoon	Zuidwest Nederland
Verkeers Centrale Noord Holland	Velsen Zuid	Noordwest Nederland
Verkeers Centrale Zuid Nederland	Geldrop	Zuidoost Nederland
Verkeers Centrale Oudenrijn	Utrecht	Centraal Nederland

Een dergelijke centrale bundeling is geen absolute bedieningsvoorwaarde, doch vloeit in belangrijke mate voort uit praktische overwegingen:

- belendende wegvakken worden veelal ook al bewaakt en bediend waardoor combinatie met de tunnelbewaking en -bediening dan al gauw voor de hand liggend is;
- door bundeling van meerdere wegvakken en tunnels binnen een zeker verzorgingsgebied ontstaat een allesomvattend beeld van de totale verkeerssituatie in dat gebied waardoor effectiever Dynamisch Verkeers Management bedreven kan worden;
- aldus is een efficiënter en effectiever ingrijpen in ongewenste situaties mogelijk (veiligheid; omrijdroutes; voorwaarschuwingen enzovoort).

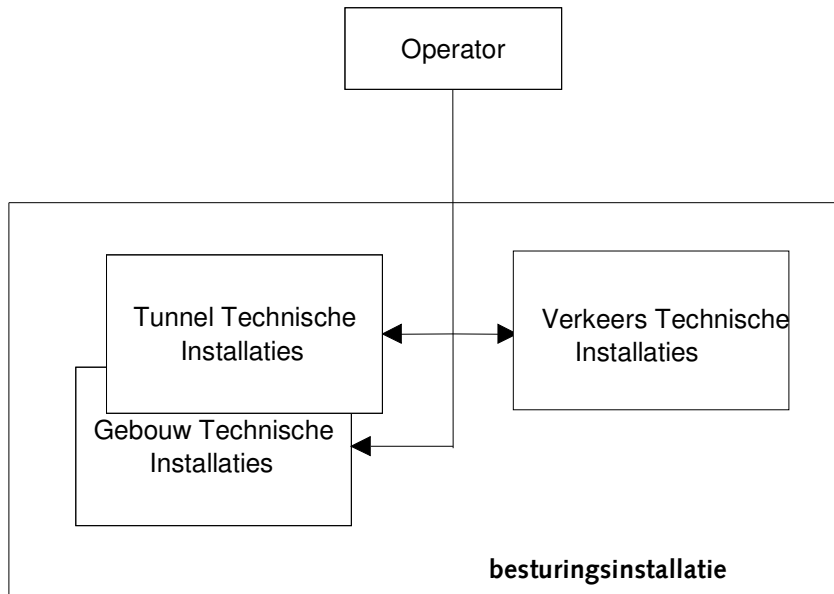
Los daarvan behoort een stand-alone bediening en bewaking van tunnels altijd tot de mogelijkheden, zeker in gebieden met lage verkeersintensiteiten en/of in het geval van (extreem) excentrisch gelegen objecten.

9.5 Functies en eisen besturingsinstallaties

In het navolgende wordt nader ingegaan op de functies die de besturingsinstallatie in de diverse soorten tunnels moet kunnen vervullen, de eisen die aan een dergelijke besturingsinstallatie moeten worden gesteld en de randvoorwaarden waaraan moet worden voldaan. Naar de aard van de besturingsinstallaties kan onderscheid worden gemaakt in twee typen gesloten constructies:

- gesloten constructies met alleen bewaking (pompkelders, verlichting);
- gesloten constructies met bewaking én bediening (hiertoe behoren nagenoeg alle tunnels in het hoofdwegenet van Nederland).

Wanneer er sprake is van een tunnel die bewaakt én bediend wordt is er logischerwijs ook sprake van bedienend personeel in de vorm van één of meer operators ([wegverkeersleiders](#)) die met behulp van de besturingsinstallatie hun controlerende en corrigerende taken uitoefenen. Dit is als volgt schematisch weergegeven:



In een bewaakte gesloten constructie heeft een besturingsinstallatie tot doel:

- het bewaken van het functioneren van de diverse installaties;
- het melden van afwijkingen;
- het automatisch regelen van diverse installaties.

En aanvullend in bewaakte en bediende gesloten constructies:

- het bedienen van de diverse deelininstallaties.

De volgende functies worden onderscheiden:

Algemene functies:

het opslaan van de meest relevante gegevens (alarmen, meetwaarden, verkeerstellingen enzovoort).

Verkeerstechnische functies:

het bewaken en aansturen van:

- verkeersgeleidingssystemen voor werk in uitvoering (PVWU), pijl/kruis (indien geen MTM);
- verkeersdetectie systemen (SOS, SDS, spookrijderdetectie);
- hoogtedetectie systemen;
- slagboom systemen;
- verplaatsbare vangrail;
- verkeerslichten;
- bijzondere borden;
- video en luidspreker;
- noodtelefoon;
- hulpkasten (deur, noodtelefoon, sproeischuimblusser en slanghaspel);
- de communicatie tussen de operator ([wegverkeersleider](#)) en de technische tunnel installaties;
- hoogfrequent radiocommunicatie systemen (inspreken radio zenders).

Tunneltechnische functies:

het bewaken en aansturen van:

- energie verbruik;
- energie management;
- noodstroom;
- verlichting;
- ventilatie;
- pompinstallaties;
- branddetectie;
- brandblusinstallaties;
- calamiteitenroutes;
- vluchtweg aanduiding;

- eventuele vluchtdeurontgrendeling;
- noodbesturing indien één van de PLC's uitvalt.

Gebouwtechnische functies:

het bewaken en aansturen van:

- alarminstallatie (gebouwen);
- klimaatinstallatie;
- voedingen.

9.6 Bedrijfsomstandigheden

Door handelingen van de **operator (wegverkeersleider)**, door automatische acties van het besturingssysteem, of door het niet (meer) functioneren van systemen kunnen de tunnelinstallaties in de hieronder beschreven bedrijfsomstandigheden terechtkomen.

Bedrijfsomstandigheid	Toelichting
Normaal bedrijf	Een installatie in normaal bedrijf bestuurt en regelt zichzelf (autonoom bedrijf). Als de operator dit wenselijk acht kan hij instellingen wijzigen. Een verbijzondering van het normaal bedrijf treedt op wanneer één of meer onderdelen van de besturingsinstallatie door storing of onderhoudswerkzaamheden buiten bedrijf is of zijn.
Stand-by fase na detectie	De Stand-by fase na detectie wordt automatisch ingeschakeld in situaties waarbij er wel bepaalde detectiesignalen zijn maar er onzekerheid bestaat over het wel of niet opgetreden zijn van een calamiteit.
Calamiteitenbedrijf	Het Calamiteitenbedrijf wordt ingeschakeld door de operator of automatisch bij een grote mate van zekerheid over het optreden van een calamiteit. Als het Calamiteitenbedrijf ingeschakeld is én ontruiming van de tunnel nodig is, activeert de operator het 'groepscommando evacuatie'. Dan worden acties gestart die het vluchtproces ondersteunen, in het bijzonder acties waarmee de weggebruiker naar de vluchtdeur toe wordt geleid.
Kritisch bedrijf	De primaire energiebron(nen) is (zijn) uitgevallen; de meest kritische installatieonderdelen functioneren op de alternatieve voedingsinstallatie.
Noodbedrijf	Tot noodbedrijf wordt overgegaan als ten gevolge van een fatale storing de veiligheid van de gebruikers niet langer kan worden gewaarborgd. Er is sprake van een fatale storing als bediening en besturing niet meer mogelijk zijn. Bij het onbestuurbaar worden van de tunneltechnische installaties dient de tunnel te worden afgesloten voor het verkeer. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het zogenaamde noodbedienpaneel dat onafhankelijk is van het besturingssysteem. Met het noodbedienpaneel kan de operator de verkeersregelinstallatie en de afsluitbomen bij de tunnelingang bedienen.

Kritisch bedrijf en Noodbedrijf worden in de rest van dit hoofdstuk buiten beschouwing gelaten.

Bij inschakeling van de Stand-by fase na detectie (kolom SB), het Calamiteitenbedrijf (kolom Cal) en het 'groepscommando evacuatie' (Kolom Cal + E) worden de volgende acties uitgevoerd door het besturingssysteem:

Actie	Toelichting	SB	Cal	Cal + E
Vluchtweg in gereedheid brengen	Afhankelijk van de situatie betreft het zaken als (zie hoofdstuk 11): ▪ Eventueel vergrendelde vluchtdeuren ontgrendelen. ▪ Zonodig deuren in de vluchtroute die toegang geven tot ruimten anders dan de vluchtroute vergrendelen. ▪ Mechanische overdrukventilatie starten. ▪ Vluchtwegverlichting op het juiste niveau zetten. N.B. In tunnels waarin gevlucht moet worden naar een andere tunnelbuis dienen zonodig aanvullende of afwijkende maatregelen te worden getroffen.	X		
Verlichting in de incidentbuis op optimaal niveau inschakelen	Het 100%-lichtniveau van de centrale zone van de tunnel wordt over de gehele lengte van het gesloten deel van de tunnel ingeschakeld. Eventueel al ingeschakelde extra verlichting in de ingangszone wordt daarbij niet uitgeschakeld. <i>De ingangsverlichting is ingeschakeld als het overgangsniveau dit vraagt. Wordt deze verlichting uitgeschakeld dan ontstaat een 'zwart gat' voor de verkeersdeelnemers die op dat moment de tunnel inrijden.</i>	X		
Tunnelventilatie incidentbuis in calamiteitenstand schakelen	In tunnels met een langsventilatiesysteem het ventilatieregime inschakelen voor het verdrijven van rook en gassen uit de calamiteitenbuis in de normale rijrichting van het verkeer.	X		
De voor afhandeling van de calamiteit benodigde tunnelbuizen afsluiten voor verkeer	▪ De verkeerslichten voor deze tunnelbuizen via knipperen (5s) en verkort geel (5s) naar rood. ▪ Daarna met ingebouwde vertraging de slagbomen automatisch neerlaten. De operator krijgt hierbij de mogelijkheid om dit proces te onderbreken indien hij van mening is dat het neerlaten van de slagbomen leidt tot onacceptabel gevaarlijke situaties. ▪ Indien aanwezig kan (al dan niet automatisch) een omleidingroute worden ingesteld, bijvoorbeeld met behulp van DRIPS of andere dynamische signaalgevers. Deze mogelijkheid dient tijdens het ontwerp met de landelijke verkeersmanager te worden afgestemd.		X	
Ventilatie naastgelegen tunnelbuizen in calamiteitenstand schakelen	De kans, dat rook – afkomstig uit de incidentbuis – in naastgelegen tunnelbuizen kan stromen dient zo klein mogelijk te worden gehouden door de instelling van het ventilatieregime in die naastgelegen buizen.		X	
Pompen van de brandblusinstallatie inschakelen en het brandblussysteem onder druk brengen			X	

Actie	Toelichting	SB	Cal	Cal + E
Alle vuilwaterpompen stoppen en het inschakelregime in de calamiteitenstand zetten	Zie hoofdstuk 7.		X	
Voorzieningen hulpdiensten activeren	Afhankelijk van de situatie kunnen bijvoorbeeld hekken tussen speciale aanvalswegen en de tunnel worden geopend; verlichting van opstelplaatsen en wrakkenterreinen ingeschakeld.		X	
Alle maatregelen voor ondersteuning van het vluchtproces activeren	Zie hoofdstuk 11 voor een overzicht van deze maatregelen.			X

Afhankelijk van de in een specifieke tunnel aanwezige veiligheidsvoorzieningen kan het gewenst zijn om ook andere dan de in de voorgaande tabel vermelde acties bij de groepscommando's onder te brengen. Ook kan het gewenst zijn om te kiezen voor een andere onderverdeling tussen het Stand-by fase na detectie en het Calamiteitenbedrijf.

9.7 Afhandeling van calamiteitensituaties

Bij het optreden van een calamiteit moet de **operator (wegverkeersleider)** veel handelingen in korte tijd verrichten. Hij verzamelt informatie, schakelt de tunnelinstallaties in de juiste stand en instrueert de weggebruikers. Daarnaast moet hij de hulpdiensten alarmeren, informeren en eventuele andere acties ondernemen, zoals bedoeld in de [Leidraad Veiligheidsdocumentatie voor Wegtunnels](#) (zie www.tunnelsafety.nl) en het [Calamiteitenbestrijdingsplan](#).

Door toepassing van technische hulpmiddelen kunnen tunneltechnische en verkeerstechnische installaties in een vooraf gedefinieerde toestand worden gebracht, zodat de **operator** zich volledig kan richten op het afhandelen van de calamiteit. Bijzondere vormen van deze vooraf gedefinieerde toestanden zijn de in paragraaf 9.6 beschreven bedrijfsomstandigheden.

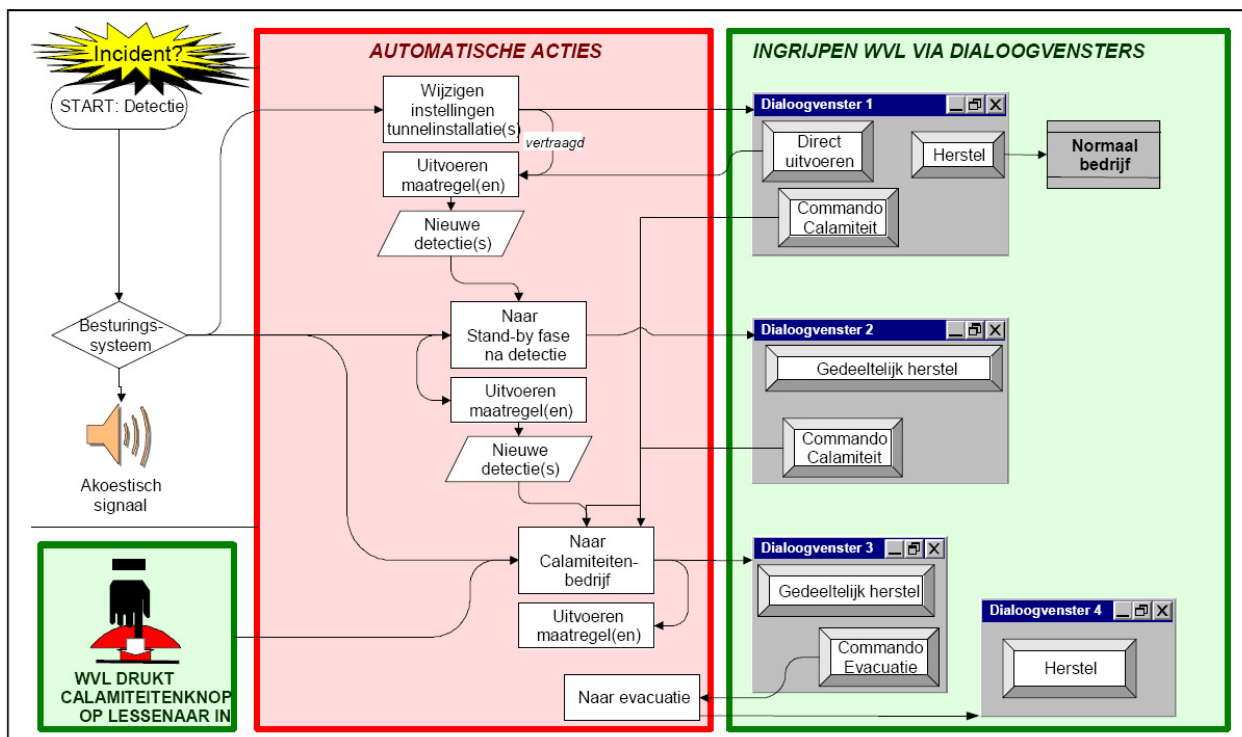
Hiertoe wordt voorzien in de volgende maatregelen:

- Groepscommando's: onder een groepscommando worden een aantal commando's gebundeld. Hierdoor kan de **operator** met één handeling de tunnelinstallaties naar een bepaalde bedrijfstoestand sturen:
 - Groepscommando Calamiteit: hiermee wordt het Calamiteitenbedrijf ingeschakeld.
 - Groepscommando Evacuatie: hiermee worden, binnen de bedrijfstoestand Calamiteitenbedrijf, acties gestart die het vluchtproces ondersteunen.
 - Automatische acties: om in een (potentieel) gevaarlijke situatie zo snel mogelijk te reageren kunnen detectiesignalen worden gebruikt om bepaalde bedrijfstoestanden automatisch (zonder actie van de **operator**) in te schakelen. De automatische acties kunnen, afhankelijk van de detectie of combinatie van detecties, bestaan uit:
 - het inschakelen of omschakelen van individuele tunnelinstallaties;
 - het inschakelen van de Stand-by fase na detectie;
 - het inschakelen van het Calamiteitenbedrijf.
- In paragraaf 9.8 is een voorbeelduitwerking gegeven van automatische acties.

Schematische weergave van de afhandeling van calamiteiten door het besturingssysteem

In het hierna volgende schema is weergegeven, hoe (mogelijke) calamiteiten in het besturingssysteem, al dan niet met tussenkomst van de **operator**, worden afgehandeld. In

paragraaf 9.9 zijn voorbeelden van de in het schema getoonde genummerde dialoogvensters opgenomen.



WVL = Wegverkeersleider

9.8 Uitwerking van automatische acties

Aan de hand van de betrouwbaarheid (kans op valse of niet relevante melding) is in de volgende matrix een uitwerking gegeven van automatische acties bij (een combinatie van) detectiesignalen aan de hand van de gebruikelijke situatie bij Rijkswaterstaatstunnels.

SOS / SDS	Rookmelding op zichtmeter	Openen hulppost	Branddetectie	Slanghaspel uitnemen	Draagbaar brand-blusapparaat uitnemen	Gebruik noodtelefoon	Fatale storing	Vermoedelijke aard van het initiële incident	Kans op een calamiteit ³⁾	Automatische acties ¹⁾
Alle (combinaties van) detecties										- camera IN - dialoogvenster in het beeldscherm van de WVL - attentiesignaal
X								- niet relevante melding - stilstand	klein	1. het dialoogvenster geeft de WVL keus: (a) direct rijstrook blokkeren ¹⁾ of (b) herstel. 2. Indien de WVL niet reageert: automatische rijstrookblokkering ¹⁾ 10-30sec (instelbaar) na detectie
	X							- brand - sterk rokend voertuig	aanwezig	STAND-BY FASE NA DETECTIE

SOS / SDS	Rookmelding op zichtmeter	Openen hulppost	Branddetectie	Slanghaspel uittrekken	Draagbaar brand- blusapparaat uittrekken	Gebruik noodtelefoon	Fatale storing	Vermoedelijke aard van het initiële incident	Kans op een calamiteit ³⁾	Automatische acties ¹⁾
Alle (combinaties van) detecties										- camera IN - dialogovenster in het beeldscherm van de WVL - attentiesignaal
		X						- pech - ongeval - brand - inleiding tot diefstal	klein	geen aanvullende acties
			X					brand	groot	STAND-BY FASE NA DETECTIE
				X				brand	groot	Brandbluspompen IN Tunnelventilatie IN
					X			- brand - diefstal	aanwezig	Tunnelventilatie IN
						X		iemand zoekt verbinding	klein	Rijstrook aan de rijbaanzijde van de noodtelefoon blokkeren ¹ (tenzij aan deze zijde een vluchtstrook is)
		X		X				brand	groot	STAND-BY FASE NA DETECTIE
		X			X			- brand - diefstal	aanwezig	STAND-BY FASE NA DETECTIE
		X				X		iemand zoekt verbinding	klein	Rijstrook aan de rijbaanzijde van de noodtelefoon blokkeren ¹ (tenzij aan deze zijde een vluchtstrook is)
X		X						- pech - ongeval	klein	Gedetecteerde rijstrook blokkeren
X	X							- brand - sterk rokend voertuig	aanwezig	STAND-BY FASE NA DETECTIE Gedetecteerde rijstrook blokkeren ¹
X			X					brand	groot	STAND-BY FASE NA DETECTIE Gedetecteerde rijstrook blokkeren ¹
X		X				X		iemand zoekt verbinding	klein	Gedetecteerde rijstrook blokkeren ¹ Rijstrook aan de rijbaanzijde van de noodtelefoon blokkeren (tenzij aan deze zijde een vluchtstrook is) ^{1, 2}
X	X	combinatie van 2 of meer detecties						brand	zeer groot	CALAMITEITENBEDRIJF
								brand	zeer groot	
							X	Uitval netvoeding en falen noodstroom	n.v.t. (technisch falen)	Afsluiten tunnelbuizen
							X	Uitval besturing	n.v.t. (technisch falen)	Afsluiten tunnelbuizen

1) Op een aantal plaatsen in de tabel wordt als actie de automatische blokkering van een rijstrook vermeld. Bij een rijstrookblokkering hoort automatisch een snelheidsbeperking op de aangrenzende rijstroken.

2) In een 2-strookstunnelbuis kunnen door deze actie beide rijstroken worden geblokkeerd (indien het voertuig links staat en de [noodtelefoon](#) rechts wordt gebruikt). In dit geval de gehele tunnelbuis afsluiten.

3) Toelichting bij de kolom "Kans op een calamiteit"

Bij het optreden van automatische acties is het uitgangspunt dat het verkeer zo min mogelijk wordt gehinderd en het Normaal bedrijf zoveel mogelijk wordt gehandhaafd. Anderzijds moet bij een werkelijke calamiteit op tijd actie worden genomen. Dit vraagt om een gedegen afweging, waarbij onder meer rekening wordt gehouden met de waarschijnlijkheid dat bij (een combinatie van) bepaalde detecties wérkelijk sprake is van een calamiteit.

Rekening dient te worden gehouden met:

- Niet relevante of valse meldingen:
Bijvoorbeeld bij een opgaande helling kan een snelheidsonderschrijding worden gemeten van een langzaam rijdende vrachtwagen. Voor een calamiteitsituatie is dit niet relevant.
Het is ook mogelijk dat de apparatuur een melding genereert zonder dat een verkeersincident heeft plaatsgevonden. Bijvoorbeeld een niet goed gesloten hulpportdeur wordt losgetrokken door de zuiging van een passerende vrachtwagen en genereert daardoor een melding 'deur open'. In dit geval is er sprake van een valse melding. Storingen in apparatuur of systemen kunnen eveneens tot valse meldingen of niet-meldingen leiden.
- Missers:
Sommige incidenten worden niet gemeld omdat de ingestelde detectiegrenzen niet worden overschreden of onderschreden. Bijvoorbeeld: een automobilist stopt tussen twee lussen en genereert geen melding doordat hij de laatste door hem aangereden lus met een hogere snelheid dan de detectiesnelheid is gepasseerd.

Verder kunnen detectiesignalen worden gegenereerd in geval van pech of van een ander type incident, niet zijnde een calamiteit.

In de hiervoor genoemde situaties genereert het systeem minimaal een attentiesignaal voor de [operator \(wegverkeersleider\)](#), die vervolgens zonodig in actie komt. Afhankelijk van het type melding worden eventueel andere acties automatisch genomen, bijvoorbeeld de Stand-by fase na detectie. Alleen als de calamiteit vrijwel zeker is, wordt het Calamiteitenbedrijf ingeschakeld.

Voor richtlijnen inzake detectiesystemen en de daarbij behorende toelichting, zie de hoofdstukken 10 en 14. Uitsluitend als toelichting bij de tabel op de vorige pagina wordt over de betrouwbaarheid van de diverse detectiesystemen het volgende opgemerkt.

1. Detectie van snelheid (snelheidsonderschrijding (SOS) of snelheidsdiscriminatie (SDS))
Voor detectie van snelheid zijn diverse systemen verkrijgbaar (lussen, radar, CCTV). De meeste van deze systemen geven geen directe informatie over stilstand. De kans is aanwezig dat een stilstand niet leidt tot een melding. Daarom is in de matrix rekening gehouden met de mogelijkheid dat meldingen die normaal gesproken alleen tot stand kunnen komen nadat een voertuig in de tunnel is gestopt (open hulpportdeur, uitnemen blusapparatuur, gebruik [noodtelefoon](#) etc.) ook mogelijk zijn zonder dat voorafgaand een snelheidsonderschrijding is gemeld.
2. Rookdetectie (d.m.v. zichtmeter)
Een plotseling optredende zichtvermindering kan vrijwel uitsluitend ontstaan ten gevolge van een rookwolk die in de verkeersruimte van de tunnel aanwezig is. De oorzaak kan zijn brand, een sterk rokend (rijdend) voertuig of (maar in de praktijk zeer onwaarschijnlijk) een blokkering van de straal van de zichtmeter. De meting zelf is betrouwbaar. Zie hoofdstuk 14 voor de schakelpunten van de zichtmeter en de alarmniveaus. Overschakeling naar Stand-by fase na detectie, als gevolg van mist, dient te worden voorkomen.

3. Openen hulppost
De hulppostdeuren zijn voorzien van een openstandmelding. Een melding kan ook ontstaan door een rammelende deur (niet goed afgesloten). De kans op onterechte meldingen is daarom aanwezig. In alle gevallen moet dus worden gecontroleerd of de deur werkelijk door een persoon is geopend.
4. Branddetectie
De meeste branddetectiesystemen geven een betrouwbaar signaal en hebben een zekere traagheid.
5. Slanghaspel uitnemen
Uitgezonderd tijdens onderhoudsituaties zal een slanghaspel uitsluitend worden uitgenomen ter bestrijding van brand. Valse meldingen blijven echter mogelijk door slecht afgestelde apparatuur. Over het geheel genomen is het uitnemen van een haspel een redelijk betrouwbare indicatie dat er in de verkeersruimte van de tunnel iets bijzonders aan de hand is.
6. [Draagbaar brandblusapparaat](#) uitnemen
Een [draagbaar brandblusapparaat](#) wordt om twee redenen uitgenomen: (1) een (nog) kleine brand, (2) diefstal. Vanwege het aspect diefstal geeft het signaal '[draagbaar brandblusapparaat](#) uitnemen' op zichzelf onvoldoende zekerheid dat er brand in de verkeersruimte van de tunnel is.
7. [Noodtelefoon](#)
De [noodtelefoon](#) wordt gebruikt voor een grote variëteit aan meldingen. Valse of onterechte meldingen kunnen niet door de apparatuur worden gegenereerd.
8. Fatale storing
De tunnelbesturing faalt waardoor de tunnel alleen nog met behulp van noodbediening kan worden afgesloten, of het opstarten van de noodstroomvoorziening faalt tijdens storing in het elektriciteitsnet.

9.9 Voorbeelden van dialoogvensters

Voorbeeld van dialoogvenster 1: (automatisch) afsluiten van een rijstrook na een stilstandsdetectie.

Naam van de tunnel		Instellingen wijzigen																																																																																																																													
Systeem <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Locatie</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Stilstanddetectie</td> <td>☒ Li 25,0</td> </tr> <tr> <td>Verminderd zichtdetectie</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rookdetectie</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hulppost geopend</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Brandblusser uitgenomen</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Slanghaspel uitgenomen</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Intercom in gebruik</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Technisch Falen</td> </tr> </tbody> </table>			Locatie	Stilstanddetectie	☒ Li 25,0	Verminderd zichtdetectie		Rookdetectie		Hulppost geopend		Brandblusser uitgenomen		Slanghaspel uitgenomen		Intercom in gebruik		Technisch Falen		Actie's <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Li</th> <th colspan="2">Re</th> <th></th> </tr> <tr> <th></th> <th>L</th> <th>R</th> <th>L</th> <th>R</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rijkstrook over 5 s blokkeren</td> <td></td> <td>☒</td> <td></td> <td></td> <td>Herstel Direct</td> </tr> <tr> <td>Snelheidsmaatregel</td> <td></td> <td>☒</td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Tunnelbuis afsluiten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Tunnelventilatie in</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Tunnelverlichting optimaal</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Brandbluspompen starten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Pompkelders calamiteitenregime</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Voorzieningen hulpdiensten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Vluchtroute instellen</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="3">Herstel</td> </tr> <tr> <td>Vluchtdoeken ontgrendeld</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Overdrukventilatie ingeschakeld</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Verlichting vluchtroute ingeschakeld</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">Groepscommando CALAMITEIT</td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Evacuatie</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">Evacuatieverlichting ingeschakeld</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">Vluchtinstructie/geluidbakens gestart</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Li		Re				L	R	L	R		Rijkstrook over 5 s blokkeren		☒			Herstel Direct	Snelheidsmaatregel		☒			Herstel	Tunnelbuis afsluiten					Herstel	Tunnelventilatie in					Herstel	Tunnelverlichting optimaal					Herstel	Brandbluspompen starten					Herstel	Pompkelders calamiteitenregime					Herstel	Voorzieningen hulpdiensten					Herstel	Vluchtroute instellen					Herstel	Vluchtdoeken ontgrendeld					Overdrukventilatie ingeschakeld					Verlichting vluchtroute ingeschakeld						Groepscommando CALAMITEIT					Herstel	Evacuatie						Evacuatieverlichting ingeschakeld						Vluchtinstructie/geluidbakens gestart					
	Locatie																																																																																																																														
Stilstanddetectie	☒ Li 25,0																																																																																																																														
Verminderd zichtdetectie																																																																																																																															
Rookdetectie																																																																																																																															
Hulppost geopend																																																																																																																															
Brandblusser uitgenomen																																																																																																																															
Slanghaspel uitgenomen																																																																																																																															
Intercom in gebruik																																																																																																																															
Technisch Falen																																																																																																																															
	Li		Re																																																																																																																												
	L	R	L	R																																																																																																																											
Rijkstrook over 5 s blokkeren		☒			Herstel Direct																																																																																																																										
Snelheidsmaatregel		☒			Herstel																																																																																																																										
Tunnelbuis afsluiten					Herstel																																																																																																																										
Tunnelventilatie in					Herstel																																																																																																																										
Tunnelverlichting optimaal					Herstel																																																																																																																										
Brandbluspompen starten					Herstel																																																																																																																										
Pompkelders calamiteitenregime					Herstel																																																																																																																										
Voorzieningen hulpdiensten					Herstel																																																																																																																										
Vluchtroute instellen					Herstel																																																																																																																										
Vluchtdoeken ontgrendeld																																																																																																																															
Overdrukventilatie ingeschakeld																																																																																																																															
Verlichting vluchtroute ingeschakeld																																																																																																																															
Groepscommando CALAMITEIT					Herstel																																																																																																																										
Evacuatie																																																																																																																															
Evacuatieverlichting ingeschakeld																																																																																																																															
Vluchtinstructie/geluidbakens gestart																																																																																																																															
Bedrijfsstoestand <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Automatisch geactiveerd groepscommando</td> <td>Tunnelbuis</td> </tr> <tr> <td>Stand-by fase na detectie</td> <td>Li Re</td> </tr> <tr> <td>Calamiteitenbedrijf</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Automatisch geactiveerd groepscommando	Tunnelbuis	Stand-by fase na detectie	Li Re	Calamiteitenbedrijf																																																																																																																									
Automatisch geactiveerd groepscommando	Tunnelbuis																																																																																																																														
Stand-by fase na detectie	Li Re																																																																																																																														
Calamiteitenbedrijf																																																																																																																															

Brandblusser = Draagbaar brandblusapparaat; Intercom = noodtelefoon

Voorbeeld van dialoogvenster 2: automatisch geactiveerde Stand-by fase na detectie.

Naam van de tunnel		Stand-by fase na detectie																																																																																																																
Systeem <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Locatie</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Stilstanddetectie</td> <td>Li 15,0</td> </tr> <tr> <td>Verminderd zichtdetectie</td> <td>Li 15,0</td> </tr> <tr> <td>Rookdetectie</td> <td>Li 15,0</td> </tr> <tr> <td>Hulppost geopend</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Brandblusser uitgenomen</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Slanghaspel uitgenomen</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Intercom in gebruik</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Technisch Falen</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Locatie	Stilstanddetectie	Li 15,0	Verminderd zichtdetectie	Li 15,0	Rookdetectie	Li 15,0	Hulppost geopend		Brandblusser uitgenomen		Slanghaspel uitgenomen		Intercom in gebruik		Technisch Falen		Actie's <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Li</th> <th colspan="2">Re</th> <th></th> </tr> <tr> <th></th> <th>L</th> <th>R</th> <th>L</th> <th>R</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rijkstrook over 0 s blokkeren</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Herstel Direct</td> </tr> <tr> <td>Snelheidsmaatregel</td> <td>✓</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Tunnelbuis afsluiten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Tunnelventilatie in</td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Tunnelverlichting optimaal</td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Brandbluspompen starten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Pompkelders in calamiteiten regime</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Voorzieningen hulpdiensten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Vluchtroute in gereedheid brengen</td> <td>✓</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="4">Herstel</td> </tr> <tr> <td>Vluchtdeuren ontgrendeld</td> <td>✓</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Overdrukventilatie ingeschakeld</td> <td>✓</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Verlichting vluchtroute ingeschakeld</td> <td>✓</td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">Groepscommando CALAMITEIT</td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td colspan="5"> Evacuatie Evacuatieverlichting ingeschakeld Vluchtinstructie/geluidbakens gestart </td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Li		Re				L	R	L	R		Rijkstrook over 0 s blokkeren					Herstel Direct	Snelheidsmaatregel	✓	✓			Herstel	Tunnelbuis afsluiten					Herstel	Tunnelventilatie in		✓			Herstel	Tunnelverlichting optimaal		✓			Herstel	Brandbluspompen starten					Herstel	Pompkelders in calamiteiten regime					Herstel	Voorzieningen hulpdiensten					Herstel	Vluchtroute in gereedheid brengen	✓	✓			Herstel	Vluchtdeuren ontgrendeld	✓	✓			Overdrukventilatie ingeschakeld	✓	✓			Verlichting vluchtroute ingeschakeld	✓	✓			Groepscommando CALAMITEIT					Herstel	Evacuatie Evacuatieverlichting ingeschakeld Vluchtinstructie/geluidbakens gestart					
	Locatie																																																																																																																	
Stilstanddetectie	Li 15,0																																																																																																																	
Verminderd zichtdetectie	Li 15,0																																																																																																																	
Rookdetectie	Li 15,0																																																																																																																	
Hulppost geopend																																																																																																																		
Brandblusser uitgenomen																																																																																																																		
Slanghaspel uitgenomen																																																																																																																		
Intercom in gebruik																																																																																																																		
Technisch Falen																																																																																																																		
	Li		Re																																																																																																															
	L	R	L	R																																																																																																														
Rijkstrook over 0 s blokkeren					Herstel Direct																																																																																																													
Snelheidsmaatregel	✓	✓			Herstel																																																																																																													
Tunnelbuis afsluiten					Herstel																																																																																																													
Tunnelventilatie in		✓			Herstel																																																																																																													
Tunnelverlichting optimaal		✓			Herstel																																																																																																													
Brandbluspompen starten					Herstel																																																																																																													
Pompkelders in calamiteiten regime					Herstel																																																																																																													
Voorzieningen hulpdiensten					Herstel																																																																																																													
Vluchtroute in gereedheid brengen	✓	✓			Herstel																																																																																																													
Vluchtdeuren ontgrendeld	✓	✓																																																																																																																
Overdrukventilatie ingeschakeld	✓	✓																																																																																																																
Verlichting vluchtroute ingeschakeld	✓	✓																																																																																																																
Groepscommando CALAMITEIT					Herstel																																																																																																													
Evacuatie Evacuatieverlichting ingeschakeld Vluchtinstructie/geluidbakens gestart																																																																																																																		
Bedrijfstoestand <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Automatisch geactiveerd groepscommando</td> <td>Tunnelbuis</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Li Re</td> </tr> <tr> <td>Stand-by fase na detectie</td> <td>Li ✓</td> </tr> <tr> <td>Calamiteitenbedrijf</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Automatisch geactiveerd groepscommando	Tunnelbuis		Li Re	Stand-by fase na detectie	Li ✓	Calamiteitenbedrijf																																																																																																										
Automatisch geactiveerd groepscommando	Tunnelbuis																																																																																																																	
	Li Re																																																																																																																	
Stand-by fase na detectie	Li ✓																																																																																																																	
Calamiteitenbedrijf																																																																																																																		

Brandblusser = Draagbaar brandblusapparaat; Intercom = noodtelefoon

Voorbeeld van dialoogvenster 3: geactiveerd Calamiteitenbedrijf.

Naam van de tunnel		Calamiteitenbedrijf																																																																																																																
Systeem <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Locatie</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Stilstanddetectie</td> <td>Re 10,0</td> </tr> <tr> <td>Verminderd zichtdetectie</td> <td>Re 10,0</td> </tr> <tr> <td>Rookdetectie</td> <td>Re 10,1</td> </tr> <tr> <td>Hulppost geopend</td> <td>10Wa1</td> </tr> <tr> <td>Brandblusser uitgenomen</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Slanghaspel uitgenomen</td> <td>10Wa1S</td> </tr> <tr> <td>Intercom in gebruik</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Technisch Falen</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Locatie	Stilstanddetectie	Re 10,0	Verminderd zichtdetectie	Re 10,0	Rookdetectie	Re 10,1	Hulppost geopend	10Wa1	Brandblusser uitgenomen		Slanghaspel uitgenomen	10Wa1S	Intercom in gebruik		Technisch Falen		Actie's <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Li</th> <th colspan="2">Re</th> <th></th> </tr> <tr> <th></th> <th>L</th> <th>R</th> <th>L</th> <th>R</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rijkstrook over 0 s blokkeren</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Herstel Direct</td> </tr> <tr> <td>Snelheidsmaatregel</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td>✓</td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Tunnelbuis afsluiten</td> <td>0</td> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Tunnelventilatie in</td> <td>0</td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Tunnelverlichting optimaal</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Brandbluspompen starten</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Pompkelders in calamiteiten regime</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Voorzieningen hulpdiensten</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td>Vluchtroute in gereedheid brengen</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td rowspan="4">Herstel</td> </tr> <tr> <td>Vluchtdeuren ontgrendeld</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Overdrukventilatie ingeschakeld</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Verlichting vluchtroute ingeschakeld</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">Groepscommando EVACUATIE</td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td colspan="5"> Evacuatie Evacuatieverlichting ingeschakeld Vluchtinstructie/geluidbakens gestart </td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Li		Re				L	R	L	R		Rijkstrook over 0 s blokkeren					Herstel Direct	Snelheidsmaatregel			✓	✓	Herstel	Tunnelbuis afsluiten	0		0		Herstel	Tunnelventilatie in	0		✓		Herstel	Tunnelverlichting optimaal			✓		Herstel	Brandbluspompen starten			✓		Herstel	Pompkelders in calamiteiten regime			✓		Herstel	Voorzieningen hulpdiensten			✓		Herstel	Vluchtroute in gereedheid brengen			✓		Herstel	Vluchtdeuren ontgrendeld			✓		Overdrukventilatie ingeschakeld			✓		Verlichting vluchtroute ingeschakeld			✓		Groepscommando EVACUATIE					Herstel	Evacuatie Evacuatieverlichting ingeschakeld Vluchtinstructie/geluidbakens gestart					
	Locatie																																																																																																																	
Stilstanddetectie	Re 10,0																																																																																																																	
Verminderd zichtdetectie	Re 10,0																																																																																																																	
Rookdetectie	Re 10,1																																																																																																																	
Hulppost geopend	10Wa1																																																																																																																	
Brandblusser uitgenomen																																																																																																																		
Slanghaspel uitgenomen	10Wa1S																																																																																																																	
Intercom in gebruik																																																																																																																		
Technisch Falen																																																																																																																		
	Li		Re																																																																																																															
	L	R	L	R																																																																																																														
Rijkstrook over 0 s blokkeren					Herstel Direct																																																																																																													
Snelheidsmaatregel			✓	✓	Herstel																																																																																																													
Tunnelbuis afsluiten	0		0		Herstel																																																																																																													
Tunnelventilatie in	0		✓		Herstel																																																																																																													
Tunnelverlichting optimaal			✓		Herstel																																																																																																													
Brandbluspompen starten			✓		Herstel																																																																																																													
Pompkelders in calamiteiten regime			✓		Herstel																																																																																																													
Voorzieningen hulpdiensten			✓		Herstel																																																																																																													
Vluchtroute in gereedheid brengen			✓		Herstel																																																																																																													
Vluchtdeuren ontgrendeld			✓																																																																																																															
Overdrukventilatie ingeschakeld			✓																																																																																																															
Verlichting vluchtroute ingeschakeld			✓																																																																																																															
Groepscommando EVACUATIE					Herstel																																																																																																													
Evacuatie Evacuatieverlichting ingeschakeld Vluchtinstructie/geluidbakens gestart																																																																																																																		
Bedrijfstoestand <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Automatisch geactiveerd groepscommando</td> <td>Tunnelbuis</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Li Re</td> </tr> <tr> <td>Stand-by fase na detectie</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Calamiteitenbedrijf</td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>		Automatisch geactiveerd groepscommando	Tunnelbuis		Li Re	Stand-by fase na detectie		Calamiteitenbedrijf	✓																																																																																																									
Automatisch geactiveerd groepscommando	Tunnelbuis																																																																																																																	
	Li Re																																																																																																																	
Stand-by fase na detectie																																																																																																																		
Calamiteitenbedrijf	✓																																																																																																																	

Brandblusser = Draagbaar brandblusapparaat; Intercom = noodtelefoon

Voorbeeld van dialoogvenster 4: Calamiteitenbedrijf met evacuatie.

Naam van de tunnel			Calamiteitenbedrijf + Evacuatie																																																																																																																	
Systeem <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Li</th> <th>Re</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Stilstanddetectie</td> <td>✓</td> <td>Re 10,0</td> </tr> <tr> <td>Verminderd zichtdetectie</td> <td>✓</td> <td>Re 10,0</td> </tr> <tr> <td>Rookdetectie</td> <td>✓</td> <td>Re 10,1</td> </tr> <tr> <td>Hulppost geopend</td> <td>✓</td> <td>10Wa1</td> </tr> <tr> <td>Brandblusser uitgenomen</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Slanghaspel uitgenomen</td> <td>✓</td> <td>10Wa1S</td> </tr> <tr> <td>Intercom in gebruik</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Technisch Falen</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Li	Re	Stilstanddetectie	✓	Re 10,0	Verminderd zichtdetectie	✓	Re 10,0	Rookdetectie	✓	Re 10,1	Hulppost geopend	✓	10Wa1	Brandblusser uitgenomen			Slanghaspel uitgenomen	✓	10Wa1S	Intercom in gebruik									Technisch Falen																																																																																			
	Li	Re																																																																																																																		
Stilstanddetectie	✓	Re 10,0																																																																																																																		
Verminderd zichtdetectie	✓	Re 10,0																																																																																																																		
Rookdetectie	✓	Re 10,1																																																																																																																		
Hulppost geopend	✓	10Wa1																																																																																																																		
Brandblusser uitgenomen																																																																																																																				
Slanghaspel uitgenomen	✓	10Wa1S																																																																																																																		
Intercom in gebruik																																																																																																																				
Technisch Falen																																																																																																																				
Bedrijfsstoestand <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Li</th> <th>Re</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Automatisch geactiveerd groepscommando</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Stand-by fase na detectie</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Calamiteitenbedrijf</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>				Li	Re	Automatisch geactiveerd groepscommando			Stand-by fase na detectie			Calamiteitenbedrijf		✓																																																																																																						
	Li	Re																																																																																																																		
Automatisch geactiveerd groepscommando																																																																																																																				
Stand-by fase na detectie																																																																																																																				
Calamiteitenbedrijf		✓																																																																																																																		
Actie's <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="2">Li</th> <th colspan="2">Re</th> <th></th> <th></th> </tr> <tr> <th></th> <th>L</th> <th>R</th> <th>L</th> <th>R</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rijkstrook over 0 s blokkeren</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td>Herstel</td> <td>Direct</td> </tr> <tr> <td>Snelheidsmaatregel</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>Herstel</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tunnelbuis afsluiten</td> <td>✓</td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>Herstel</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tunnelventilatie in</td> <td>✓</td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>Herstel</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tunnelverlichting optimaal</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>Herstel</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Brandbluspompen starten</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>Herstel</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pompkelders in calamiteitenregime</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>Herstel</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Voorzieningen hulpdiensten</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td>Herstel</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vluchtroute in gereedheid brengen</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td rowspan="3">Herstel</td> <td rowspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Vluchtdeuren ontgrendeld</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Overdrukventilatie ingeschakeld</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Verlichting vluchtroute ingeschakeld</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6"> Groepscommando EVACUATIE </td> <td>Herstel</td> </tr> <tr> <td colspan="6"> Evacuatie <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Evacuatieverlichting ingeschakeld</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Vluchtinstructie/geluidbakens gestart</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table> </td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Li		Re					L	R	L	R			Rijkstrook over 0 s blokkeren				✓	Herstel	Direct	Snelheidsmaatregel			✓		Herstel		Tunnelbuis afsluiten	✓		✓		Herstel		Tunnelventilatie in	✓		✓		Herstel		Tunnelverlichting optimaal			✓		Herstel		Brandbluspompen starten			✓		Herstel		Pompkelders in calamiteitenregime			✓		Herstel		Voorzieningen hulpdiensten			✓		Herstel		Vluchtroute in gereedheid brengen			✓		Herstel		Vluchtdeuren ontgrendeld			✓		Overdrukventilatie ingeschakeld			✓		Verlichting vluchtroute ingeschakeld			✓				Groepscommando EVACUATIE						Herstel	Evacuatie <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Evacuatieverlichting ingeschakeld</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Vluchtinstructie/geluidbakens gestart</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>						Evacuatieverlichting ingeschakeld		✓	Vluchtinstructie/geluidbakens gestart		✓	
	Li		Re																																																																																																																	
	L	R	L	R																																																																																																																
Rijkstrook over 0 s blokkeren				✓	Herstel	Direct																																																																																																														
Snelheidsmaatregel			✓		Herstel																																																																																																															
Tunnelbuis afsluiten	✓		✓		Herstel																																																																																																															
Tunnelventilatie in	✓		✓		Herstel																																																																																																															
Tunnelverlichting optimaal			✓		Herstel																																																																																																															
Brandbluspompen starten			✓		Herstel																																																																																																															
Pompkelders in calamiteitenregime			✓		Herstel																																																																																																															
Voorzieningen hulpdiensten			✓		Herstel																																																																																																															
Vluchtroute in gereedheid brengen			✓		Herstel																																																																																																															
Vluchtdeuren ontgrendeld			✓																																																																																																																	
Overdrukventilatie ingeschakeld			✓																																																																																																																	
Verlichting vluchtroute ingeschakeld			✓																																																																																																																	
Groepscommando EVACUATIE						Herstel																																																																																																														
Evacuatie <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Evacuatieverlichting ingeschakeld</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Vluchtinstructie/geluidbakens gestart</td> <td></td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>						Evacuatieverlichting ingeschakeld		✓	Vluchtinstructie/geluidbakens gestart		✓																																																																																																									
Evacuatieverlichting ingeschakeld		✓																																																																																																																		
Vluchtinstructie/geluidbakens gestart		✓																																																																																																																		

Brandblusser = Draagbaar brandblusapparaat; Intercom = noodtelefoon

10 Verkeersdetectie en Verkeersregeling

10.1 Algemeen

Het doel van verkeersinstallaties is:

- het stromend houden van het verkeer in de tunnel;
- verkeersmaatregelen in de tunnel te kunnen nemen ten behoeve van onderhoud;
- het risico te beperken bij het plaatsen van vaste verkeersvoorzieningen ten behoeve van onderhoud;
- verkeersmaatregelen te kunnen nemen bij stremming, pech en ongeval;
- het risico te beperken bij stilstaande auto's in de tunnelbuis voor personen die zich in de tunnelbuis bevinden en voor het achteropkomend verkeer.

Tot verkeersinstallaties worden (voor zover aanwezig) gerekend:

- Hardware:
- verkeersdetectie systemen;
 - signaalgevers boven de weg (beelden: **X**, **⚡**, **⚡**, snelheidsbeperking, **Ø**);
 - verkeersborden;
 - verkeerslichten;
 - slagbomen;
 - besturingsapparatuur.
- Software:
- regel- en besturingsprogrammatuur.

Factoren die van invloed zijn op de keuze om een verkeersinstallatie in een verkeerstunnel te installeren zijn:

- verkeersintensiteit;
- lengte van de tunnel;
- aantal rijstroken;
- afwezigheid van een vluchtstrook;
- mogelijkheid onderhoud aan installaties te verrichten zonder de verkeersbuis te betreden;
- voorschriften;
- alignementen van de tunnel;
- aanwezigheid van in- en uitvoegstroken nabij de tunnel.

Twee typen verkeersinstallaties kunnen worden onderscheiden:

- 1 Een verkeersinstallatie die uitsluitend bedoeld is om rijstroken te blokkeren ten behoeve van onderhoud. Algemene benaming van een dergelijk systeem is Permanente Voorziening voor Werk In Uitvoering (PVWU). Een dergelijk systeem is niet automatisch, dat wil zeggen niet voorzien van een automatisch verkeersdetectie systeem.
- 2 Een verkeersinstallatie die voorzien is van een automatisch verkeersdetectie systeem en waarmee zowel handmatig als automatisch het verkeer kan worden beïnvloed.

De keuze voor het type verkeersinstallatie en de uitvoering daarvan wordt beïnvloed door:

- de aanwezigheid van permanente bewaking;
- de verkeersintensiteit.

10.2 Overwegingen

Een voertuig dat tot stilstand komt in een tunnel¹² zonder vluchtstrook (pech, ongeval) moet noodgedwongen op een rijstrook blijven staan. Het voertuig vormt een capaciteitsverlagend obstakel met als gevolg een verhoogde kans op aanrijdingen. Personen die het voertuig verlaten om naar een hulppost te lopen, lopen kans te worden aangereden doordat zij uitsluitend de rijbaan of de objectafstanden kunnen gebruiken. Het verkeersvrij maken van de betreffende rijstrook werkt sterk

¹² Hier wordt ervan uitgegaan dat een tunnel altijd voorzien is van twee of meer parallelle tunnelbuizen. In de normale situatie rijdt al het verkeer in één tunnelbuis altijd in dezelfde richting.

risicobeperkend. Hiervoor is een verkeersinstallatie nodig, bij voorkeur voorzien van een automatische verkeersdetectie.

Bij kortdurend onderhoud ontstaat een soortgelijke situatie en is dus eveneens een verkeersinstallatie noodzakelijk, zij het dat in dit geval een verkeersdetectie achterwege kan blijven omdat onderhoud altijd planmatig plaatsvindt.

Voor inspectie en onderhoud alsmede het verhelpen van storingen moet regelmatig worden gewerkt aan apparatuur. Bij plaatsing in een middenkanaal of beloopbaar kabelkanaal kan onderhoud op ieder moment van de dag en zonder verkeershinder plaatsvinden.

Indien geen middenkanaal of beloopbaar kabelkanaal aanwezig is, moet voor elke vorm van onderhoud aan apparatuur de verkeersbuis (gedeeltelijk) verkeersvrij worden gemaakt waardoor verkeershinder ontstaat. De beheerder van een tunnel zonder middenkanaal gaf aan dat in een 1000m lange tunnel met 2X2 rijstroken er vanuit moet worden gegaan dat 50-100 keer per jaar incidenteel (correctief) onderhoud binnen de verkeersruimten zal plaatsvinden (buiten geplande onderhoudsintervallen). Dit betekent afzetting van tenminste één rijstrook en soms twee rijstroken (toegenomen verkeersintensiteit, onveiligheid en interpretatie van de ARBO- en CROW voorschriften en richtlijnen impliceert dat bij werkzaamheden op een snelweg tussen de rijstrook waarop gewerkt wordt en de door het verkeer gebruikte rijstroken tenminste één verkeersvrije strook moet zijn, ofwel een harde barrière moet worden geplaatst; dit kan inhouden dat de gehele tunnelbuis verkeersvrij moet worden gemaakt). Hiervoor is dus zeker een verkeersinstallatie nodig.

In tunnels zonder middenkanaal (vluchtgang) moet bij een calamiteit gevlucht kunnen worden via de parallelle 'veilige' verkeersbuis.

Indien uitsluitend gevlucht kan worden naar een parallelle verkeersbuis waarin geen van de rijbaan afgescheiden vluchtpad (bijvoorbeeld een vluchtpad achter een barrière) aanwezig is, moet deze 'veilige' tunnelbuis binnen korte tijd veilig toegankelijk kunnen worden gemaakt.

Indien parallel aan het tunneltracé geen acceptabele omleidingroutes beschikbaar zijn moet bij volledige, tijdelijke stremming van één tunnelbuis het verkeer ofwel wachten totdat de stremming is opgeheven, ofwel tijdelijk gebruik kunnen maken van een andere tunnelbuis. Indien bij het gebruik van een andere tunnelbuis deze in 2 richtingen moet kunnen worden bereden (blokverkeer of tegenverkeer) dient een verkeersinstallatie te worden aangebracht met signalering voor beide richtingen.

Het risico in tunnels is onder andere afhankelijk van een groot aantal factoren zoals de lengte, de verkeersintensiteit en de getroffen veiligheidsmaatregelen. Ook automatische incident detectie en de daaraan gekoppelde al of niet automatische maatregelen zoals verlagen van de rijnsnelheid, een rijstrookafzetting of afsluiting van de tunnel spelen daarbij een rol. Een relatief hoog risico kan aanleiding zijn om een verkeersinstallatie met automatische verkeersdetectie aan te brengen.

10.3 Verkeersdetectie

Verkeersdetectie geeft de volgende mogelijkheden:

- detectie van langzaam rijdende of stilstaande voertuigen;
- (indirecte) detectie van afgevalen lading op de rijbaan;
- snelheidsmeting;
- onderscheiden van voertuigkenmerken;
- verkeerstelling;
- bepalen van de rijrichting (tegenverkeer, spookrijder).

Aan verkeersdetectie kunnen, al of niet automatisch, verkeersmaatregelen worden gekoppeld om de verkeersstroom gaande te houden danwel het verkeer tijdig te stoppen, de tunnelbuis af te sluiten, een rijstrook te blokkeren of andere maatregelen te nemen in het belang van de veiligheid van de tunnelgebruiker.

Verkeersdetectie kan zijn:

Niet automatisch:

Verkeersdetectie in zijn oorspronkelijke vorm bestaat uit voortdurende visuele observatie van het verkeer hetzij direct, hetzij met behulp van CCTV-camera's. Deze vorm heeft als nadeel dat

permanent aandacht en alertheid van een operator ([wegverkeersleider](#)) noodzakelijk is. Bovendien is gelijktijdige observatie van meerdere objecten niet goed mogelijk. Visuele verkeersdetectie is afhankelijk van het beoordelingsvermogen, de beoordelingssnelheid en reactiesnelheid van een tunneloperator. Deze situatie is ongewenst in moderne verkeerstunnels.

Automatisch:

Verkeersdetectie door middel van lussen in het wegdek of door middel van bewerking van CCTV-beelden. Lusedetectie kan onderscheid maken tussen soorten voertuigen; het meet aantal voertuigen, rijnsnelheid en rijrichting, doch is niet geschikt voor het meten van stilstand; een voertuig dat tussen twee lussen tot stilstand komt wordt niet opgemerkt. Desondanks wordt lusedetectie als een betrouwbaar systeem beschouwd. De lusafstand is in dit verband belangrijk: hoe korter de afstand tussen de lussen, hoe geringer de kans dat een voertuig met voldoende snelheid de lussen passeert (geen snelheidsonderschrijding veroorzaakt) en toch tussen twee lussen tot stilstand komt. Bij een goed lusedetectieontwerp is de kans dat een auto tot stilstand komt en niet wordt gezien betrekkelijk klein. Daarbij is de kans dat een ongedetecteerd incident geen secundaire acties tot gevolg heeft (er remt of stopt geen tweede voertuig, er wordt geen hulppost geopend, geen [noodtelefoon](#)-melding) en dus helemaal niet wordt opgemerkt zeer gering.

CCTV-beeldbewerking is een techniek in opkomst en in principe in staat dezelfde kenmerken van het verkeer te onderscheiden als bij een lusedetectie. Voordeel van CCTV-beeldbewerking is dat alle stilstanden binnen het hele detectiegebied kunnen worden gedetecteerd. De betrouwbaarheid van het systeem wordt beïnvloed door de hoogte waarop de camera kan worden opgesteld. Een laag standpunt (dit is in tunnels meestal het geval) geeft minder betrouwbare resultaten en een grotere kans op valse meldingen. Bijvoorbeeld: bij een laag camerastandpunt wordt een groot egaal gekleurd vlak dat in het verlengde van de camera beweegt, als stilstand gezien en gedetecteerd. In rook is geen detectie mogelijk.

Vanwege de beperkte ruimte in een tunnel zijn de gevolgen van een incident potentieel ernstiger dan op een vergelijkbaar stuk open weg. Automatische verkeersdetectie maakt bij incidenten sneller en adequater ingrijpen mogelijk door allerlei maatregelen te koppelen aan de verkeersdetectie. De ernst van de gevolgen en het aantal slachtoffers kunnen hierdoor worden beperkt.

Filevorming in verkeerstunnels is ongewenst en gevaarlijk. Daarom dient zoveel mogelijk te worden voorkomen dat filevorming binnen de tunnelbuis ontstaat. De meest voor de hand liggende methode hiervoor is het ontwerp van het tunneltracé zodanig uit te voeren dat aan de uitritzijde van de tunnel in de normale situatie geen stremmingen zullen ontstaan (geen kruispunten, verkeerspleinen of aansluitingen en dergelijke kort na de tunnel). Bij een uitrit met lange, steile hellingen is een inhaalstrook of kruipstrook voor vrachtverkeer gewenst.

Indien file in de tunnel is ontstaan of dreigt te ontstaan dienen maatregelen te worden getroffen die erop gericht zijn het verkeer binnen de tunnel stromend te houden. Dit is mogelijk door de toestroming van voertuigen naar de tunnel af te remmen buiten de tunnel door middel van verkeersdosering (met behulp van de verkeerslichteninstallatie) of de tunnel af te sluiten totdat de verkeersstroom binnen de tunnel weer op gang komt. Toestroming naar de tunnel kan eveneens worden beperkt door de wegvakcapaciteit stroomopwaarts van de tunnel te beperken, bijvoorbeeld door het aantal; rijstroken stroomopwaarts van de tunnel kleiner te houden dan het aantal rijstroken in de tunnel.

Ook kan filevorming in de tunnel worden beperkt door stroomafwaarts de oorzaak van de filevorming zo snel mogelijk weg te nemen. Bij tunnels met een VRI-kruispunt direct na de tunnel zou het verkeer uit de tunnel preferent groen moeten krijgen. Deze maatregel kan eventueel gecombineerd worden met toegangsdosering.

Onder file wordt verstaan: de situatie waarbij het verkeer zich met een eenparige, lage snelheid door de tunnel beweegt in een aaneengesloten rij;

Daarbij zouden de volgende criteria kunnen worden aangehouden:

- de som van alle lengten langzaam rijdende voertuigen van alle rijstroken tezamen is > 500m;
- er zijn tussen deze voertuigen geen tussenruimten > 100m;
- de gemiddelde verkeerssnelheid (95% van de voertuigen) is < 30km/u.

11 Vluchten

11.1 Algemeen

Vluchten is zich in veiligheid brengen. Dat wil zeggen dat men pas hoeft te vluchten als men zich in een gevaarlijke (levensbedreigende) situatie bevindt of als de situatie zich tot levensbedreigend zal gaan ontwikkelen.

In een tunnel ontstaat voor de weggebruikers een bedreigende situatie als er een ongeval plaatsvindt, waarbij het ongeval leidt tot:

- het uitbreken van brand met rookontwikkeling;
- kans op ontploffing;
- het vrijkomen van giftige stoffen, al dan niet in combinatie met brand.

De wijze van vluchten wordt niet bepaald door onderscheid naar de situaties brand, kans op ontploffing of het vrijgekomen giftige stoffen: men moet gewoon weg. Daarbij is de kans op brand overigens veel groter dan de kans op ontploffing en op het vrijkomen van giftige stoffen¹³. Ontploffingen treden plotseling en veelal onaangekondigd op waardoor weggebruikers niet voldoende tijd hebben om van de vluchtvoorzieningen gebruik te maken. Het vrijkomen van giftige stoffen is, mits ze worden waargenomen, vergelijkbaar met de effecten van rook ten gevolge van brand. Als giftige stoffen niet worden waargenomen is het in de meeste gevallen al te laat om nog te vluchten.

Op basis hiervan worden de vluchtvoorzieningen ontworpen op de brandsituatie waarbij er van wordt uitgegaan dat hiermee aan de andere voornoemde gevaarlijke situaties in afdoende mate wordt tegemoet gekomen.

Mate van geslotenheid van de constructie

Naarmate een constructie meer gesloten is zullen de gevolgen van een brand, een ontploffing of het vrijkomen van giftige gassen en dampen zich over een groter gedeelte van de weg manifesteren en daardoor meer weggebruikers bedreigen.

In het geval van brand kan, als de weg niet overdekt is, de rook vrijelijk ontwijken. Dit is ook het geval als er geluidsschermen staan of de weg verdiept ligt. In een tunnel kan rook in het geheel niet naar boven ontwijken. Bij gedeeltelijk gesloten constructies is het gebied waarover de rook zich verspreidt kleiner dan in tunnels en is de grootte van het gebied afhankelijk van de grootte van de openingen in het dak.

In geval van een ontploffing leidt deze bij een open weg tot schade rondom de plaats van ontploffing (dus ook zijwaarts van de weg). Bij een tunnel kan de drukstoot ten gevolge van een ontploffing alleen naar de uiteinden ontwijken en zal daardoor gevolgen in de hele tunnel hebben (slachtoffers en materiële schade).

Giftige gassen en dampen kunnen vrijkomen als de tank, waarin ze worden vervoerd, lek raakt. In de praktijk gedragen giftige gassen en dampen zich meestal als zwaarder dan lucht. Indien de stof als vloeistof werd vervoerd zal door expansie de damp vaak zodanig koud zijn dat deze zich zwaarder dan lucht gedraagt. Giftige gassen en dampen zwaarder dan lucht zijn niet alleen in tunnels maar ook bij verdiepte wegen bedreigend.

Grootte van de brand

Bij brand moet onderscheid worden gemaakt naar de grootte ervan, de daarbij vrijkomende hoeveelheid rook en de wijze waarop rook kan ontwijken of zich juist ophoopt.

Brand komt het meeste voor naar aanleiding van autopech (95% of meer), waarbij op basis van de verkeerssamenstelling brand van personenauto's het meeste voorkomt. Volgens een onderzoek over de periode van 1979 tot 1985 in de Elbetunnel veroorzaakt 15% vrachtverkeer 30% van alle

¹³ Zie rapport van F.H. Amundsen, Norwegian Public Roads Administration, 20 februari 2000.

branden, hetgeen er op zou kunnen wijzen dat de kans op brand bij vrachtwagens groter is dan bij personenauto's¹⁴.

Brand ten gevolge van een ongeval komt minder voor (5% of minder), maar de brandontwikkelingssnelheid is veelal groter dan bij brand ten gevolge van een pechgeval.

Aangezien de hoeveelheid vrijkomende rook in sterke mate afhankelijk blijkt van het brandvermogen kan het brandvermogen als een belangrijke variabele worden beschouwd in het kader van vluchten. Er worden in verschillende publicaties gegevens van brandvermogens gegeven, te weten door Piaro (Fire & Smoke control 1999) en in verslagen van onderzoeksprojecten zoals Eureka. De gegeven brandvermogens lopen nogal uiteen omdat met name het aantal proeven aan voertuigen groter dan een personenauto beperkt is.

Ter illustratie is onderstaand een globaal overzicht van de te verwachten brandvermogens weergegeven:

- | | |
|----------------------|--|
| • 1 personenauto | 5-6 MW (TNO onderzoek aan 30 personenwagens, 1998) |
| • bus | 20-30 MW (Eureka project) |
| • kleine vrachtwagen | 30-50 MW |
| • grote vrachtwagen | 100 MW (Eureka project) |
| • tankwagen | 200-300 MW (Eureka project) |

Bij een pechbrand is in principe slechts 1 voertuig betrokken.

Bij een ongeval kunnen meerdere voertuigen in brand geraakt zijn en er wordt aangenomen dat het brandvermogen groter dan 20 MW kan zijn.

Circa 70-90% van de branden zal een vermogen tot circa 5 MW hebben en 10-30% een vermogen van 20 MW of meer. Naarmate het brandvermogen groter is zal de ontwikkeling van rook en temperatuur van grotere invloed zijn op personen en de constructie.

Bij een brand van 5 MW (een personenauto) is de rookproductie vaak dusdanig dat vluchten gedurende een langere tijd mogelijk is: de rook blijft gestratificeerd tegen het plafond hangen mits de rooklaag niet wordt verstoord door windinvloeden of ventilatie. In alle andere gevallen moet een zodanig grote rookontwikkeling en rookverspreiding in de tunnelbuis worden verwacht dat vluchten altijd en direct noodzakelijk is. Bij het begin van de brand zal weliswaar stratificatie optreden doch bij de verdere brandontwikkeling zal al vrij snel de hele tunneldoorsnede met rook worden gevuld.

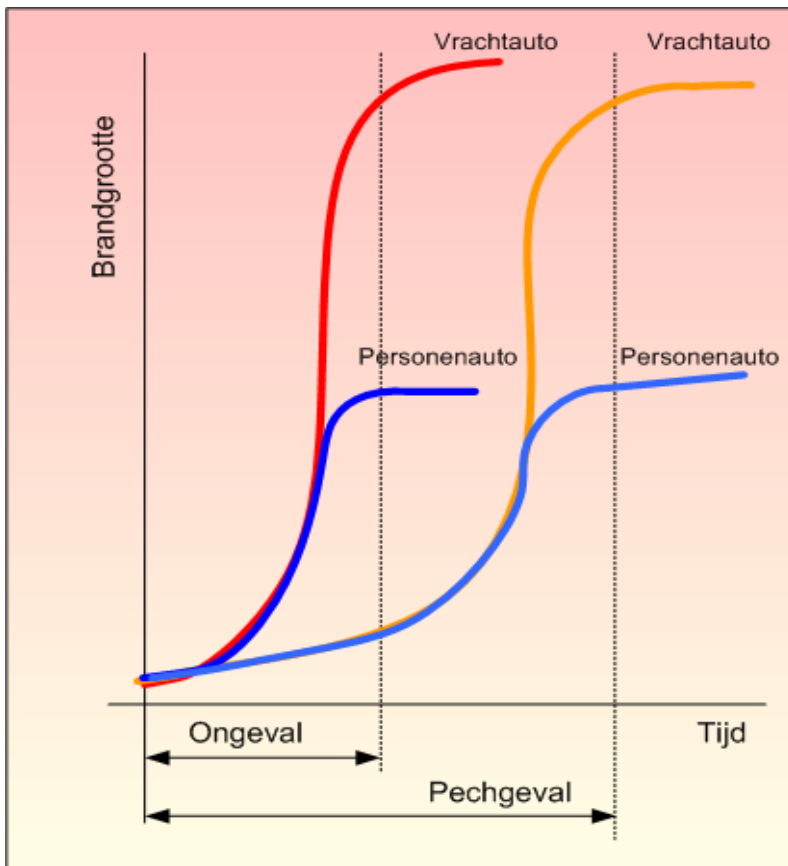
Bij een pechbrand is de brandontwikkeling **relatief** vrij traag: uit onderzoek¹⁵ blijkt dat de eerste 5–10 minuten de brand beperkt blijft tot het motorcompartiment of de passagiersruimte. Daarna springen de ruiten, de brand komt buiten het voertuig en ontwikkelt zich vanwege de toegenomen zuurstoftoevoer vrij snel (2-5 minuten) tot maximale grootte. Bij personenauto's houdt de brand circa 10-15 minuten flink aan en dooft vervolgens langzaam uit. Bij grotere voertuigen houdt de brand veel langer aan.

Bij een ongevalsbrand is de brandontwikkeling meestal zeer snel omdat er vaak sprake is van vrijgekomen motorbrandstof en het brandbare materiaal goed in contact met lucht is. Het tijdstip van ontsteking is echter moeilijk te bepalen: dat kan direct na het ongeval zijn maar ook enige tijd later. Voor een veilige redenering kan worden aangenomen dat de brand 2 minuten na het ongeval ontsteekt en zich daarna binnen 3-5 minuten geheel ontwikkelt.

Voor een overzicht zie figuur 11.1.

¹⁴ Zie literatuurstudie Rijksuniversiteit Groningen Algemene aspecten van tunnelgebruik en veiligheid, februari 2000.

¹⁵ Zie rapport TNO 1999-CVB-RR1442 Effectiviteit van stuwkrachtventilatie in gesloten parkeergarages.



Figuur 11.1 Verloop van brand in de tijd

De grootte van de brand bepaalt in vrij grote mate de hoeveelheid rook die vrijkomt. Hoewel de vrijkomende warmte zowel aanwezige personen als de constructie zal treffen is de vrijkomende hete rook bepalend voor de vluchtfase. Hete rook komt al vrij als de brand nog in het beginstadium is en brengt schade toe aan de longen waardoor ademen moeilijk zo niet onmogelijk wordt (al vanaf 70°C!!), terwijl de warmtestraling dan voor personen nog redelijk is te weerstaan.

Bij deze overwegingen is het vrijkomen van rook of stoffen uit het wegdek ten gevolge van de brand buiten beschouwing gelaten. Aangezien verreweg de meeste warmte wordt afgestaan door de vlammen en de rook boven het brandende voertuig schermt het voertuig het wegdek af, zeker in het beginstadium van de brand. Vanwege de grote massa duurt het enige tijd voordat in de bouwkundige constructie, waaronder het wegdek, de temperatuur merkbaar stijgt. Wanneer ook de ontwikkelingstijd van de brand in aanmerking wordt genomen speelt het wegdek bij branden tot circa 20-30 MW geen rol. Bij de grotere branden speelt het wegdek, indien van asfalt, slechts een vertraagde rol en heeft daarbij een relatief gering aandeel in de warmtelast en de rookproductie¹⁶. Geconcludeerd wordt dat verbranden van het wegdek respectievelijk het vrijkomen van schadelijke stoffen uit het wegdek ten gevolge van brand niet van belang is voor de vluchtfase.

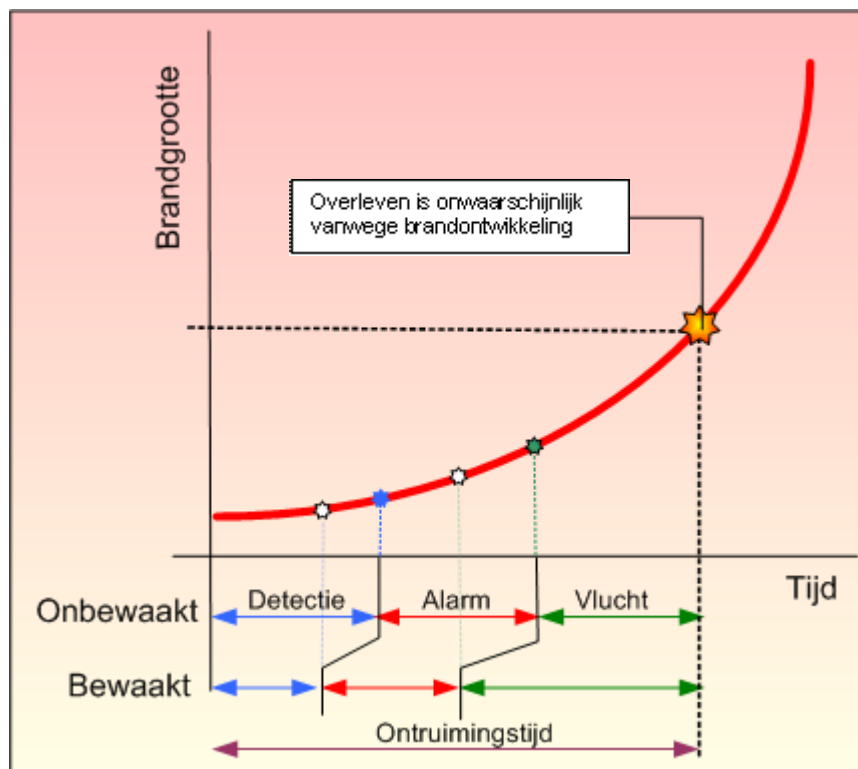
De ontruimingstijd

De tijd die verstrijkt vanaf het moment van het ontstaan van de brand totdat vluchtenden in een veilige zone zijn aangekomen, verder genoemd de ontruimingstijd, is op te delen in 3 fasen:

- de detectiefase (de tijd die verstrijkt tussen het ontstaan van de brand en het waarnemen ervan);
- de alarmfase (de tijd die verstrijkt tussen het moment van waarnemen en het nemen van actie door de weggebruiker);
- de vluchtfase (waarin men de actie onderneemt);

Zie figuur 11.2.

¹⁶ Een nadere analyse zal door DWW moeten worden uitgevoerd.



Figuur 11.2 Brandontwikkeling en ontruimingstijd

De beschikbare ontruimingstijd is afhankelijk van de maximale verblijfstijd in een ruimte met brand en van de snelheid van de brandontwikkeling¹⁷.

Onder de maximale verblijfstijd wordt verstaan de maximale tijd die een persoon in een zich met rook en hitte vullende ruimte kan verblijven zonder blijvende gezondheidsschade te ondervinden.

Als de beschikbare ontruimingstijd bekend is en de tijdsduur van detectiefase en alarmfase bekend zijn¹⁸ kan men de resterende beschikbare vluchttijd berekenen. Tezamen met de vluchtsnelheid is dan de maximale lengte van de vluchtroute vanaf de bedreigde plaats tot aan een veilige plaats te bepalen.

De beschikbare ontruimingstijd is niet eenduidig vast te stellen:

- de duur van de detectiefase is afhankelijk van de aanwezigheid en uitvoering van detectiesystemen (camera's, rookdetectie, stilstandsdetectie, temperatuurdetectie); indien aanwezig wordt de operator ([wegverkeersleider](#)) gewaarschuwd en is de tijdsduur afhankelijk van de vraag of en hoe snel de operator het signaal herkent; indien geen operator aanwezig is, zijn de weggebruikers op eigen waarneming aangewezen;
- de duur van de alarmfase is afhankelijk van herkenning van een ongeval als potentieel levensbedreigend: een brand is zowel voor weggebruikers als voor een operator vrij snel herkenbaar, maar ontploffingsgevaar en reukloze giftige stoffen worden niet snel als zodanig herkend;
- de duur van de vluchtfase hangt af van loopsnelheden, de aanwezigheid van obstakels, de keuze van de vluchtroute door de weggebruikers en de capaciteit van de vluchtwegen.

¹⁷Nog nader onderzocht moeten worden: de snelheid van brandontwikkeling en de maximale verblijfstijd, die afhankelijk is van brandgrootte, afstand tussen brand en verblijfplaats en vrijkomende verbrandingsproducten.

¹⁸De duur van de detectiefase en de alarmfase is nog nooit éénduidig onderzocht en vastgesteld. Deze tijdsduren zijn afhankelijk van menselijk gedrag en de aanwezigheid van detectie- en alarmeringshulpmiddelen.

Algemeen kan echter worden gesteld dat met behulp van technische hulpmiddelen de detectiefase kan worden verkort en dat door instructies van bijvoorbeeld een tunneloperator ([wegverkeersleider](#)) de alarmfase kan worden verkort.

Aanwezigheid mechanische ventilatie

Rook ten gevolge van brand is om diverse redenen bedreigend voor weggebruikers. In de eerste fase van de brand hoeft rook nog niet vanwege de temperatuur levensbedreigend te zijn maar als de rookdichtheid zodanig is dat de vluchtwegen niet gezien kunnen worden zullen mensen te lang in de rook verblijven en ten gevolge van giftige rookbestanddelen bedwelmd raken. In de latere fasen van de brand worden zowel de temperatuur van de rookgassen als de bestanddelen van de rook bedreigend.

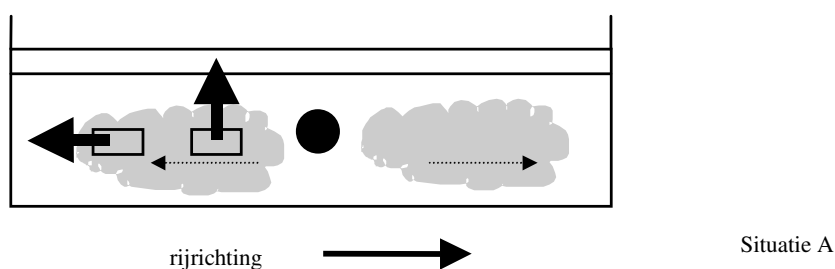
Een onderzoek van TNO Bouw¹⁹ bevestigt dat bij branden met voldoende verbrandingslucht het door de rook heen kunnen zien van de vluchtweg en de vluchtwegaanduidingen maatgevend is voor een succesvolle ontvluchting. Uit hetzelfde onderzoek van TNO blijkt dat bij branden zonder voldoende verbrandingslucht met name de concentraties CO in rook bepalend zijn voor de ontvluchtingsmogelijkheden, terwijl andere toxische verbindingen een geringere invloed hebben.

In het begin van een voertuigbrand in een tunnel is er vrijwel zeker voldoende verbrandingslucht, doch dat hoeft in de latere fasen van de brand niet het geval te zijn. Met voldoende ventilatie wordt voldoende zuurstof voor volledige verbranding toegevoerd, waarmee de hoeveelheid koolmonoxide in de rookgassen wordt beperkt. Hoge concentraties koolmonoxide zullen vluchtpogingen door de rook sterk belemmeren. Met voldoende ventilatie kan (in de eerste fase van de brand) mogelijk de rook zodanig verdund worden dat stroomafwaarts van de brand een redelijke zichtlengte wordt gehandhaafd.

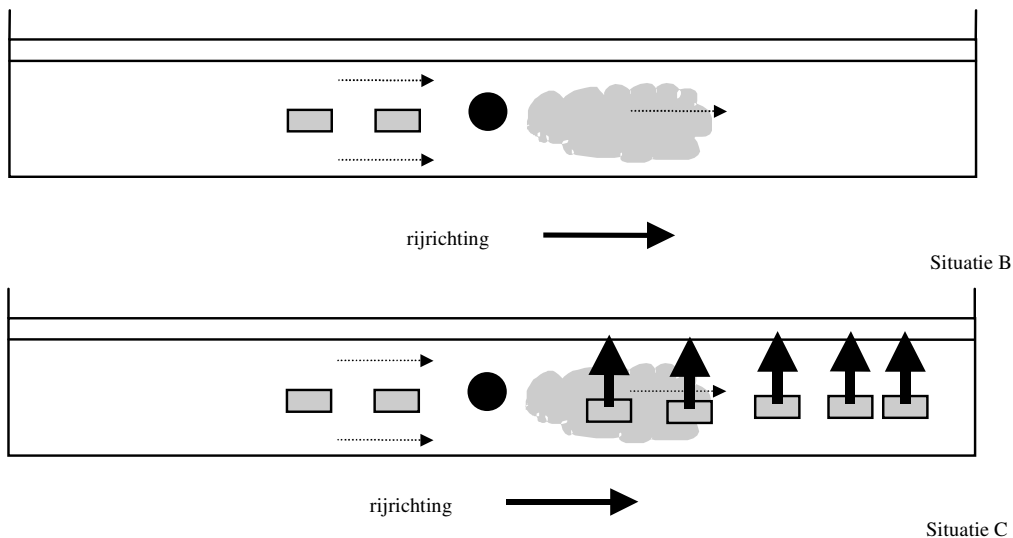
In gedeeltelijk gesloten constructies kan bij brand, afhankelijk van de grootte van de openingen in het dak, de rook naar boven toe ontwijken. In dergelijke constructies zal veelal geen mechanische ventilatie worden toegepast.

In een tunnel zonder mechanische ventilatie kan rook zich onbeheersbaar verspreiden waardoor de kans dat personen in de rook komen te staan groot is. In een tunnel met mechanische ventilatie hangt het van het type ventilatiesysteem af bij welke brandgrootte de rookverspreiding nog beheerst kan worden (zie hoofdstuk 12). In tunnels met één rijrichting per buis is langsventilatie een veilige oplossing. Met langsventilatie worden rook, hete en giftige stoffen naar één kant weggeblazen, waardoor men stroomopwaarts van de brand een rookvrije 'veilige zone' creëert. Echter personen stroomafwaarts van de brand komen wel in de rook te staan.

Een en ander kan als volgt worden geïllustreerd:



¹⁹TNO-rapport 2000-CVB-R00012, d.d. 25 februari 2000, Ontwerp ondergrondse ruimten: invloed rookverspreiding op keuze locatie uitgangen. TNO-rapport 2000-CVB-R00013, d.d. 29 februari 2000, Rookverspreiding in ondergrondse ruimten: een verkenning van de toxische aspecten. Beide van Ir. E.W. Janse, TNO Bouw te Delft.



In situatie A heeft de tunnel geen mechanische langsventilatie, hetgeen betekent dat er zowel bovenstrooms als benedenstrooms geen rookvrije zone is. In beide zones is er dus reden om te vluchten. Een voor de hand liggende vluchtroute is de weg zelf, doch als de tunnel te lang is moeten vluchtwegen naar de andere buis of naar een vluchtgang worden gecreëerd.

In situatie B heeft de tunnel mechanische langsventilatie waardoor bovenstrooms van de brand een rookvrije zone ontstaat en er geen directe reden is om te vluchten (de ontruimingstijd wordt theoretisch oneindig lang). Echter indien er ook benedenstrooms weggebruikers zijn, zoals aangegeven in situatie C, is er voor hen een absolute reden om snel en via een korte route te vluchten.

Er kan worden opgemerkt dat de kans aanwezig is dat er benedenstrooms van de brand weggebruikers aanwezig zijn. Dit kan zijn doordat er een ongeval gebeurt in een file die is ontstaan als gevolg van verkeersstremming of een ongeval bijna aan het einde van of net na de tunnel. Een dergelijke file is niet altijd te voorkomen door het afsluiten van de tunnel, immers tussen het optreden van het ongeval en de reactie van een operator ([wegverkeersleider](#)) verstrijkt enige tijd waarin, vooral bij grote verkeersdruk, een aanzienlijk aantal auto's de tunnel inrijdt. Tevens is het niet denkbeeldig dat enkele weggebruikers een brand voorbij rijden en bij de eerstvolgende hulppost stoppen om per telefoon alarm te slaan of blushulpmiddelen te pakken.

Desondanks is de kans dat er weggebruikers stroomopwaarts van de brand staan altijd groter dan de kans op aanwezige weggebruikers stroomafwaarts van de brand. Immers de meeste mensen zullen uit zichzelf vóór de brand stoppen of daartoe door de omstandigheden gedwongen zijn.

Omdat zonder mechanische ventilatie de rook zich zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts kan bewegen bestaat dus een grotere kans dat personen in de rook komen te staan dan wanneer er wel mechanische langsventilatie aanwezig is waarmee de rook zich alleen stroomafwaarts kan bewegen.

Conclusies:

- Er bestaat altijd een kans dat mensen aan de verkeerde kant van de brand staan. Vluchtmogelijkheden zijn dus altijd noodzakelijk, ook als mechanische ventilatie aanwezig is.
- De kans dat personen in de rook komen te staan is zonder mechanische langsventilatie groter dan met mechanische langsventilatie. Zonder mechanische ventilatie moeten de vluchtroutes derhalve korter zijn dan met mechanische ventilatie.

Bediening

Er moet onderscheid worden gemaakt tussen bediende²⁰ en onbediende tunnels. In het eerste geval wordt een operator ([wegverkeersleider](#)) door middel van detectieapparatuur erop geattendeerd dat er iets aan de hand is, via een camerasysteem kan hij inschatten wat er moet gebeuren en in de meeste gevallen heeft hij ook voorzieningen, zoals een luidsprekersysteem of een mogelijkheid in te breken op de autoradio om de weggebruikers op de hoogte te stellen. In dat geval kunnen de detectiefase en de alarmfase kort zijn.

In onbediende tunnels moeten de weggebruikers zelf uitzoeken of een ongeval levensbedreigend is en zullen de detectiefase en de alarmfase beduidend langer duren. De beschikbare ontruimingsfase is dan korter.

Helling van het wegdek

Langshellingen hebben invloed op rookverspreiding, het wegstromen van brandbare of brandende vloeistoffen en de vluchtsnelheid.

Als de helling stijgend is zal de rook vanwege 'schoorsteenwerking' met de verkeersrichting mee wegstromen, waardoor personen stroomopwaarts van de brand in veiligheid zijn, maar personen eventueel aanwezig stroomafwaarts van het ongeval juist niet. Omdat de kans dat er stroomopwaarts mensen aanwezig zijn altijd veel groter is dan de kans op aanwezige personen stroomafwaarts van de brand valt de importantie van deze situatie in het niet bij dalende hellingen waarbij veel personen stroomopwaarts van de brand in de rook kunnen komen te staan indien er geen of onvoldoende ventilatie is en de rook gedestratificeerd is.

In tegenstelling hiermee zijn in verband met het wegstromen van vloeistoffen juist stijgende hellingen gevaarlijker dan dalende hellingen. Door wegstromende brandende vloeistoffen worden niet alleen personen bedreigd maar kunnen ook voertuigen die stroomopwaarts van de brand zijn gestopt door terugstromende vloeistoffen in brand raken waardoor de totale potentiële omvang van de brand wordt vergroot en nog meer mensen worden bedreigd.

Hellingen hebben een negatieve invloed op de loopsnelheid indien de helling stijgend is in de vluchtrichting.

11.2 Projectering van vluchtwegen

De projectering van vluchtwegen dient te zijn gebaseerd op de manier waarop een brand zich ontwikkelt tot een levensbedreigende situatie en de wijze waarop de betrokkenen reageren en actie nemen.

Zijwaarts gesloten constructies

Hierbij is de meest voor de hand liggende vluchtroute is de weg zelf. De vluchtstrook, indien aanwezig, kan geblokkeerd zijn door scheef gestopte auto's en mogelijk geschaarde vrachtwagens. De ruimte tussen auto's op de rijstroken kan op dezelfde manier geblokkeerd zijn. De rijstroken in de andere rijrichting zijn geen veilige vluchtweg omdat daar het verkeer niet gestopt hoeft te zijn.

Volgens CROW-publicatie 251: "Richtlijnen Geluidbeperkende Constructies langs Wegen – GCW-2007" moeten de weggebruikers in geval van calamiteiten de weg kunnen verlaten of van buiten de weg bereikt kunnen worden voor hulpverlening. Hiertoe moeten in geluidbeperkende constructies van grote lengte doorgangen worden aangebracht. Deze doorgangen kunnen worden uitgevoerd als:

- Vluchtdeuren (mogelijk ook functionerend als servicedeur).
- Doorbrekingen (bijvoorbeeld bajonetaansluitingen).

²⁰ Zie hoofdstuk 2 voor het begrip 'bediend'.

De GCW-2007 stelt verder o.a. de volgende eisen²¹:

- Doorgangen moeten op een onderlinge afstand van maximaal 400m worden aangebracht²².
- Bij afschermingen aan twee zijden van de weg moeten de doorgangen tegenover elkaar worden geplaatst.
- De bereikbaarheid van de doorgangen moet zowel voor als achter de constructie gewaarborgd zijn.
- Doorgangen moeten vanaf de weg goed zichtbaar zijn, ook moet de route naar de doorgang duidelijk zijn aangegeven.
- Pictogrammen waarmee wordt aangegeven waar de dichtstbijzijnde vluchtdeur of doorgang zich bevindt, moeten op een onderlinge afstand van maximaal 100m worden aangebracht.

Gedeeltelijk gesloten constructies en korte gesloten constructies

Bij gedeeltelijk gesloten constructies is er sprake van (vrijwel) ononderbroken openingen in langsrichting.

Bij een korte gesloten constructie in de vorm van een DODO constructie (voor definities zie hoofdstuk 2) is er sprake van openingen in het dak, waarbij de openingen voor een natuurlijk ventilatiesysteem zorgen.

Echter in alle gevallen geldt: als rook onvoldoende kan ontwijken gelden dezelfde regels als bij tunnels.

Bij constructies met ononderbroken openingen in langsrichting kan de rook meestal voldoende ontwijken.

Bij een DODO constructie zal de rook eerst over een zekere lengte door de constructie moeten stromen voordat een opening in het dak wordt bereikt. Wanneer de openingen in lengterichting op korte afstand van elkaar zijn geplaatst kan de vluchtroute via de weg voldoende kort zijn ook als er geen mechanische ventilatie is. Bij te grote onderlinge afstanden wordt de lengte van de vluchtroute te lang (in feite wordt de beschikbare vluchttijd te kort) en moet in aanvullende vluchtwegen (vluchtdeuren) worden voorzien.

Ook hier dient rekening te worden gehouden met eventuele langshellingen aangezien daardoor brandende vloeistoffen in lengterichting kunnen wegstromen.

Gesloten constructies

Bij zinktunnels heeft men vanaf 1975 tot nu toe (2003) steeds elke 100m een vluchtdeur gemaakt omdat de tunnelconstructie zich daartoe eenvoudig leent en per zinkmoot een opening ook voor de bouwphase noodzakelijk is. Realisatie hiervan kost ook relatief weinig. Wanneer men de benodigde afstand tussen de deuren vaststelt op basis van een risicoanalyse die is gericht op het ontruimen van een tunnel in geval van een calamiteit zal men in het algemeen afstanden vinden die beduidend groter zijn dan genoemde 100m. Voor zinktunnels zal dit niet snel tot grotere afstanden leiden gelet op de noodzaak van tenminste 1 deur per zinkelement (de lengte van zinkelementen is zelden meer dan 110-120m) en het **ALARP**-principe (extra veiligheid voor weinig kosten). Bij boortunnels in slappe grond daarentegen zullen economische overwegingen leiden tot vluchtdeurafstanden die passen bij de uitkomsten van risicoanalyses.

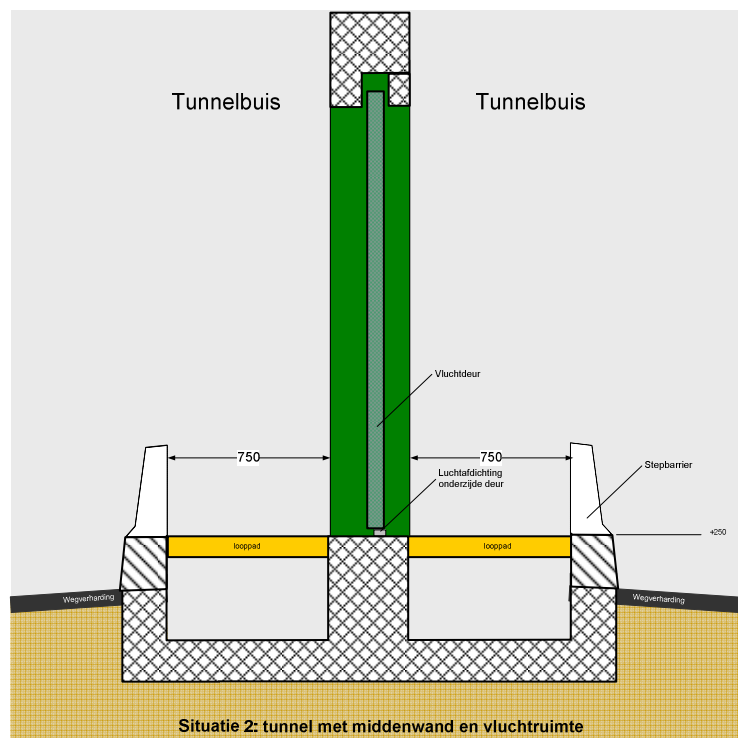
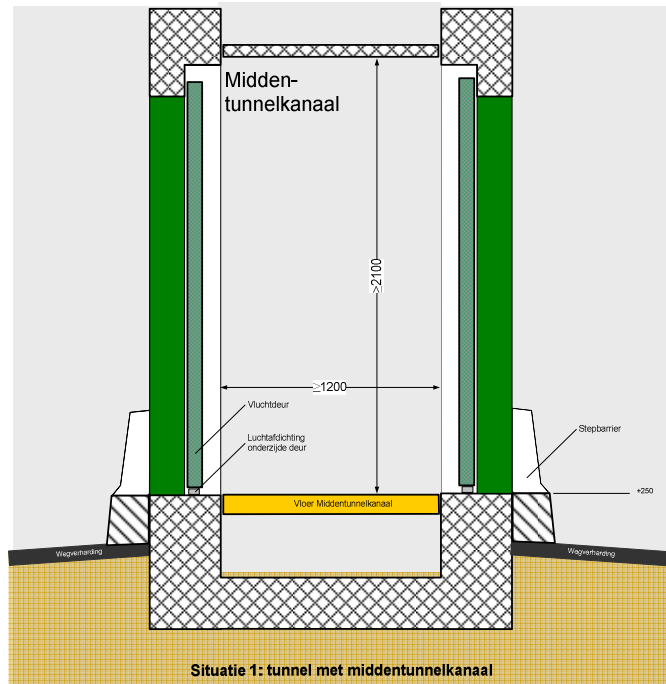
In veel tunnels is uitgegaan van een middentunnelkanaal dat als vluchtgang dient. Bij landtunnels kunnen vluchtdeuren naar de zijkant in plaats van naar het midden misschien praktischer blijken.

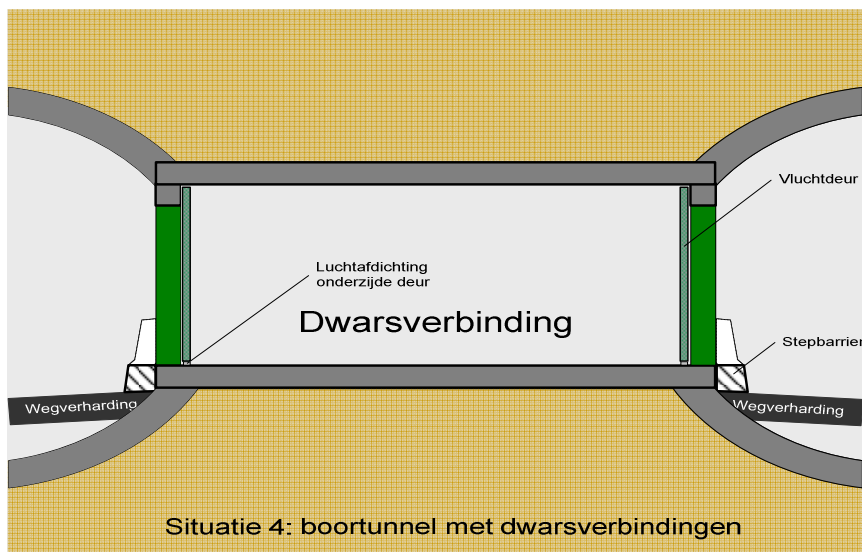
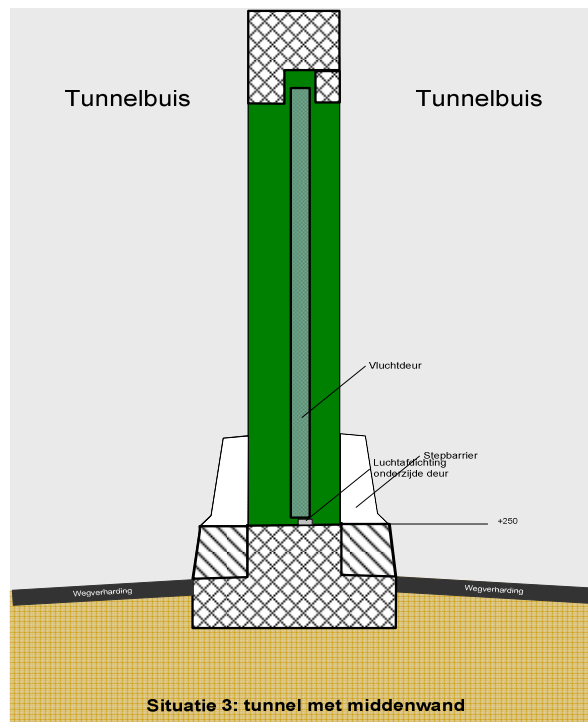
Er kunnen ook situaties voorkomen waarbij alleen een middenwand aanwezig is, zodat men vanuit de ene buis rechtstreeks in de andere buis terecht komt. Soortgelijke situaties kunnen voorkomen in boortunnels met 2 parallelle buizen die door middel van dwarsbuizen met elkaar zijn verbonden. In dat geval moeten zodanige voorzieningen zijn getroffen dat men niet door het verkeer in de andere buis in gevaar komt en schrikreacties bij het verkeer in die andere buis worden voorkomen.

²¹ Voor een volledig overzicht van de eisen aan de doorgangen, vluchtdeuren en pictogrammen wordt verwezen naar de betreffende richtlijn zelf

²² In een eerdere versie van de GCW (1986) is dit als volgt onderbouwd: "Bij doorgangen is een maximale onderlinge afstand van 400m vereist omdat met het gangbare brandweermateriaal een afstand van maximaal circa 200m kan worden overbrugd. Bovendien is bij een afstand van 400m voor de weggebruikers de zichtbaarheid van tenminste één doorgang gewaarborgd."

De verschillende situaties zijn hierna aangegeven:





In een tunnel met een rechthoekige doorsnede heeft een middentunnelkanaal bedoeld als vluchtgang volgens situatie 1 de voorkeur boven een middenwand volgens situatie 2 vanwege de volgende redenen:

- de noodzakelijke constructiebreedte is bij een middentunnelkanaal niet groter dan bij een massieve middenwand met naastliggende vluchtruimte;
- een middentunnelkanaal is een veiliger vluchtplaats dan een tunnelbuis waar mogelijk nog verkeer rijdt, ook al is men door de barrier daarvan afgeschermd;
- door middel van overdrukventilatie in een middentunnelkanaal is beter gewaarborgd dat bij brand de rook zich niet naar de andere buis verspreid;
- een middentunnelkanaal is praktisch voor de berging van elektrische en watervoerende leidingen (zie hoofdstuk 16);
- in situatie 2 kan geen éénduidige vluchtrichting worden aangegeven.

Situatie 3 moet zoveel mogelijk worden voorkomen omdat in die situatie vluchtenden direct op het wegdek in de andere buis uitkomen, hetgeen gevaarlijke situaties kan opleveren. Bij voorkomende situaties mogen vluchtenden pas op het wegdek in de andere buis worden toegelaten als deze vrij is van rijdend verkeer. Dat impliceert dat een dergelijke tunnel bediend moet zijn. Situatie 3 kan mogelijk tot een kortere beschikbare vluchttijd leiden omdat er tijd verloren gaat met het verkeersvrij maken van de niet-incident buis.

Situatie 4 is iets minder gevaarlijk dan situatie 3 vanwege de bergingscapaciteit in de dwarsverbindingen. Daar staat echter tegenover dat als de deur naar de niet-incident buis tijdelijk gesloten blijft (totdat die buis verkeersvrij is) mensen zich in de dwarsverbinding opgesloten zullen voelen en mogelijk terugkeren naar de incidentbuis om een andere uitweg te zoeken.

11.3 Toegankelijkheid van vluchtwegen

Toegankelijkheid voor mindervaliden

Circa 3% van de Nederlandse bevolking heeft in zekere mate een met mobiliteit verband houdende lichamelijke handicap. Dit kan variëren van het lopen met een stok tot gebruik van een rolstoel. Van dit aantal maakt circa 10% gebruik van een rolstoel, ofwel ongeveer 0,3% van de Nederlandse bevolking.

Voor normaal gebruikelijke toegangswegen gelden in verband met mindervaliden richtlijnen zoals gegeven in het Handboek Toegankelijkheid²³. Men kan echter verwachten dat voor de inpassing van vluchtwegen in een tunnel de veiligheidseisen die het normale gebruik moeten waarborgen strijdig kunnen zijn met richtlijnen voor de toegankelijkheid voor mindervaliden.

Men mag voor een vluchtsituatie aannemen dat personen die ondanks hun handicap toch enigszins mobiel zijn in staat zijn obstakels te 'nemen' die voor normaal gebruikte toegangswegen niet of slechts beperkt toelaatbaar zijn. Stresssituaties stimuleren mensen veelal tot onvermoede prestaties. Voor rolstoelgebruikers kan men dit niet aannemen. Toch blijkt uit gedragsonderzoek²⁴ dat ondanks een individualiserende maatschappij er onderling een vrij grote mate van hulpvaardigheid is. Voor rolstoelgebruikers die betrokken kunnen zijn in een vluchtsituatie (geschat op 1 of 2) is daarom aangenomen dat deze geholpen worden door medeweggebruikers.

Een situatie waarin veiligheidseisen voor normaal gebruik moeten prevaleren boven eisen voor gebruik door mindervaliden is de (hoge) drempel die men moet nemen bij het doorsteken van barriers (dit kan zowel bij de vluchtdeuren naar het middenkanaal als bij openingen in barriers tussen rijbanen voorkomen). De barrier moet aan de onderzijde gesloten blijven teneinde de geleidende functie bij aanrijding te handhaven. De kans op aanrijding van de barrier is groter dan de kans op een situatie waarin een rolstoelgebruiker via de opening in de barrier moet vluchten.

Aanmoedigen tot vluchten

Uit praktijk situaties blijkt dat weggebruikers een (potentieel) gevaarlijke situatie meestal niet of in ieder geval te laat als zodanig herkennen: de detectiefase is dus erg lang. Als men het herkend heeft wil dat nog niet zeggen dat men reageert: men denkt dat de auto een veilige schuilplaats is; daardoor kan de alarmfase erg lang duren. Daarmee wordt de beschikbare tijd voor vluchten sterk gereduceerd.

Uit praktijkstudies blijkt dat men vluchtgedrag van buitenaf moet initiëren en daarna moet begeleiden door duidelijke, éénduidige, herkenbare en verstaanbare boodschappen (zie ook Hoofdstuk 13).

²³ Uitgegeven door Elsevier te Doetinchem.

²⁴ Zie literatuurstudie Rijksuniversiteit Groningen 'Algemene aspecten van tunnelgebruik en veiligheid', februari 2000.

Toegankelijkheid voor de hulpverlening

De vluchtwegen zijn vaak ook de toegangswegen voor de hulpdiensten. Bijvoorbeeld vluchtdeuren in een tunnel maken een ongeval, al dan niet met brand, vanuit de naastgelegen buis benaderbaar voor hulpdiensten. Dat impliceert dat vluchtwegen niet alleen afgestemd moeten zijn op het voorzien in een veilige vluchtweg voor weggebruikers maar ook op het gebruik door hulpdiensten. Hierbij kan worden gedacht aan de volgende zaken:

- De breedte van vluchtwegen dient te zijn afgestemd op het gebruik van brancards, waarbij er rekening dient te worden gehouden met de breedte van de brancard inclusief een ernaast lopende verpleegkundige. De breedte van deuren moet voldoende zijn voor de breedte van brancards.
- Het is lastig als zelfsluitende deuren een dermate grote sluitkracht hebben dat brandslangen moeilijk door de deuropening zijn te leggen (deurdrangers willen nog wel eens het laatste deel van de sluitweg een verhoogde sluitkracht hebben).

11.4 Ontwerpaspecten

Vluchtwegen

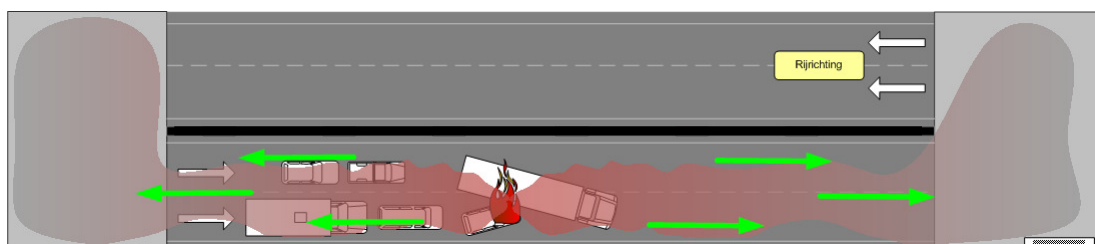
Vluchtwegen zijn bedoeld om weggebruikers van de calamiteit weg te leiden. Geleiderailconstructies zijn moeilijk overklimbaar, vooral voor ouderen en mindervaliden en leiden snel tot snijwonden vooral als de constructie wat ouder en gecorrodeerd is. Overklimconstructies op geleiderails, zoals wel worden toegepast bij deuren in geluidsschermen en bij ANWB-palen, zijn in vluchtsituaties niet toelaatbaar. In deze situatie stepbarriers als verkeersgeleiding toepassen.

Uitgangsportalen

Uitgangsportalen dienen zo te worden ontworpen dat wordt voorkomen dat vluchtenden in de rook komen te staan. Tevens dient bij tunnels te worden voorkomen dat verkeersemissies in de naastgelegen buis gezogen worden. **Om dit aantoonbaar te maken wordt aanbevolen om bij het ontwerp van de portalen een windtunnelonderzoek uit te laten voeren.**

Gesloten constructies korter dan 250 m

Bij deze constructies worden meestal geen middeltunnelkanalen, geen vluchtdeuren en geen mechanische ventilatie toegepast. Het vluchten in de tunnel zal in de calamiteitenbuis zelf plaatsvinden (looprichting van de calamiteit af). Er worden bij de uitgangsportalen geen speciale voorzieningen getroffen.



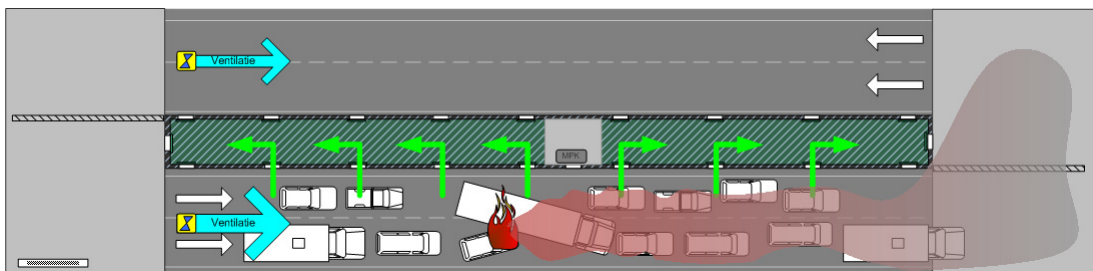
Vluchtsituatie bij tunnels zonder vluchtdeuren (en zonder mechanische ventilatie)

NB er mag in deze situatie geen vluchtrichting worden aangegeven !! Derhalve geen borden of pictogrammen toepassen. De locatie van de calamiteit kan nl. overal in de constructie zijn. !!

Gesloten constructies langer dan 250 m , met vluchtgang

In tunnels waarbij de vluchtgang is gelegen tussen twee tunnelbuizen kan deze van twee zijden worden betreden. De deuren dienen tegenover elkaar te zijn geplaatst. Vluchtwegen komen bij voorkeur uit in rookvrije tunnelmonden. Dit impliceert dat de vluchtrichting dan tegengesteld moet zijn aan de ventilatierichting van de calamiteitenbuis. In zinktunnels gebouwd voor 2005 vormt de pompenkamer een blokkade in het vluchtkanaal, waardoor er vanaf

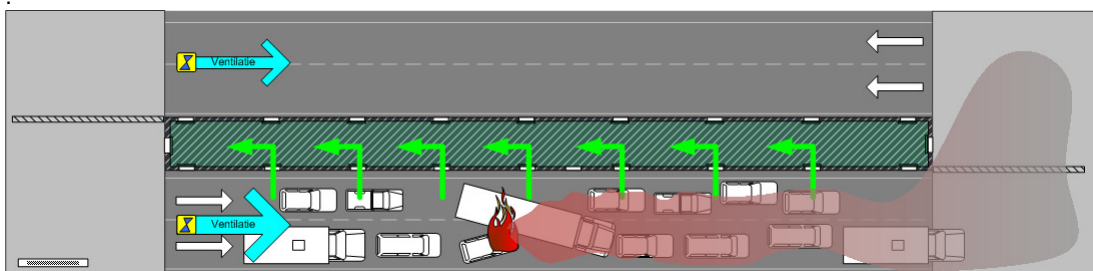
het diepste punt alleen stroomafwaarts kan worden gevlucht (voor het diepste punt kan alleen stroomopwaarts worden gevlucht). Hierdoor is het mogelijk dat de vluchtweg in de rook uitkomt. Het verspringen van de tunnelmond en/of een rookmuur geven hier enige bescherming.



Vluchtsituatie bij tunnels met vluchtgang, met blokkade door pompenkamer

De huidige inzichten vereisen dat bij nieuw te bouwen tunnels (ook bij zinktunnels), de pompenkamer buiten de vluchtgang wordt gesitueerd (technisch is dit mogelijk). Hierdoor is de vluchtgang in lengterichting vrij van obstakels en blokkades en wordt vluchten naar beide richtingen mogelijk.

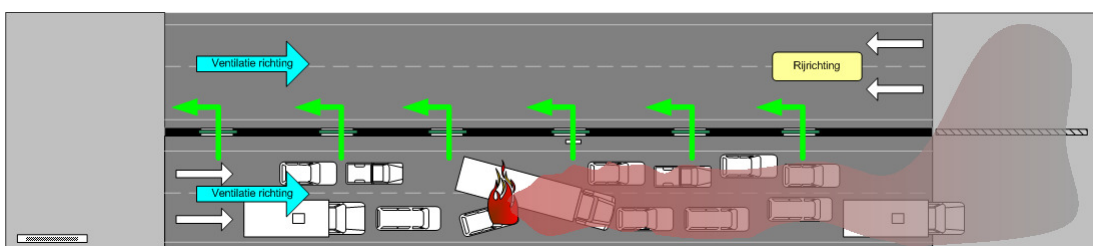
De vluchtwegaanduiding moet duidelijk en eenduidig zijn. Omkeerbare richtingaanduiding moet gekoppeld worden aan de ventilatierichting van de calamiteitenbuis. Eventuele verbindingen (zoals trappen) naar het dienstengebouw, via het kabelkanaal dienen geen obstructie van de vluchtweg te vormen (trappen kunnen bijvoorbeeld ophaalbaar uitgevoerd worden.) Door middel van een aangepast ventilatieregime dient de veilige buis (de buis naast de calamiteitenbuis) rookvrij te worden gehouden. Uit het oogpunt van calamiteitenbeheersing is het bij deze situatie niet noodzakelijk om de tunnelbuizen versprongen te beëindigen en/of een rookmuur te plaatsen. Dit kan uit beheersing van de emissieniveaus echter wel noodzakelijk blijken.



Vluchtsituatie bij tunnels met vluchtgang, zonder blokkade door pompenkamer

Gesloten constructies langer dan 250 m, zonder vluchtgang

Bij tunnels waarbij tussen de tunnelwanden geen middentunnelkanaal (vluchtkanaal) aanwezig is kan gevlucht worden via de naastgelegen buis. Ook hier dient het ventilatieregime (gedeeltelijk) omkeerbaar te zijn. Een rookmuur is hier, voor de beheersing van een calamiteit met brand, niet noodzakelijk omdat de ventilatierichting in beide buizen gelijk is (rijrichting calamiteitenbuis). Er wordt gevlucht tegen de ventilatierichting in (bewegwijzering hierop afstemmen).



Vluchtsituatie bij tunnels met vluchtweg via naastgelegen buis

11.5 Aanduiding van de vluchtweg

De aanduiding van vluchtdeuren en vluchtwegen dient altijd zichtbaar te zijn, dus ook als er niets aan de hand is (hierdoor worden weggebruikers bewust of onbewust geattendeerd op de aanwezigheid van vluchtvoorzieningen en op die wijze als het ware voorgeprogrammeerd).

Tevens is het van groot belang dat weggebruikers zoveel als mogelijk eenheid in aanduiding en bewegwijzering krijgen aangeboden. In het hoofddocument is dan ook gedetailleerd weergegeven hoe een en ander vorm gegeven dient te worden. De betreffende voorzieningen en maatregelen zijn in belangrijke mate gebaseerd op de resultaten van onderzoek, uitgevoerd door TNO, in opdracht van het steunpunt Tunnelveiligheid.

12 Ventilatie

12.1 Algemeen

Ventilatie heeft tot doel gasen, rook en warmte uit de tunnel te verwijderen.

Onder normale omstandigheden spelen alleen uitlaatgassen afkomstig van het door de tunnel rijdende verkeer een rol. De emissieconcentraties dienen zowel binnen als buiten de tunnel binnen aanvaardbare grenzen te blijven.

Bij brand ontstaat een mengsel van rook en andere verbrandingsproducten die het vluchten van personen en de toetreding van hulpverlening kunnen belemmeren. Primair van belang is hierbij het voorkomen dat weggebruikers in de rook komen te staan en het creëren van toegangsmogelijkheden voor de hulpverleners.

Toepassing van mechanische ventilatie heeft ook invloed op de benaderbaarheid van de brand om deze te blussen, de hoogte van de optredende temperaturen en de brandduur.

Het door middel van ventilatie voorkomen dat de tunnel bezwijkt door een explosie vanwege onverbrande dampen wordt van minder belang geacht omdat deze gebeurtenis op zich onwaarschijnlijk is vanwege de grote hoeveelheid beschikbare verbrandingslucht in een tunnel.

Er zijn dus twee aspecten om de behoefte aan (mechanische) ventilatie te beoordelen:

- de verontreiniging onder normale omstandigheden;
- het gedrag van gasen en rook bij brand.

Het verontreinigingscriterium

Verontreiniging in de tunnel door uitlaatgassen

Wanneer geldt dat de kans op te hoge verontreiniging onacceptabel hoog is, zal tot ventileren moeten worden overgegaan.

Onder normale omstandigheden wordt door het rijdend verkeer een langsstroming in de tunnelbuis opgewekt die in de meeste gevallen voldoende is voor verversing van de lucht; schone lucht wordt aangezogen via de ingang van de verkeersbuis en de vervuilde lucht verdwijnt via de uitgang.

Bij korte gesloten constructies heeft niet alleen het rijdend verkeer invloed op de luchtbeweging maar ook de wind zodat ook bij stilstaand verkeer voldoende verversing aanwezig is.

Gezien de sterk verminderde uitstoot van uitlaatgassen van voertuigen kan voor de probleemanalyse met betrekking tot de minimale lengte waarbij tunnels geventileerd dienen te worden dit criterium verder worden verwaarloosd. Dit criterium wordt pas maatgevend bij lange tunnels (zie ook hoofdstuk 14).

Verontreiniging buiten de tunnel door uitlaatgassen

Uitstoot van verontreinigde lucht uit de tunnel kan tot plaatselijk te hoge concentraties verontreiniging leiden. Op dit fenomeen wordt verder niet ingegaan. In voorkomend geval zal hier een aparte beschouwing aan moeten worden gewijd.

Verontreiniging door vrijgekomen toxische stoffen

Een reden om korte tunnels op basis van verontreiniging te ventileren zou kunnen zijn gelegen in de kans op een ongeval waarbij zware toxische stoffen uitstromen, die zich vervolgens als een deken over de bodem van de tunnel zouden kunnen verspreiden. Door mechanische ventilatie kan mogelijk verdunning worden bereikt en de concentratie worden beperkt.

De kans op het vrijkomen van toxische stoffen wordt dermate gering geacht dat deze situatie als een acceptabel restrisico kan worden beschouwd en geen aanleiding geeft tot het toepassen van mechanische ventilatie.

De brandsituatie

De kans op brand wordt beïnvloed door:

- de verkeersintensiteit;
- de tunnallengte;
- de geometrie (dwarsprofiel, lengteprofiel);
- de snelheid van het verkeer.

Het gevolg van brand wordt beïnvloed door:

- toelatingsregime gevaarlijke stoffen;
- omvang vrachtverkeer;
- mate van rookvorming en rookverspreiding;
- intensiteit van de brand (personenauto, vrachtauto, tankauto);
- windkracht en windrichting (met name bij korte tunnels);
- geometrie van de tunnel (hellingen; schoorsteenwerking);
- plaats van de brand;
- kans op filevorming en mogelijke filelengte;
- het al dan niet aanwezig kunnen zijn van automobilisten stroomafwaarts van de brand (optreden van filevorming stroomafwaarts);
- mogelijkheden voor snelle detectie;
- mogelijkheden (tot een snelle start van de) brandbestrijding;
- vluchtmogelijkheden.

Het gedrag van gassen en rook bij brand

De eerste minuten na het ontstaan van een brand zullen, ten gevolge van temperatuurverschillen, rook en hete gassen ter plaatse van de brand opstijgen en zich als een dikke laag langs het plafond verspreiden. De richting waarin deze laag zich verspreid is afhankelijk van de op dat moment aanwezige luchtstroming in de tunnel. Onder de rook blijft de lucht helder en er is vlak bij de brand een scherpe begrenzing tussen rook en heldere lucht. Dit wordt stratificatie genoemd.

De weg onder de rook blijft begaanbaar. Hierbij moet rekening worden gehouden met het optreden van een zekere hoeveelheid warmtestraling hoewel die vrijwel nooit binnen korte tijd schadelijk is.

De stratificatie blijft in principe aanwezig zolang de rook een hogere temperatuur heeft dan de omgevingslucht ook als in de tunnel enige luchtstroming aanwezig is.

De stratificatie gaat verloren wanneer de stabiliteit van de rooklaag, door afkoeling en vermenging met de onderliggende luchtlaag, wordt opgeheven. Daardoor wordt de tunneldoorsnede volledig met rook gevuld.

De afstand tot de brand en het tijdstip waarop vermenging optreedt is afhankelijk van een aantal factoren, waaronder:

- *de temperatuur van de verbrandingsgassen en de afkoelingssnelheid.*
Indien de rooklaag de uitgangen van de tunnel bereikt voordat zij zover is afgekoeld dat vermenging optreedt, blijft de stratificatie in stand. Indien het tunnelplafond hittewerend is bekleed zal minder snel afkoeling optreden en blijft de stratificatie langer in stand dan zonder bekleding.
- *de grootte van de brand.*
Proeven in de Memorial tunnel²⁵ in een situatie van natuurlijke ventilatie tonen aan dat bij een brand van 20 MW de doorsnede na circa 5 minuten met rook gevuld raakt. Bij een brand van 50 MW treedt dit verschijnsel op na circa 3 minuten. Bij andere testen gedurende de gehele brandduur. Daarbij dient wel te worden aangetekend dat bij al deze proeven sprake was van een directe ontsteking van de totale bron (dus een direct volledig ontwikkelde brand).
- *de luchtsnelheid in de tunnel.*
Proeven in de Beneluxtunnel in 2001 met branden van 5 – 20 MW hebben aangetoond dat altijd stratificatie ontstaat nabij de brand. Hoe heter de rookgassen des te beter de stratificatie in stand wordt gehouden. Bij een zekere luchtsnelheid beweegt de rook zich stroomafwaarts en koelt af aan plafond en wanden. Daardoor zakt de rook vervolgens langs de wanden naar het wegdek en treedt vermenging op met koelere lucht waardoor de rook nog verder afkoelt. De

²⁵ Het betreft hier een tunnel met een doorsnede van circa 38m² (≈ 8,65x4,30m).

plaats waar de stratificatie verloren gaat is afhankelijk van de combinatie van brandgrootte en luchtsnelheid en varieert van 200m bij een luchtsnelheid van circa 1-2 m/s tot circa 100m bij een luchtsnelheid van circa 5 m/s bij een brandgrootte van 20 MW.

- *de hoeveelheid geproduceerde rook.*
De dikte van de rooklaag wordt mede bepaald door de hoeveelheid geproduceerde rook. Wanneer de rookproductie zodanig groot is dat de onderzijde van de rooklaag lager dan circa 2m boven het wegdek is spreekt men niet meer over stratificatie omdat men in de leefzone wordt bedreigd.
- *wind en/of tunnel (langs)ventilatie.*
Wind en ventilatie, door middel van aanjagers en/of injectie, kunnen een versnelde verstoring bewerkstelligen.

Een luchtstroom in de lengterichting van de tunnel wordt bepaald door factoren zoals windrichting en windsnelheid buiten de tunnel, plaats van de brand en de helling van de tunnel (natuurlijke trek). In korte tunnels zal de windinvloed groter zijn dan in lange tunnels.

Indien de wind druk uitoefent op het uitgangsportaal kan de rook tegen de verkeersrichting in terugstromen en daarmee aanwezige weggebruikers bedreigen.

Het verkeer wekt zelf een luchtstroming in de tunnel op met het verkeer mee. Wanneer er brand ontstaat zal het enige tijd duren voordat het verkeer tot stilstand komt. De luchtstroming in de tunnel ten gevolge van het verkeer komt daarmee nagenoeg tegelijkertijd tot stilstand, enerzijds doordat de aandrijvende werking van het verkeer afneemt en anderzijds doordat het stilstaande verkeer remmend werkt. Op basis van waarnemingen en metingen in de Schipholtunnel en de Wijkertunnel²⁶ is vastgesteld dat de wind in staat is binnen 2-3 minuten een luchtstroming tegengesteld aan de verkeersrichting op te wekken. Algemeen geldt: hoe korter de tunnel des te hoger de snelheid kan worden en des te korter de tijd waarin de luchtstroming op gang wordt gebracht.

Het (gewenst) gedrag van de weggebruiker bij brand

Bij ongevallen in een tunnel komt het voor de weggebruiker aan op zelfredzaamheid en hulpverlening. In de eerste minuten na het ontstaan van een brand speelt louter de zelfredzaamheid, omdat de hulpdiensten nog niet zullen zijn gearriveerd. In die eerste periode van zelfredzaamheid zullen weggebruikers mogelijk pogingen ondernemen om de nog beginnende brand te blussen, doch als dit niet binnen enige minuten is gelukt en de brand grotere vormen aanneemt, zullen zij moeten vluchten.

Wanneer sprake is van een ongeventileerde tunnel, zal de ter beschikking staande effectieve vluchttijd mogelijk gering zijn en dienen de vluchtmogelijkheden daar dus op te zijn afgestemd. Door de verspreiding van de rook zal het donkerder worden en kan een gevoel van onveiligheid bij de weggebruiker versneld een extra hoge druk op de capaciteit van eventuele vluchtwegen leggen. Bij tunnels met langsventilatie is er in slechts een beperkt aantal gevallen kans op een situatie waarin mensen in de rook kunnen geraken (secundaire ongevalsituaties) terwijl in een ongeventileerde tunnel er altijd mensen onder de rook aanwezig zullen zijn. Hier ligt aldus een belangrijke invloedsfactor voor de bepaling van niet of wel ventileren.

Gevolgen van brand

Voor de gevolgen voor de weggebruikers is het van belang te bezien of de tunnel dusdanig is gesitueerd dat de kans op filevorming ter plaatse van de uitrit (onevenredig) groot is, met name in stedelijke gebieden. Hiermee wordt het gevolg van een mogelijke brand vergroot door de potentiële aanwezigheid van weggebruikers aan de verkeerde (= benedenstroomse) kant van de brand. Deze situatie zou bijvoorbeeld kunnen worden vermeden door te streven naar een aaneenschakeling van zodanig korte gesloten delen dat ventilatie niet nodig is (langsventilatie lost in deze situatie namelijk het probleem niet op!)²⁷.

De economische gevolgen van een brand lopen voor de verschillende tunneltypes sterk uiteen. Een tunnel die geen water van enige betekenis kruist en in landelijk gebied is gelegen is nog relatief

²⁶ Zie: Aerodynamic measurements in the new Schipholtunnel. Part 1,2 NLR 1998

²⁷ In Frankrijk ziet men dit probleem wel opgelost worden door elke 800m een opening in het plafond aan te brengen. Bij brand kan door beïnvloeding van de ventilatierichting de rook naar de dichtstbijzijnde opening worden getransporteerd.

eenvoudig te vervangen. Het compleet verloren gaan van een zinktunnel in het hoofdwegennet zal daarentegen desastreuze gevolgen hebben.

12.2 Ventilatiesystemen

In principe kunnen tunnels worden geventileerd door middel van:

- a. dwarsventilatie;
- b. semi-dwarsventilatie;
- c. langsventilatie;
- d. natuurlijke ventilatie.

a. Dwarsventilatie

Bij dit systeem beweegt de lucht in de verkeersruimte zich in dwarsrichting ten opzichte van de langsas van de tunnelbuis. Toevoer en afvoer van de lucht vinden plaats via aparte luchtkanalen.

In Nederland is deze vorm van ventileren toegepast in de Maastunnel, de IJ-tunnel en de Velsertunnel. Bij deze manier van ventileren is een aantal kritische kanttekeningen te plaatsen:

- De theoretische luchtbeweging, waaraan dit systeem zijn naam ontleent, wordt vrijwel altijd verstoord door een, door het verkeer opgewekte of ten gevolge van de wind optredende luchtstroming. In normale situaties is deze niet hinderlijk, doch bij brand kan hierdoor een gevaarlijke situatie ontstaan. Rook en hete verbrandingsgassen kunnen zich ongecontroleerd verspreiden in de richting van het gestrande verkeer (vergelijkbaar dus met een situatie zonder mechanische ventilatie).
- Schoorsteeneffecten kunnen niet worden weggenomen. In tunnels met langshellingen kan de rook door thermische trek naar de verkeerde kant stromen.
- De afvoercapaciteit is veelal beperkt door het beschikbare ruimtebeslag voor ventilatiekanalen. Bij kleine branden (tot 10 à 20 MW) kan de hoeveelheid rook nog wel worden afgevoerd. Bij branden die zich tot een omvang groter dan 20 MW ontwikkelen zouden weggebruikers in de eerste fasen van de brand, waarin de rookontwikkeling nog beperkt is, ook nog veilig kunnen zijn maar na enige tijd niet meer. Bij grote branden is de rookproductie zo groot (bij een extreme brand kan wel zo'n 300 m³/sec vrijkomen) dat het dwarsventilatiesysteem dit niet meer aan kan.
- Het inblazen van lucht verstoort de eventueel aanwezige stratificatie en belemmert daardoor het zicht op de situatie en de vluchtwegen. Inblaassystemen dienen derhalve te kunnen worden uitgezet of omschakelbaar te zijn tot afzuigsysteem.
- Dwarsventilatiesystemen zijn vanwege de omvangrijke bouwkundige voorzieningen (ventilatiegebouwen en luchtkanalen) veel duurder dan langsventilatiesystemen.

Een oplossingsmogelijkheid voor het beheersen van ongecontroleerde langsstromingen is het aanvullend voorzien in langsventilatie. Dit impliceert een ingewikkelder besturing en hogere kosten.

b. Semi-dwarsventilatie

Bij dit systeem is er slechts één luchtkanaal aanwezig; hierdoor kan er of alleen lucht worden ingeblazen of alleen lucht worden afgezogen. Bij de meeste semi-dwarsventilatie systemen wordt in de normale bedrijfssituatie lucht toegevoerd en in de brandsituatie rook afgezogen (omkeerbaar systeem).

Bij inblazen wordt de lucht vanuit het luchtkanaal over de gehele tunnallengte verdeeld in de verkeersruimte gebracht. De ingebrachte lucht ontwijkt via de beide portalen (uitgangen van de tunnel) wanneer geen langsstroming optreedt. Bij een langsstroming zal de lucht aan één zijde ontwijken, terwijl dan aan de andere kant tevens verse lucht via het portaal wordt aangezogen. Voor semi-dwarsventilatiesystemen gelden dezelfde kanttekeningen als voor dwarsventilatiesystemen.

Dit systeem (alleen inblazen) is in het verleden bij de Coentunnel en de Beneluxtunnel toegepast in combinatie met langsventilatie. Bij deze tunnels werd in het verleden met langsventilatie alleen niet voldaan aan de toegestane emissiewaarde. Met de veel lagere emissiewaarden van tegenwoordig kan worden volstaan met alleen langsventilatie.

c. Langsventilatie

Bij een langsventilatie systeem wordt de tunnelbuis gebruikt als ventilatiekanaal. De lucht wordt aan het ingangsportaal aangezogen en via het uitgangsportaal afgevoerd. De lucht wordt in beweging gebracht door middel van aanjagers of boosters en met grote snelheid in de rijrichting van het

verkeer geblazen. Hierbij zijn geen ventilatiekanalen en daarbij behorende voorzieningen nodig. In de normale situatie ondersteunt of vervangt een langsventilatie systeem de ventilerende werking van het rijdende verkeer.

Toepassing van dit systeem in tunnelbuizen met éénrichtingverkeer leidt er toe dat weggebruikers bovenstrooms van een eventuele brand in frisse lucht tot stilstand komen, terwijl de weggebruikers benedenstrooms de tunnel op normale wijze kunnen verlaten. Dit gaat niet op in het geval, dat er benedenstrooms ook al een ongeluk is gebeurd (hoe langer de tunnel, hoe groter de kans) of in situaties met verhoudingsgewijs grote congestiekans ter plekke (vooral in stedelijk gebied).

Bij brand moet worden voorkomen dat rook kan doordringen tot in de naastgelegen tunnelbuis. Dit kan worden bereikt door in de naastgelegen buis (of buizen) te ventileren in dezelfde richting als in de tunnelbuis met brand. De omkeerbare uitvoering biedt tevens (aan uitsluitend de brandweer!) de kans om in voorkomend geval de ventilatierichting om te draaien.

d. Natuurlijke ventilatie

Dit systeem betekent in de praktijk in feite het in kleinere stukken opdelen van een tunnel (DODO). De hiervoor genoemde nadelen in geval van een lange tunnel worden hiermee opgeheven. Elk onderverdeeld tunneldeel kan hierbij de rookgassen, al dan niet met mechanische ventilatie ondersteund, naar de dichtstbijzijnde opening afvoeren.

Andere mogelijkheden zijn:

- langssleuven in het dak;
- rookluiken.

12.3 Literatuuronderzoek

Gevoelsmatig is duidelijk dat ventileren niet noodzakelijk is in een (zeer) korte tunnel. Gassen en rook verdwijnen langs natuurlijke weg en kostbare investeringen kunnen dus achterwege blijven. De vraag rijst evenwel of door middel van objectieve criteria is vast te stellen vanaf welke lengte mechanische ventilatie noodzakelijk is en zo ja, hoe dan deze ondergrens bepaald dient te worden. Wanneer vervolgens sprake is van mechanische ventilatie rijst de vraag welk systeem tot welke lengte toepasbaar is. Er is daarom een overzicht gemaakt van de wijze waarop met deze vraag in de literatuur wordt omgegaan.

Hierbij moet worden opgemerkt, dat het merendeel van de verwijzingen betrekking heeft op relatief kleine branden tot zo'n 50 MW, hetgeen tot voorzichtigheid maant bij interpretatie en extrapolatie ervan naar situaties in geval van een zeer zware brand.

Circulaire Interministériële No 2000-63 du 25 Août 2000. In hst.3.2.2 'Ventilation de désenfumage en cas d'incendie'), wordt gesteld dat (langs)ventilatie om rook bij brand te verwijderen uit een tunnel NIET nodig is in:

- stadstunnels < 300m;
- niet-stadstunnels < 500m;
- niet-stadstunnels met weinig verkeer < 1000m.

Voorname richtlijnen zijn gebaseerd op brandproeven van branden van 5 tot 80 MW (zie ook: *new fire-related regulations for French road tunnels*, p.267 t/m 278; *International conference on tunnel fires and escape from tunnels*).

Technical committee report no.5 for the XVIII World Road Congress Brussels 1987; PIARC 1987:

Hst.II.3.3.'Smoke movement along the tunnel': zonder ventilatie blijft bij een brand van 10 MW een rooklaag tegen het tunnelplafond over een lengte van 700m (of 8 minuten) stabiel, zonder de onderliggende luchtlaag te verontreinigen. Deze onderliggende luchtlaag blijft niet alleen helder ten gevolge van de opdrijvende krachten binnen de rooklaag maar ook ten gevolge van de toestroming van schone buitenlucht onderlangs de rooklaag naar de plaats van de verbranding.

Dit effect blijft aanwezig bij grote branden, waar de kans op de vermenging ten gevolge van de turbulentie door hogere lichtsnelheden wordt gecompenseerd door het hogere drijfvermogen van de rooklaag ten gevolge van de hogere temperaturen.

Überprüfung der Bemessungsgrundlagen für die Be- und Entlüftung von städtischen Straßentunneln im Hinblick auf die Verringerung der Schadstoffemissionen bei den Kraftfahrzeugen; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik; heft 638, 1993:

Hst. 6.2: brand van 10 MW: gedurende de eerste 7 minuten, over een lengte van 700m gerekend vanaf de plaats van de brand, mengt de naar buiten stromende rooklaag zich nauwelijks met de daaronder aanwezige tegenstroom schone lucht. Pas in de volgende 5 minuten mengt de afgekoelde rooktong zich met de onderliggende tegenstroom, zodat dan na een kwartier een volledige vermenging ontstaat over een lengte van 1km ter weerszijden van de brand.

Hst. 6.3.1 en fig. 6.8, in tunnels tot 800m lang: bij een brand van 10 MW die 100m verwijderd is van het portaal stroomt de rook als een laag langs het plafond naar buiten via één of beide portalen. Over de gehele tunnallengte is voldoende zicht en ademlucht aanwezig om naar het portaal te kunnen vluchten.

Literatuuronderzoek naar de invloed van aerodynamische variabelen op de luchtverontreiniging in en rond verkeerstunnels; TNO, 1987:

Hst. 2.2.a: in tunnels met tweerichtingsverkeer ontstaan bij natuurlijke ventilatie pas problemen bij een lengte groter dan 250m.

N.B. hierbij moet worden opgemerkt dat dit literatuuronderzoek uitsluitend is gericht op uitlaatgasconcentraties en een verzameling is van publicaties van vóór 1985, een periode waarin uitlaatgas emissies aanzienlijk hoger waren dan thans.

Memorialtunnel Fire Ventilation Test Program; Bechtel/Parsons Brinckerhoff, nov.1995:

Beschrijving van de bevindingen:

In de Memorialtunnel zijn in 1995 brandproeven uitgevoerd. De tunnel is 2-strooks, 850m lang en heeft een helling 3,2% stijgend van zuid naar noord.

Eén test van 20 MW en één van 50 MW werden uitgevoerd zonder mechanische ventilatie, waarbij de luchtstromen geheel bepaald werden door thermische krachten. De proefbrand was op 235m vanaf het zuid-portaal. De rooklaag bewoog zich langs het plafond in twee richtingen van de brand af, de meeste rook hellingopwaarts (Noord) ten gevolge van de thermische trek, terwijl onderlangs schone lucht werd toegevoerd.

De gemiddelde rooksnelheid was 2,2m/sec bij de 20 MW brand en 4m/sec bij de 50 MW brand zodat de rook zich binnen korte tijd door de tunnel verspreidde.

Na 2 minuten 20 MW was de rooklaag, hellingopwaarts, langs het tunnelplafond ongeveer 350m gevorderd. Onder de rooklaag was schone lucht aanwezig. Hellingafwaarts, had de rook het tunnelportaal zuid bereikt. In de luchtlaag onder de rook was gedeeltelijke opmenging opgetreden en was het zicht ongeveer 6m.

Na 5 minuten was de rook hellingopwaarts volledig opgemengd. Hellingafwaarts was de rook teruggestroomd tot 60m vanaf de brand.

Na 14 tot 16 minuten was een stabiele toestand bereikt waarbij hellingopwaarts de tunnel volledig gevuld was met rook, en hellingafwaarts de tunnel volledig rookvrij was geworden ten gevolge van de luchtstroom die door de brand zelf werd veroorzaakt.

Bij 50 MW was de rooklaag dikker en de verspreidingssnelheid groter, maar was het verspreidingspatroon globaal hetzelfde als bij 20 MW.

Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln RABT 1994 / VDI 6029 'Lufttechnische Anlagen für Strassentunneln', Maart 2000

Bij een brand van 10 MW blijft bij een luchtstroom van 2m/sec stratificatie permanent aanwezig over een lengte van 400m stroomafwaarts van de brand.

In éénrichtingstunnels tot 700m lengte kan worden volstaan met natuurlijke ventilatie. In geen enkele tunnel korter dan 350m is ventilatie noodzakelijk.

Langsventilatie kan worden toegepast tot 4000m lengte. Indien gecombineerd met een afzuigschacht is toepassing mogelijk tot 6000m.

Boven de 6000m lengte wordt dwarsventilatie als enige oplossing genoemd.

Fire and smoke control in road tunnels. PIARC Committee on road tunnels (C5)hfd. V.7 p155, waar naast de hiervoor reeds vermelde verwijzingen, nog wordt gerefereerd aan de volgende situaties:

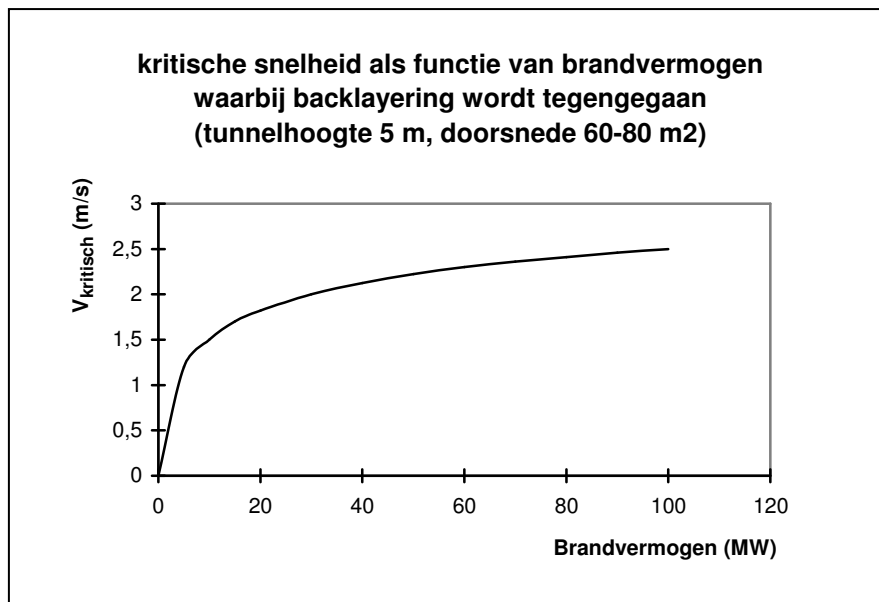
In UK wordt een tunnallengte tot 400m met natuurlijke ventilatie mogelijk geacht (dit dient dan wel te worden gemotiveerd).

In de USA kan volgens de vigerende NFPA 502 guideline tot een tunnallengte van circa 240m worden volstaan met natuurlijke ventilatie.

Fire and smoke control in road tunnels; PIARC committee C5; 1999; p.157 e.v.

De kritische snelheid waarbij backlayering wordt tegengegaan beweegt zich, afhankelijk van het brandvermogen tussen circa 1m/sec en 2,5m/sec. Deze waarden hebben betrekking op een tunneldoorsnede van circa 38m².

In de navolgende grafiek is dezelfde relatie met Bouwdienstprogrammatuur uitgewerkt voor een tunneldoorsnede van 60 à 80m² tot een maximum brandvermogen van 100 MW. Uit de literatuur²⁸ valt op te maken, dat boven de 100 MW de kritische snelheid constant blijft.



Conclusies literatuuronderzoek

De aangehaalde literatuur behandelt met name relatief kleine branden. Voor het bepalen van de noodzakelijke maatregelen in geval van een grote brand zullen, zo lang geen betere informatie beschikbaar is, conclusies op basis hiervan met de nodige voorzichtigheid moeten worden getrokken.

De in de literatuur gevonden tunnallengtes, tot welke geen geforceerde ventilatie nodig wordt geacht, blijken nogal uiteen te lopen. Er worden waarden genoemd tot maximaal 800 à 1000m.

Uit de verzamelde geciteerde literatuur kan de eenduidige conclusie worden getrokken, dat bij tunnallengtes beneden de 250m geen kunstmatige ventilatie noodzakelijk wordt geacht voor zover het de branden betreft met een omvang tot zo'n 50 MW. In die situatie wordt gesteld dat er voldoende mogelijkheid tot vluchten aanwezig is en blijft zonder ventilatie. Ook bij langdurige brand blijft de situatie stabiel. Onder vrijwel alle gerapporteerde omstandigheden blijft onder de rook een schone laag lucht aanwezig die toegang tot de plaats van de brand, dus ook bestrijding van de brand, mogelijk maakt. Voornoemde is echter onbekend voor een extreem grote brand (200 à 300 MW). Ook bij een dergelijk grote brand is er echter een tijdspanne, waarin de brand tot ontwikkeling komt en gestrande weggebruikers kunnen vluchten²⁹. Achterwege laten van een geforceerde ventilatie betekent daarmee impliciet de acceptatie van een grotere kans dat het betreffende kunstwerk door een (langdurige) brand onherstelbaar zou kunnen worden vernield. Men dient dan ook altijd na te gaan of dat in economische zin of vanwege de impact op de omgeving acceptabel is. In voorkomend geval zou dat toch weer tot ventilatie aanleiding kunnen

²⁸ Control of smokeflow in tunnels using longitudinal ventilationsystems. A study of the critical velocity. 10th International symposium on aerodynamics and ventilation of vehicle tunnels, 2000; BHR-group publication nr.43; p639.

²⁹ Teneinde gefundeerde uitspraken te kunnen doen over branden van een vermogen, groter dan 50 MW, zal nader onderzoek nodig zijn.

geven, dan wel tot toepassing van hittewerende bekleding. Voorgaande kan evenzo van toepassing worden verklaard op (vrijwel) gesloten overkappingsconstructies.

Toepassing van langsventilatie wordt begrensd door de kans op een secundair ongeval of de kans op filevorming. Vanuit eerstgenoemde oorzaak wordt een lengte gevonden van circa 4000m voor tunnels in landelijk gebied zonder extreme intensiteiten. De tweede oorzaak levert voor stedelijk gebieden een maximale lengte op van zo'n 800 à 1000m. Er zal op moeten worden gelet dat, in de Nederlandse situatie met overvolle wegen, deze situatie nogal eens maatgevend zal kunnen zijn.

12.4 Ontwerp ventilatiesysteem

Bij het ventilatieontwerp is het hoofddoel het voorkomen dat weggebruikers in de rook komen te staan.

Bij een langsventilatie systeem wordt dit doel stroomopwaarts van de brand bereikt door backlayering tegen te gaan³⁰. Stroomafwaarts kunnen eventueel aanwezige weggebruikers in de rook komen te staan. Bij een tunnelbuis met éénrichtingsverkeer is de kans op aanwezigheid van weggebruikers stroomafwaarts van de brand vele malen kleiner dan de kans op weggebruikers stroomopwaarts van de brand. Bij een tunnelbuis met tweerichtingsverkeer zijn die kansen juist even groot.

In een tunnelbuis met éénrichtingsverkeer is bij een dwarsventilatie systeem de kans dat weggebruikers in de rook komen te staan groter dan bij een langsventilatie systeem omdat bij dwarsventilatie de afvoercapaciteit veelal beperkt is en ongecontroleerde luchtstromingen mogelijk zijn. Bij tweerichtingsverkeer kan bij relatief kleine branden mogelijk alle rook worden afgezogen doch bij grote branden zal de buis zich vullen met rook.

De benaderbaarheid van een brand door hulpdiensten is bij langsventilatie over het algemeen beter dan bij dwarsventilatie.

In tunnelbuizen met éénrichtingsverkeer heeft langsventilatie op basis van het bovenstaande de voorkeur.

Bij het ventilatieontwerp en de ventilatieberekeningen dient rekening te worden gehouden met:

- de grootte van de brand;
- de plaats van de brand die bepalend is 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.

Daarnaast heeft de *verkeerssamenstelling* (het percentage vrachtverkeer) enige invloed op de capaciteit van het ventilatiesysteem. Dit wordt echter nauwelijks van belang geacht omdat de weerstand die de ventilatie ondervindt van het aanwezige verkeer slechts circa 20-30% is van de totale weerstand tijdens een brand. Bij variatie in het aandeel vrachtverkeer varieert de weerstand van het verkeer slechts in beperkte mate.

De *verkeersintensiteit* is van belang bij lange tunnels. Deze kan maatgevend zijn voor de maximale filelengte stroomopwaarts van de brand. De filelengte bepaalt mede de benodigde capaciteit van het ventilatiesysteem. De filelengte wordt echter in berekeningen bij voorkeur niet als variabele beschouwd maar als een randvoorwaarde.

Bij langsventilatie wordt toegestaan dat het systeem in een beperkt deel van alle mogelijke combinaties van bovengenoemde variabelen niet in staat is de vereiste langssnelheid om backlayering tegen te gaan te halen.

De toelaatbare faalkansen voor systeem falen zijn vastgesteld op basis van de relatieve kans op de verschillende brandvermogens.

In geval van een koolwaterstofbrand is het wenselijk dat er volledige verbranding optreedt teneinde te voorkomen dat onverbrande producten bij de tunneluitgang alsnog tot (plotselinge) ontbranding komen als er verse buitenlucht bijkomt. Bij een brandgrootte van 200 MW is daarvoor een luchthoeveelheid nodig die leidt tot een luchtsnelheid van 1 – 1,5 m/s in de tunnel. Deze snelheid

³⁰ Nader bestudeerd wordt in hoeverre een geringe backlayering bij zeer grote branden toelaatbaar is.

ligt in verkeerstunnels altijd lager dan de benodigde snelheid om backlayering tegen te gaan. Volledige verbranding is daarom geen maatgevend criterium voor het ontwerp van een ventilatiesysteem.

12.5 Civiele aspecten

Bij de meeste verkeerstunnels liggen de tunnelbuizen naast elkaar en ligt de ingang van de ene buis naast de uitgang van de andere buis. Om te voorkomen dat de tunnelbuizen elkaar verontreinigen doordat uitlaatgassen direct oversteken van de uitgang van de ene buis naar de nabij gelegen ingang van de andere buis, dienen bij tunnels langer dan 250m de buizen fysiek te worden gescheiden. Bij tunnels korter dan 250m wordt dit niet nodig geacht omdat de wind vrij spel heeft en het bij windstil weer heel lang duurt voordat een gevaarlijke concentratie uitlaatgassen wordt opgebouwd.

De fysieke scheiding kan als volgt worden uitgevoerd:

- Door de uitgang tenminste 2 maal de hydraulische diameter verder naar buiten door te zetten dan de ingang³¹. De snelheid van de aangezogen lucht is op een afstand van 1 maal de hydraulische diameter van de ingang slechts 10% van de aanzuigsnelheid bij het ingangsportaal en op 2 maal de hydraulische diameter te verwaarlozen. Twee maal de hydraulische diameter is daarmee een veilige afstand waarmee ook opeenhoping van verontreinigde lucht bij windstil weer nabij het ingangsportaal wordt voorkomen. Aangezien de hydraulische diameter meestal in de orde van 7 tot 8m ligt wordt in het algemeen een verspringing van circa 20m aangehouden.
- Door het aanbrengen van een scheidingsmuur met een hoogte die minimaal gelijk is aan de hoogte van eventuele zijwanden en een lengte die voldoende gelegenheid biedt aan uitlaatgassen om te ontwijken in de buitenlucht (tenminste 2 maal de hydraulische diameter).

Omdat het scheidende effect van verspringende in- en uitgangen beter is dan van een scheidingsmuur is deze oplossing te prefereren.

Opgemerkt wordt dat de hier beschreven scheidingsmuur in principe een andere functie heeft dan de rookmuur zoals beschreven in hoofdstuk 11. De daar beschreven rookmuur heeft als functie het beschermen van vluchtende weggebruikers tegen rook.

In een brandsituatie zonder mechanische ventilatie heeft de wind invloed op de rookbeweging. Het is daarom aannemelijk dat in naast elkaar gelegen tunnelbuizen de stromingsrichting gelijk zal zijn zodat een fysieke scheiding van de tunnelportalen niet nodig is.

In een brandsituatie met mechanische langsventilatie kan met behulp van de langsventilatie in beide tunnelbuizen in dezelfde richting worden geventileerd zodat een fysieke scheiding van de tunnelportalen niet nodig is.

³¹ De hydraulische diameter is gedefinieerd als $D_h = 4 \times \text{doorsnede oppervlak} / \text{doorsnede omtrek}$.

13 Communicatie

13.1 Algemeen

De omstandigheden in een tunnel lopen sterk uiteen. Variërend van normaal rijdend verkeer tot stagnatie en filevorming al of niet gepaard gaande met pech of ongeval. Met name in situaties waarbij sprake is van risico voor de weggebruiker en/of optredende hulpdiensten is een goede communicatie van groot belang. Aan de hand van een aantal reële gebruikssituaties wordt in dit hoofdstuk de behoefte aan communicatiesystemen in beeld gebracht.

Doel van communicatie

Met communicatie wordt in dit verband bedoeld het gebruik van audiovisuele middelen voor het verkrijgen, geven dan wel uitwisselen van informatie en instructie. Het aantal belanghebbenden is uiteenlopend van aard: weggebruikers, hulpdiensten, wegbeheerders en operators ([wegverkeersleiders](#)). Met uitzondering van de weggebruikers is sprake van professionals die op basis van de individuele taak gebruik maken van voor hen bekende communicatiemiddelen. De effectiviteit van de communicatie voor deze groep is door training in grote mate zeker te stellen.

De groep weggebruikers, niet-professionals, vraagt bijzondere aandacht als het gaat om de effectiviteit van communicatie. Met name het dwingend instrueren van weggebruikers vereist speciale vaardigheden van de operator en aanvullende technische voorzieningen in communicatiesystemen.

13.2 Communicatiesystemen

Tot de communicatiesystemen worden gerekend:

- camera- of CCTV-systeem: voorziet in videobeelden aan de operator vanuit de tunnelbuizen, de toeritten en van specifieke situaties langs het tracé zoals verkeerslichten, slagbomen, middenbermdoorsteken en hoogtedetectie;
- [noodtelefoon](#)systeem: voorziet in directe spreek/luisterverbindingen tussen hulpposten en de operator, onafhankelijk van het openbaar telefoonnet;
- ANWB-praatpalennet: voorziet in directe spreek/luisterverbindingen tussen ANWB-meldtoestellen en de ANWB-alarmcentrale;
- hoogfrequent (HF)systeem: voorziet in draadloze spreek/luister-verbindingen voor individuele hulpdiensten en voor de beheerder; de operator kan communiceren met de beheerder; de operator kan hulpdiensten uitluisteren; voorziet in het uitzenden van enkele publieke FM radiozenders en het inspreken daarop door de operator;
- luidsprekersysteem: voorziet in een toespreekmogelijkheid door de operator in de tunnelbuizen, de toeritten en ter plaatse van specifieke situaties langs het tracé zoals verkeerslichten, slagbomen, middenbermdoorsteken en hoogtedetectie;
- objectgebonden telefoonsysteem: voorziet in spreek/luisterverbindingen vanuit technische ruimten in de tunnelgebouwen; maakt gebruik van het openbaar telefoonnet;
- mobiele telefonie voor weggebruikers: voorziet in spreek/luisterverbindingen voor de weggebruiker via het netwerk voor mobiele telefonie.

Gebruikssituaties

Communicatie wordt in principe noodzakelijk bij een afwijking van de normale situatie. De afwijkingen waarmee rekening gehouden wordt zijn:

- een pechgeval;
- een file;
- het uitvoeren van beheer en onderhoud;
- een ongeval, al dan niet gepaard gaande met brand of de kans op brand, explosie of het vrijkomen van giftige stoffen.

Pech

Ter vergelijking is de situatie langs de open weg beschouwd. De 'pechhebber' meldt zich via een ANWB-praatpaal en staat op de meestal aanwezige vluchtstrook of achter de geleiderail, terwijl het andere verkeer normaal doorrijdt.

Hoewel een tunnel met vluchtstrook een zekere mate van overeenkomst vertoont met de open weg, kan echter door afwijkend gedrag van weggebruikers een andere situatie ontstaan. Doordat weggebruikers in een tunnel toch enigszins gespannen kunnen rijden of doordat het zicht beperkter is kan een pechgeval op de vluchtstrook, al of niet gepaard gaande met lopende personen, aanleiding zijn voor schrikreacties die vervolgens weer aanleiding kunnen zijn tot een ongeval.

Door het instellen van een snelheidsbeperking met behulp van het verkeerssignaleringssysteem wordt de kans op een vervolgongeval beperkt.

In een tunnel zonder vluchtstrook is de situatie geheel anders omdat stagnatie in de meeste gevallen onvermijdelijk is. Het tot stilstand komen van een voertuig evenals een stilstaand voertuig vormen een groot gevaar voor het achteropkomend verkeer. Vooral bij intensief verkeer is er behoefte aan een snelle beïnvloeding van het rijdende verkeer en aan gesproken instructies aan de 'pechhebber'. Het geven van gesproken instructies aan het rijdend verkeer is niet toegestaan vanwege de kans op schrikreacties.

De volgende communicatielijnen bij pech zijn te onderscheiden:

- a) Visuele informatie naar de operator ([wegverkeersleider](#)):
Hierbij is een CCTV-systeem van primair belang. Het systeem dient in staat te zijn door middel van een flexibele beeldkeuze afdoende oordeel van de situatie te verkrijgen.
- b) Instructie naar 'pechhebber':
Bij aanwezigheid van een luidsprekersysteem is de operator in staat de 'pechhebber' aanwijzingen te geven zoals: "niet weglopen, bij de auto blijven, niet oversteken" en dergelijke. Het toepassen van een luidsprekersysteem zal altijd in combinatie moeten zijn met een CCTV-systeem vanwege de doelgerichtheid van de mededelingen.
- c) Communicatie tussen 'pechhebber' en de operator:
Een [noodtelefoon](#)systeem biedt de mogelijkheden tot directe communicatie tussen de 'pechhebber' en de operator.
Dit is afdoende aangezien de operator zorgt voor het inschakelen van een sleepdienst. Het uitvoeren van reparaties aan het voertuig in een tunnel is niet toegestaan.
- d) Communicatie tussen 'pechhebber' en de ANWB:
Het gebruik van ANWB-meldtoestellen is bruikbaar als sprake is van geringe lengte en/of een geringe verkeersdichtheid en tevens sprake is van een (on)bewaakt object. Afhankelijk van de lengte van het object kunnen de meldtoestellen zich nabij of in het gesloten deel bevinden. Hierbij moet wel bedacht worden dat via deze posten alleen de Wegenwacht of de hulpdiensten (112) worden gealarmeerd. Deze diensten zijn veelal niet bevoegd om verkeersmaatregelen te nemen.

File

Bij nagenoeg gesloten constructies en tunnels kan tijdens een file de emissieconcentratie hoog oplopen. In geventileerde tunnels wordt het ventilatiesysteem gebruikt als tegenmaatregel.

Indien geen ventilatievoorzieningen zijn aangebracht (zie hoofdstuk 12) kunnen (te) hoge concentraties ontstaan. Bij een gemiddelde snelheid van 20 km/uur en een tunnallengte van 500m, is de maximale verblijftijd 1,5 minuut. Deze periode is dermate kort dat geen gevaar ontstaat voor de weggebruiker. Er bestaat in dit geval geen behoefte instruerend naar de weggebruiker op te treden. Indien in ongeventileerde tunnels wel sprake is van langdurig stilstaand verkeer kan, mede afhankelijk van de tunnallengte, een ongewenste situatie ontstaan. Instructie aan de weggebruiker die leidt tot het uitzetten van de motor is dan een noodzakelijke maatregel.

Veelal zal een tunnel met een grote kans op file zich bevinden in een druk bereden traject en daardoor voorzien zijn van verkeersdetectie systemen zoals MTM en SDS/SOS, zie hoofdstuk 10 Verkeersinstallaties. Er is dan sprake van een bediende tunnel en de verkeersdetectie systemen zorgen voor een tijdige melding naar de operator.

Indien sprake is van een (on)bewaakte tunnel in een traject dat niet is voorzien van MTM, wordt de kans op file dermate klein geacht dat ook in de tunnel geen nadere maatregelen voor het signaleren van file of stilstand worden genomen.

De volgende communicatielijnen zijn bij file te onderscheiden:

- a) Visuele informatie naar de tunneloperator ([wegverkeersleider](#)):
De filemelding uit een verkeersdetectie systeem verschaft voldoende informatie. Aanvullende informatie uit een CCTV-systeem kan zinvol zijn maar niet van primair belang.
- b) Instructie naar weggebruikers:
Deze kan op twee manieren geschieden: via een luidsprekerinstallatie of via een HF-systeem. De voorkeur gaat uit naar laatstgenoemde.
Aangezien de meeste tunnels beschikken over een HF-systeem, de meeste weggebruikers de autoradio aan hebben staan en de boodschap gelijktijdig bedoeld is voor een groot aantal weggebruikers, is gebruik van het HF-systeem bijzonder effectief.
De operator kan een mededeling inspreken waarbij toepassing van RDS-codering zorgt voor een maximale bereikbaarheid.

Beheer en onderhoud

Werkzaamheden in het kader van beheer en onderhoud, uit te voeren in de tunnel, de toeritten en het bijbehorende tracé, gaan vanwege de ARBO-voorschriften gepaard met verkeersmaatregelen. Afhankelijk van de aard van de werkzaamheden kunnen die variëren van het 'afkruisen' van een rijstrook tot het volledig afsluiten van een tunnelbuis.

Het instellen en opheffen van de verkeersmaatregel vindt over het algemeen plaats door of onder begeleiding van een kantonnier. Er is een nauwe samenwerking tussen de kantonnier ter plaatse en de operator op afstand, elk met een eigen verantwoordelijkheid.

Indien sprake is van een (on)bewaakte tunnel resulteert de verkeersmaatregel onder volledige verantwoordelijkheid van de kantonnier eventueel in overleg met de operator van een verkeerscentrale.

Nadat de verkeersmaatregel is genomen worden werkzaamheden van zeer uiteenlopende aard uitgevoerd door onderhoudstechnici al of niet in aanwezigheid van toezichthoudend personeel.

Werkzaamheden uitgevoerd in de gebouwen en overige tot de tunnel behorende (technische) ruimten worden over het algemeen zelfstandig uitgevoerd door onderhoudstechnici waarbij controle plaatsvindt door toezichthoudend personeel. Incidenteel is hierbij communicatie nodig met de operator.

De volgende communicatielijnen zijn bij beheer en onderhoud te onderscheiden:

- a) Visuele informatie naar de operator:
Hierbij is een CCTV-systeem van primair belang. Het systeem dient in staat te zijn door middel van een flexibele beeldkeuze een afdoende oordeel van de situatie te verkrijgen.
- b) Communicatie tussen de operator, wegbeheerder, toezichthouders en onderhoudstechnici:
Bij het uitvoeren van werkzaamheden in de tunnelbuizen, toeritten en langs het tunneltracé wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van communicatie tussen operator, wegbeheerder en toezichthouders. Ongeacht de aard van het object, bediend, bewaakt of onbewaakt, wordt hierbij gebruik gemaakt van mobilfoon- en portofoonverbindingen. Gesloten constructies van enige lengte vormen een afscherming voor een deel van de ether, hetgeen een HF-systeem noodzakelijk maakt.
Indien een [noodtelefoon](#)systeem aanwezig is, biedt dit ook de mogelijkheid voor direct contact met de operator.
- c) Communicatie tussen onderhoudstechnici, toezichthouders en derden:
Bij werkzaamheden in de gebouwen vindt hoofdzakelijk communicatie plaats tussen onderhoudstechnici, toezichthouders en derden zoals leveranciers en aannemers. Hiervoor is een objectgebonden telefoonsysteem noodzakelijk met aansluiting op het openbaar telefoonnet. Gelet op het gebruik van mobiele telefoon, zullen aanvullende voorzieningen in de gebouwen en andere technische ruimten aangebracht moeten worden voor een volledige dekking.
Voor incidentele communicatie tussen onderhoudstechnici en operator dient eveneens het telefoonsysteem.

Ongeval

Hierbij onderscheiden zich twee mogelijkheden: ongeval in een bediende tunnel danwel ongeval in een (on)bewaakte tunnel.

Een ongevalsituatie in een tunnel, al of niet gepaard gaand met brand, kenmerkt zich door een complex van betrokkenen en activiteiten. De eerst betrokkenen bij het melden van het ongeval, het verloop van de coördinatie, de hulpverlening en de eventuele brandbestrijding zijn: de

weggebruikers, de operator ([wegverkeersleider](#)) of centralist en de hulpdiensten. In een later stadium treedt de beheerder op bij het vrijmaken en het weer in bedrijf nemen van de tunnel.

In de eerste fase na het ontstaan van het ongeval zal melding en alarmering plaatsvinden.

In een bediende tunnel en bij aanwezigheid van een SDS/SOS zal indirecte melding aan de operator plaatsvinden door middel van de presentatie van camerabeelden. Indien geen SDS/SOS aanwezig is moet alarmering aan de operator gewaarborgd worden door middel van een [noodtelefoon](#)systeem. Een melding via het [noodtelefoon](#)systeem kan ook aanvullend zijn op het SDS/SOS, indien beide systemen aanwezig zijn.

De operator zal zich door beeldwaarneming op de hoogte stellen van de situatie. Direct daarna alarmeert de operator de brandweer, die coördinerend is naar de politie en ambulancedienst.

In een (on)bewaakte tunnel zal de melding plaatsvinden door de weggebruiker aan één of meerdere alarmcentrales zoals ANWB of 112. Deze alarmeert de brandweer, politie en ambulancedienst.

In de tweede fase zal zo mogelijk instructie van de weggebruiker plaatsvinden.

Bij ongevallen gepaard gaande met brand, explosiegevaar of het vrijkomen van giftige stoffen schatten veel weggebruikers het gevaar van de situatie te laag in. Deels uit nieuwsgierigheid en deels om eventuele slachtoffers te helpen zullen weggebruikers in de buurt van het ongeval blijven. Weggebruikers die op zodanige afstand van het ongeval staan, dat zij de situatie niet als ongeval herkennen, zullen in hun auto blijven wachten. Weer anderen menen dat hun auto een veilige schuilplaats is. Dit leidt ertoe dat een groot deel van de weggebruikers niet tijdig op eigen initiatief zal vluchten.

Uit onderzoeken³² blijkt dat men weggebruikers alleen tijdig tot actie (vluchten) kan aanzetten door middel van duidelijke en instructieve boodschappen, al dan niet gecombineerd met visuele hulpmiddelen.

In een bediende tunnel en bij aanwezigheid van een luidsprekersysteem zal de operator de weggebruikers toespreken met vluchtinstructies, gericht zowel op personen in het voertuig als op personen buiten het voertuig.

In een (on)bewaakte tunnel zijn de weggebruikers op zich zelf aangewezen.

In de derde fase zullen de hulpdiensten optreden met het oog op hulpverlening en brandbestrijding. Hieraan vooraf gaat een verkenning van de situatie ter plaatse.

In een bediende tunnel wordt tot nu toe gebruik gemaakt van de waarneming van de operator en voor zover mogelijk de eigen waarneming.

In een (on)bewaakte tunnel zal de brandweer volledig op basis van de eigen waarneming opereren. Tijdens de verkenning en het verdere optreden van de hulpdiensten wordt gecommuniceerd met de respectievelijke alarmcentrales en tussen personen onderling door middel van portofoon en mobilofoon.

Ook zal in geval van een bediende tunnel overleg zijn met de operator voor bijvoorbeeld het bedienen van tunneltechnische installaties.

Bij een (on)bewaakte tunnel heeft de brandweer de mogelijkheid om zelfstandig de nodige tunneltechnische installaties ter plaatse in de gebouwen te bedienen.

Ook voor de communicatielijnen bij ongevallen geldt het onderscheid tussen een bediende en (on)bewaakte tunnel.

a) Visuele informatie naar de operator (bediende tunnel):

In een bediende tunnel is een CCTV-systeem van primair belang. Het systeem dient in staat te zijn door middel van een flexibele beeldkeuze een afdoende oordeel van de situatie te verkrijgen. Rookontwikkeling is voor camera's een beperkende factor waar niets aan te doen is. Vrachtwagens kunnen voor vast opgestelde camera's een hinderlijk obstakel vormen. [Toepassing van draai- en zoombare camera's verdient daarom de voorkeur.](#)

b) Visuele informatie naar de hulpdiensten (bediende tunnel):

Indien de tunnel beschikt over een CCTV-systeem kan dit tevens gebruikt worden voor het bepalen van het aanvalsplan van de brandweer. Daarbij is het van belang om de beschikking te krijgen over actuele en historische camerabeelden van de situatie in de tunnel ter plaatse van de calamiteit.

c) Instructie naar weggebruikers (bediende tunnel):

Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen personen in en buiten het voertuig.

- Personen in het voertuig:

³² Zie literatuuronderzoek van de Rijksuniversiteit Groningen 1999

Evenals bij de situatie 'File' is toepassing van het HF-systeem het meest effectief bij gebruik van RDS-codering. In plaats van ingesproken mededelingen door de operator ([wegverkeersleider](#)), is het beter voor deze situatie gebruik te maken van vooraf ingesproken boodschappen in meerdere talen. Het activeren dient met een eenvoudige handeling door de operator te geschieden.

- Personen buiten het voertuig: Hiervoor is een luidsprekersysteem bruikbaar. Evenals bij het gebruik van het HF-systeem is het beter voor deze situatie gebruik te maken van vooraf ingesproken boodschappen in meerdere talen. Het activeren dient met een eenvoudige handeling door de operator te geschieden.
Het toepassen van een luidsprekersysteem zal altijd in combinatie moeten zijn met een CCTV-systeem vanwege de doelgerichtheid van de mededelingen.
- d) Communicatie tussen weggebruikers en de operator (bediende tunnel):
De meest snelle en directe verbindingsmogelijkheid tussen de weggebruiker en de operator is een [noodtelefoon](#)systeem. Ervaringen bij ongevallen met brand in binnen- en buitenland bevestigen een doelmatig gebruik ervan.
- e) Communicatie tussen medewerkers van de hulpdiensten (bediende en (on)bewaakte tunnels):
De openbare hulpdiensten (brandweer, politie en ambulancedienst) maken gebruik van eigen mobilofoon- en portofoonverbindingen, die functioneren onder individuele communicatienetten. [Deze netten zijn/worden ondergebracht in een landelijk C2000-systeem](#). Gesloten constructies van enige lengte vormen een afscherming voor een deel van de ether, hetgeen een HF-systeem noodzakelijk maakt.
- f) Communicatie tussen hulpdiensten en de operator (bediende tunnel):
De operator beschikt over een directe telefoonverbinding met de meldkamer van de brandweer. Om organisatorische redenen is besloten dat de communicatie van de hulpdiensten via het HF-systeem van de tunnel door de operator slechts kan worden uitgeluisterd. Op deze wijze is hij op de hoogte van de activiteiten van de hulpdiensten. Voor rechtstreekse communicatie vanuit de tunnel met de operator kan de hulpdienst gebruik maken van het [noodtelefoon](#)systeem. Het is de bedoeling bij toepassing van de onder b) genoemde voorziening voor beeldpresentatie, die tevens te voorzien van een rechtstreekse telefoonverbinding. Dit maakt het mogelijk op een snelle manier schakelhandelingen op verzoek van de brandweer te doen uitvoeren.
- g) Communicatie tussen wegbeheerder en de operator (bediende tunnel):
De operator beschikt over een basisstation voor mobilofoon- en portofoonverbindingen. De dekking in de tunnel wordt gewaarborgd door het HF-systeem.

14 Detectie van gevaarlijke situaties

14.1 Algemeen

Detectie is een veelomvattend onderwerp. Het is van belang om bij detectie onderscheid te maken tussen verschijnselen die kunnen leiden tot situaties die gevaar op kunnen leveren voor de weggebruikers en hulpdiensten enerzijds en verschijnselen van (verkeer)technische aard anderzijds. Tot verschijnselen van (verkeer)technische aard worden gerekend: filevorming, te hoge voertuigen, brand en inbraak in technische ruimten en storingen.

Het navolgende heeft alleen betrekking op detectie van gevaarlijke situaties en beperkt zich in principe tot geheel of gedeeltelijk gesloten constructies.

Detectie dient voor het tijdig en betrouwbaar signaleren van risicovolle afwijkingen. Een afwijking van de normale verkeerssituatie, zoals stilstand door pech of ongeval, kan gepaard gaan met brand, het vrijkomen van giftige gassen of dampen en de kans op explosie. Ook kan zichtbelemmering door uitlaatgasemissie aanleiding zijn tot afwijkend rijgedrag met een ongeval tot gevolg.

Het vroegtijdig onderkennen van de omstandigheden die aanleiding kunnen zijn tot het ontstaan van gevaarlijke situaties voor weggebruikers en hulpdiensten of die kunnen leiden tot escalatie biedt de gelegenheid tot het snel en adequaat nemen van preventieve of corrigerende maatregelen.

Een afdoend middel is het gebruik van detectiesystemen toegespitst op het meten en signaleren van een aantal specifieke parameters. Detectiesystemen zijn alleen zinvol als er ook op gereageerd kan worden, hetzij door het inschakelen van automatisch werkende correctieve systemen (bijvoorbeeld ventilatie), hetzij door het nemen van operationele maatregelen door een hulpdienst of tunneloperator ([wegverkeersleider](#)), indien sprake is van een bewaakt en bediend object.

14.2 Toepassingsmogelijkheden

De volgende verschijnselen vormen in een tunnel een potentieel risico:

- slechte zichtcondities;
- hoge concentraties uitlaatgassen;
- pech en ongeval;
- brand;
- explosiegevaar;
- giftige gassen of dampen.

Op elk van deze verschijnselen wordt nader ingegaan en tevens worden de detectiemogelijkheden nader toegelicht.

Slechte zichtcondities

Een te hoge concentratie aan dieselrook, stof of mist kan de zichtcondities beperken. Hierdoor kan het zicht op de tunnelingang en het zicht in de tunnel zodanig worden beperkt dat de oriëntatie van de weggebruikers in gevaar komt, hetgeen kan leiden tot onverwachte rem- en/of stuurhandelingen.

Het detecteren van slechte zichtcondities kan geschieden met een lichtdoorgangsmeting of zichtmeting. De zichtmeetwaarde wordt uitgedrukt in de lichtreductiecoëfficiënt k . Het systeem wordt in buitenlandse, meest lange, tunnels toegepast. Het systeem meet over een afstand van circa 10m, desgewenst diagonaal over de tunnelbreedte.

Indien sprake is van éénrichtingsverkeer zal de verontreiniging zich over het algemeen in de rijrichting opbouwen. Bij tegenverkeer zal sprake zijn van een meer homogene opbouw. Het verloop van de opbouw is mede afhankelijk van de tunnellenge, eventuele hellingen, verkeersdichtheid en windinvloeden.

Aangezien min of meer sprake is van een puntmeting, zullen aantal en plaats van de systemen moeten worden gebaseerd op de wijze waarop de luchtverontreiniging zich opbouwt. Het ligt voor de hand de meting te beperken tot plaatsen met de hoogste concentraties.

Berekeningen (zie paragraaf 14.3) tonen aan dat, gegeven de toekomstige verkeersemissies, een zichtmeting wellicht nodig zal zijn in tunnels langer dan 10km.

Hoge concentraties uitlaatgassen

Uitlaatgassen van verbrandingsmotoren bevatten voor de gezondheid schadelijke bestanddelen. Gezien de ontwikkelingen bij de auto-industrie is de NO₂ -waarde, als onderdeel van de NO_x -concentratie van uitlaatgassen, maatgevend geworden. Het meten van CO is vanwege de zeer lage concentraties in uitlaatgassen niet langer zinvol.

NO₂ -detectie wordt in de Nederlandse tunnels toegepast voor het bewaken van te hoge concentraties en het zorgen voor luchtverversing met behulp van het tunnelventilatiesysteem. Het doel hiervan is het voorkomen van vergiftiging bij personen die langere tijd verblijven in een tunnel met een verhoogde NO₂ -concentratie. Deze verhoging kan ontstaan door stagnerend verkeer.

Tegenwoordig zijn betrouwbare systemen beschikbaar voor het direct meten van de NO₂ concentratie in de lucht (ppm). Voorheen was het alleen mogelijk om de NO₂-concentratie indirect te bepalen aan de hand van de zichtmeetwaarde (zie paragraaf 14.3 van deze bijlage), aangezien er sprake is van een zekere correlatie tussen de zichtmeetwaarde k en de concentratie NO₂. Deze indirecte bepaling is echter veel onnauwkeuriger dan een directe meting, die derhalve de voorkeur verdient. Alleen tunnels die zijn voorzien van een ventilatiesysteem worden voorzien van NO₂ -detectie.

De detectiepunten van het systeem bevinden zich tegen het tunneldak op een onderlinge afstand van maximaal 500m.

Pech en ongeval

Zowel bij pech als bij een ongeval kan (een deel van) het verkeer in de tunnel tot stilstand komen, waaronder in ieder geval het (de) betrokken voertuig(en).

Afwijkend voertuiggedrag moet bij voorkeur zo snel mogelijk gedetecteerd worden om de kans op (vervolg)ongevallen en escalatie te verkleinen. Een snelle en directe methode is het automatische detecteren van langzaam rijdende en stilstaande voertuigen met het in hoofdstuk 10 beschreven snelheidsdiscriminatie en snelheidsonderschrijdingssysteem SDS/SOS. Bij aanwezigheid van een dergelijk systeem wordt de tunneloperator ([wegverkeersleider](#)) direct gealarmeerd en wordt het betreffende camerabeeld gepresenteerd. Op deze wijze wordt de aandacht van de tunneloperator al in een vroeg stadium op de situatie gericht, zodat snel handelen mogelijk is.

Aangezien het SDS/SOS zeer frequent wordt gebruikt en daardoor tevens wordt getest heeft dit systeem een hoge gebruikswaarde met een sterke preventieve werking.

Indien pech en ongeval gepaard gaan met brand kan de rook veelal waargenomen worden via de camerabeelden. Het SDS/SOS kan in voornoemde situaties tevens beschouwd worden als een systeem voor het onderkennen van brand.

Een (veel) tragere en indirecte methode voor het signaleren van brand is de melding van de weggebruiker via de [noodtelefoon](#) in een hulppost of de mobiele telefoon. Het openen van een hulppost resulteert in een alarmmelding en camerabeeld naar de operator.

Het gebruik van in de hulpposten aangebrachte blusvoorzieningen wordt eveneens gedetecteerd, waardoor het voor de tunneloperator mogelijk is de actie van de weggebruiker te beoordelen.

Indien bij filevorming het verkeer reeds tot stilstand is gekomen en daarna brand uitbreekt, levert het SDS/SOS geen bijdrage meer.

Brand

Brand heeft in principe tot gevolg dat rookgassen en warmte vrijkomen. Rookgassen vormen zich meestal in een vroegtijdig stadium van de brandontwikkeling en hebben een van lucht afwijkende lichtabsorptie en chemische samenstelling. Zodra een brand zich verder heeft ontwikkeld ontstaat warmte in de vorm van convectie en straling. Dit maakt het mogelijk brand op de volgende manieren te detecteren:

- door het meten van lichtdoorgang door middel van zichtmeting;
- door het meten van temperatuur(veranderingen);
- door het meten van chemische bestanddelen;
- door het meten van warmtestraling.

Een probleem voor het detecteren van brand vormt de totale responsetijd (de tijdsduur tussen het ontstaan van de brand en het aanspreken van het detectiesysteem met bijbehorende melding aan de

tunneloperator [c.q. wegverkeersleider](#)). De natuurlijke luchtstroom in de tunnelbuis, veroorzaakt door rijdend verkeer en atmosferische omstandigheden, veroorzaakt een hoge mate van onzekerheid voor de responsetijd. Daarnaast spelen de afstand tussen de brandhaard en het detectiesysteem en de gevoeligheid van de sensor en het meetsysteem (systeemresponse) een belangrijke rol. Gelet op de beschikbare tijd tussen het uitbreken van een brand en het geven van vluchtinstructies door de tunneloperator, is een zo kort mogelijke totale responsetijd van essentieel belang.

Systemen voor het detecteren van brand

Zichtmeting:

Gelet op het feit dat het hier een puntmeting betreft, moet rekening worden gehouden met een zekere tijdvertraging veroorzaakt door de afstand tussen de brand en het systeem.

De onderlinge afstand van de meetpunten dient zodanig te zijn dat de totale responsetijd beperkt blijft. Uitgaande van een horizontale luchtstroom van 4m/s en een onderlinge afstand van 500m is een totale responsetijd (inclusief systeemresponse) van enkele minuten haalbaar. Een onzekerheid vormt het feit dat de horizontale luchtstroom afhankelijk is van de verkeersdichtheid en atmosferische omstandigheden.

Voor een exacte bepaling van de locatie van de brand is de zichtmeting echter niet geschikt. Zichtmeting lijkt in potentie wel geschikt om te dienen als brandmeldsysteem naar de brandweer. Onderzoek zal nog plaatsvinden naar de betrouwbaarheid in verband met de kans op valse meldingen.

Camerabeeldanalyse:

Er zijn ontwikkelingen gaande waarbij camerabeelden worden gebruikt voor het signaleren van rook en warmte. In Oostenrijk wordt een dergelijk systeem beproefd. Er wordt gebruik gemaakt van camerabeelden voor verkeersobservatie, zodat ook de locatie van de brand wordt bepaald. Gelet op de groeiende mogelijkheden op het gebied van camera's en imageprocessing zou dit een goede technologie kunnen worden om in een zeer vroeg stadium een brand te detecteren³³. Als brandmeldsysteem naar de brandweer is de camerabeeldanalyse vooralsnog niet betrouwbaar genoeg.

Temperatuurmeting:

In principe zijn hiervoor twee mogelijkheden: een puntmeting op een zekere onderlinge afstand en een lijnmeting over een grote lengte. Het nadeel van de puntmeting is de onzekere tijdvertraging.

Een meer betrouwbare optie is de lijnmeting, waarvoor de volgende varianten bestaan:

- Glasvezelkabel: heeft een goede systeemresponse; geeft een langdurig functiebehoud bij hoge temperaturen. De wijze waarop de beschermende mantel van de glasvezel is samengesteld is van belang voor het bepalen van de locatie van de brand³⁴.
- Detectorkabel: heeft een minder goede systeemresponse en is minder bestand tegen hoge temperaturen.
- Gas- of vloeistofgevulde buizen: hebben een slechte systeemresponse en kunnen geen temperatuurveranderingen meten.

Het systeem op basis van glasvezeltechniek heeft zich voor industriële toepassingen reeds volop bewezen en wordt inmiddels in het buitenland ook in auto- en metrotunnels toegepast. Het is een product dat een interessante ontwikkeling doormaakt.

Meting van chemische bestanddelen:

De overwegend in de utiliteitsbouw gebruikte meldsystemen zijn in tunnels niet toepasbaar vanwege de gevoeligheid voor vervuiling in het tunnelmilieu. Ook kunnen veel valse meldingen worden verwacht omdat verbrandingsproducten in uitlaatgassen chemisch sterk overeenkomen met bestanddelen in rook ten gevolge van brand.

Een andere methode is CO-detectie, die echter alleen kan worden uitgevoerd als puntmeting. Ook hier geldt het nadeel van de grote tijdvertraging, veroorzaakt door de puntmeting. De detectiepunten moeten zich aan het tunneldak bevinden op een onderlinge afstand van maximaal 500m. Ook zal een dekking in de breedte moeten plaatsvinden waardoor hoge kosten zullen ontstaan door het toepassen van vele meetpunten. Een nadeel is ook de onderhoudsgevoeligheid.

Meting van warmtestraling:

³³ Onderzoek hiernaar is gaande.

³⁴ Onderzoek hiernaar is gaande.

Dergelijke meetsystemen worden onder andere gebruikt in Japan en Frankrijk. Het doel is om sterke warmtebronnen op te sporen, waarbij men zowel overschrijding van grenswaarden als snelle veranderingen in de tijd meet. Door een goede plaatsing kan de gehele tunnallengte worden bestreken. De werking kan worden belemmerd wanneer voertuigen het 'zicht' op de brandhaard wegnemen. Het duurt dan enige tijd voordat niet de brand, maar de hete rook wordt waargenomen. Zichtbelemmering kan al snel optreden in de relatief lage Nederlandse tunnels.

Ervaringen met detectiesystemen bij brand

Mont Blanc tunnel:

Op basis van de rapportage over de brand in de Mont Blanc tunnel in 1999 kon het volgende worden vastgesteld:

De brand werd als eerste gemeld door middel van een zichtmeter, waar de brandende vrachtwagen langsreed. Op dat moment was de brand nog klein; de zichtmeter gaf geen brandalarm, maar wel een algemeen alarm aan de tunneloperator ([wegverkeersleider](#)).

Circa 1 minuut na het tot stilstand komen van de brandende vrachtwagen werd de brand gemeld met behulp van de [noodtelefoon](#). Op dat moment werd de brand snel groter.

Na circa 20 minuten sprak de temperatuurmeter (puntmeting) aan de Franse zijde aan; de temperatuurmeter aan de Italiaanse zijde was buiten gebruik. Op basis van de rookverspreidingsdiagrammen kon worden vastgesteld dat de 'Franse' temperatuurmeter circa 10-15 minuten in de rook had gestaan voordat deze aansprak.

Tauerntunnel:

Op basis van de rapportage van de brand in de Tauerntunnel in 1999 kon worden vastgesteld dat:

- De brand zeer snel werd gemeld met behulp van de [noodtelefoon](#).
- Vrijwel tegelijkertijd een zichtmeter aansprak.

Genoemde ervaringen geven aan dat communicatiemiddelen en zichtmetingen onder genoemde omstandigheden sneller waren dan conventionele, trage temperatuurmeetsystemen.

Conclusie

Een systeem voor branddetectie is alleen zinvol als het snel en betrouwbaar werkt. De totale responsetijd vereist een systeem dat zo dicht mogelijk bij de brand is geplaatst, dat snel reageert en niet beïnvloed wordt door obstakels en het tunnelmilieu.

Gelet op de genoemde onzekerheden en het kostenaspect vormen systemen voor meting van chemische bestanddelen en warmtestraling geen middelen voor het snel en betrouwbaar detecteren van brand.

Een vroegtijdige indicatie van brand is mogelijk met een zichtmeting en wellicht op termijn met een camerabeeldanalyse.

Voor automatische brandmelding naar de brandweer voldoen de temperatuurmetingen in de vorm van een lijnmeting. Potentieel voldoet ook een zichtmeting.

Het systeem dat de beste mogelijkheden biedt voor brandmelding **en** langdurige observatie van de brand is de lijnmeting op basis van glasvezeltechniek³⁵.

Explosiegevaar

Explosiegevaar in relatie tot de weggebruiker:

Explosies kunnen optreden als gassen of dampen in voldoende mate vrijkomen, er een gas-lucht mengsel ontstaat tussen de explosiegrenzen en er een ontstekingsbron is. Het vrijkomen van gassen of dampen is nagenoeg altijd het gevolg van een ongeval. Daarbij zijn altijd ontstekingsbronnen, zoals een hete motor, kortsluiting of vuur, dicht in de buurt. Explosies kunnen dus al zeer snel na het ongeval optreden, zodat er niet of nauwelijks tijd voor zelfredzaamheid is. Ook kunnen explosies vertraagd optreden, hierbij kan een situatie ontstaan waarbij de aanwezigen denken in een veilige situatie te zijn en dan alsnog worden verrast.

Aangezien nooit is te voorspellen op welke plaats explosieve gassen of dampen vrijkomen en er veelal eerder ontsteking plaatsvindt dan de waarneming ervan door een detectiesysteem heeft het meten van de aanwezigheid van zulke gassen of dampen geen zin.

Geconcludeerd wordt dat het automatisch detecteren van explosiegevaarlijke situaties met het oog op zelfredzaamheid van weggebruikers niet zinvol is.

³⁵ Nader onderzoek moet aantonen of het systeem daadwerkelijk snel en betrouwbaar detecteert alsmede voldoende selectief is voor valse meldingen.

Een betere oplossing is om tunnels te voorzien van een SDS/SOS en gebruik te maken van camera's en luidsprekers. Hierdoor wordt de tunneloperator ([wegverkeersleider](#)) in de gelegenheid gesteld zo snel mogelijk een afwijkende situatie vast te stellen en zo nodig na een ongeval vluchtinstructies aan de weggebruikers te geven.

Explosiegevaar in relatie tot de hulpdienst:

In tunnels waar vervoer van koolwaterstoffen (niet LPG) is toegestaan zou door lekkende brandstoffen een explosieve situatie kunnen ontstaan. Omdat de kans op ontbranding van dergelijke lekkende vloeistoffen groter is dan de kans op exploderen wordt hiervoor geen gasdetectie door middel van stationaire systemen toegepast.

In tunnels waar vervoer van LPG is toegestaan zou door beschadiging van de tankauto bij een aanrijding een vrije uitstroming van LPG kunnen ontstaan.

Gezien de te verwachten aanrijdtijd van de brandweer is de kans groot dat, door de aanwezigheid van potentiële ontstekingsbronnen, al een explosieve situatie is ontstaan voordat de brandweer aanwezig is.

Stationaire systemen voor gasdetectie om de explosiegrens van vrij uitstromende LPG te detecteren worden daarom als zinloos beschouwd.

Voor het geval een LPG-tankwagen niet direct bij een aanrijding betrokken is, maar in de hitte van een nabije brand staat zal, na opwarming tot 400 °C, verweking van de tank plaatsvinden waarna de tank bij 600 à 700 °C bezwijkt. Daarna zal de uitstroming van LPG voor een BLEVE zorgen.

Het affakkelen via het overstortventiel op de Nederlandse LPG-tankwagens heeft hierop weinig invloed. Buitenlandse LPG-tankwagens zijn zelfs in het geheel niet voorzien van een overstortventiel. De gevoelige zone van de tank voor het opwarmen is het gasgevulde deel. Daardoor bereikt een gedeeltelijk gevulde tank sneller de kritieke grens dan een volledig gevulde.

Er bestaat op dit moment geen duidelijkheid over het al dan niet optreden van de brandweer bij een incident met LPG.

Indien de brandweer niet optreedt wordt het plaatsen van stationaire systemen voor gasdetectie om de explosiegrens van vrij uitstromende LPG te detecteren als zinloos beschouwd.

Indien de brandweer wel optreedt wordt ervan uitgegaan dat bij aanwezigheid van een ventilatiesysteem dit in bedrijf zal zijn. Hierdoor zal verdunning van gassen optreden en zullen de gassen van de optredende brandweer af worden gedreven, echter het blijft een gevaarlijke situatie. Bij ontbreken van een ventilatiesysteem kan een situatie ontstaan die voor de brandweer een verhoogd risico met zich meebrengt.

Mogelijk kan een detectiesysteem, mits strategisch geplaatst in de tunnelbuis, een tijdige alarmering aan de brandweer bieden.

Giftige gassen of dampen

Het navolgende betreft niet de gassen zoals CO en NO₂, die vanwege verbrandingsmotoren ontstaan.

Transport van giftige gassen komt regelmatig voor zodat de mogelijkheid van het lek raken van een tank niet mag worden uitgesloten. Vrijkomende gassen kunnen vanwege hun giftigheid een gevaar voor de mens opleveren.

Daar waar wordt gesproken over gas wordt ook damp bedoeld.

Giftige gassen in relatie tot de constructie:

Afhankelijk van de constructie zullen gassen zich, tengevolge van de soortelijke massa, verschillend gedragen.

In open constructies kunnen gassen lichter dan lucht via hoog geplaatste openingen ontwijken en vormen aldus geen gevaar voor weggebruikers en hulpdiensten. Gassen even zwaar of zwaarder dan lucht vormen wel een gevaar. Opgemerkt wordt dat veel gassen worden vervoerd in vloeibare vorm, zodat bij uitstroming het gas zich in eerste instantie als 'zwaar' kan gedragen.

In gesloten constructies zoals tunnels vormen zowel lichte als zware gassen een gevaar. Bij lichte gassen is het de vraag of het gas als geheel in een dunne laag tegen het plafond hangt of dat de laag zo dik is dat er geen sprake meer is van een overleefbare atmosfeer.

Gassen zwaarder dan lucht verdrijven direct de aanwezige 'buitenlucht' en zijn daardoor gevaarlijker dan gassen lichter dan lucht.

Giftige gassen in relatie tot weggebruiker:

Giftige gassen komen in principe alleen vrij als gevolg van een ongeval waarbij schade aan de verpakking (tank, fles) is ontstaan. Men mag er niet van uitgaan dat weggebruikers de aanwezigheid van gassen opmerken omdat gassen kleurloos en meestal geurloos zijn. Als een gas al kleur zou hebben dan wordt het toch niet waargenomen vanwege de lichtomstandigheden in een tunnel. De meeste weggebruikers kunnen geen onderscheid maken tussen giftige en niet giftige gassen. Een ander gevaar is het ophopen van zware gassen in de longen, tengevolge van inademing, zodat verstikking kan optreden.

Het permanent meten van een breed scala aan giftige gassen is complex en kostbaar. Het operationeel houden van een dergelijk systeem in een vervuilde verkeerstunnel is zeer twijfelachtig. Meetwaarden zullen met enige traagheid worden weergegeven, terwijl de weggebruiker juist baat heeft bij een snelle melding.

Een betere oplossing is om tunnels, waar transport van gassen wordt toegelaten, te voorzien van een SDS/SOS en gebruik te maken van camera's en luidsprekers. Hierdoor is de tunneloperator ([wegverkeersleider](#)) in de gelegenheid zo snel mogelijk een afwijkende situatie vast te stellen en zonodig vluchtinstructies aan de weggebruikers te geven en een eventueel aanwezig ventilatiesysteem te activeren.

Giftige gassen in relatie tot de hulpdienst:

Voor brandweerlieden levert een systeem dat de aanwezigheid van giftige gassen aangeeft zeker een meerwaarde op. Dergelijke systemen worden geïnstalleerd in bedrijfsgebouwen waar giftige stoffen worden gebruikt. Uit de brandweerpraktijk blijkt dat het aanvalsplan mede wordt gebaseerd op metingen afkomstig van een dergelijk meetsysteem.

In het kader van bedrijfszekerheid is het voor tunnels echter te verkiezen om draagbare gasdetectiesystemen te gebruiken en op die manier vast te stellen of de werksituatie veilig is. Een vast in de tunnel aangebracht systeem vervuult snel vanwege het verkeer, wordt zelden of nooit gebruikt en is daardoor onbetrouwbaar. Draagbare gasdetectiesystemen zijn zeer robuust, worden regelmatig gebruikt en zijn gemakkelijk te testen.

Geconcludeerd wordt dat voor de brandweer draagbare gasdetectiesystemen verreweg de voorkeur verdienen.

Dit stemt overeen met de gangbare praktijk op bedrijventerreinen en bij industriële productie-installaties.

14.3 Zichtvermindering door uitlaatgasconcentratie

Berekeningsmethoden

In [1] wordt op bladzijde 11 een methode gegeven waarmee de zichtconditie kan worden berekend: Een lichtstraal die door rokerige lucht gaat verliest intensiteit. Dit wordt beschreven door:

$$E = E_0 * e^{-KL}$$

met: E_0 = lichtintensiteit bij aanvang,
 E = lichtintensiteit die overblijft,
 K = verliescoëfficiënt per meter,
 L = lengte waarover de lichtafname wordt gemeten in meter.

In praktijk wordt vrijwel altijd de factor K als criterium gebruikt:

$$K = -(1/L) * \ln (E/E_0)$$

[1] geeft de volgende grenswaarden:

- $K = 0,005 /m$: helder (zicht enkele honderden meters)
- $K = 0,007 /m$: beetje rokerig (zicht goed tot op circa 200m bij goede tunnelverlichting)
- $K = 0,009 /m$: mistige impressie (zicht goed tot op 100m bij goede tunnelverlichting)
- $K = 0,012 /m$: slecht zicht, absolute grenswaarde

In [2] wordt het verband gelegd met uitlaatgasproductie:

De factor K gedraagt zich als een rookconcentratie: hoe groter de concentratie hoe minder zicht. Er blijkt een empirische verhouding tussen de factor K en de deeltjesconcentratie te zijn:

$$K \approx 7,5 C_d.$$

$$\text{Hierin is: } C_d = L_t * P_d / Q_t$$

met:: C_d = deeltjesconcentratie in gr/m^3 ,
 P_d = stof- en roetproductie door het verkeer in gr/s per km,
 Q_t = de luchtstroming (debiet) door de tunnel in m^3/s .
 L_t = lengte van de tunnel in km.

Overigens geeft [2] ook grenswaarden voor K, maar die zijn gebaseerd op een PIARC rapport uit 1979. Deze waarden lijken erg laag zeker als rekening wordt gehouden met de lichtniveaus die in Nederlandse tunnels worden aanhouden.

In de onderstaande berekeningen zijn de grenswaarden van [1] gehanteerd.

Uitgangspunten

Voor de stof en roetproductie zijn de 'fijn stof' emissiegegevens van TNO Wegtransport gebruikt [4], zoals die eind 1998 zijn geactualiseerd. Deze gegevens zijn ook gebruikt voor de Roertunnel en tunnel Nijverdal, er zijn op dit moment, ook internationaal, geen betere gegevens beschikbaar; PIARC/RABT werkt aan een nieuwe dataset.

Aangezien auto's steeds schoner worden, wordt uitgegaan van de emissiegegevens voor 2010.

De hoeveelheid vrachtverkeer heeft een aanzienlijke invloed op de deeltjesemissie. Er is gerekend met 10%, 15% en 25% vrachtverkeer.

De verkeersintensiteit per rijstrook is gesteld op 80% van de maximale verkeersintensiteit van een rijstrook bij 100 km/uur. De reden voor 80% is dat, als de maximale intensiteit wordt genaderd, de verkeerssnelheid zal afnemen, zodat ook de emissieproductie afneemt. Voor zichtmeting in verband met emissie zijn juist de piekwaarden van belang.

Er is ook gerekend voor een situatie met fileverkeer, waarbij een verkeerssnelheid van 20 km/uur is aangehouden.

De luchtstroming in een tunnel is bij maximale verkeersintensiteit en een rijnsnelheid van 100 - 120 km/uur meestal in de orde grootte 4-6 m/s, waarbij tot circa 2km de lengte van de tunnel nauwelijks een rol speelt. Wind heeft natuurlijk wel invloed maar is in deze berekeningen niet opgenomen. Er is gekozen voor 5 m/s.

Bij fileverkeer heeft het verkeer een slechts geringe aandrijvende kracht op de tunnellucht: er is gerekend met 2 m/s luchtstroming.

Aangezien het doorsnede-oppervlak van een tunnel samenhangt met het aantal rijstroken, terwijl ook de emissieproductie samenhangt met het aantal rijstroken is alleen een 2-strooks tunnelbuis beschouwd. De situatie in een 3-strooks tunnelbuis is nagenoeg identiek (de aanwezigheid van een vluchtstrook is natuurlijk wel een andere situatie, maar in dat geval is de luchtstromingssnelheid lager, zodat de uitkomst naar schatting niet veel anders zal zijn).

Van een 2-strooks tunnelbuis is de doorsnede circa 50m^2 , zodat voor het debiet $Q_t = 250 \text{ m}^3/\text{s}$ respectievelijk $Q_{t,\text{file}} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ aangehouden is.

Er moet worden opgemerkt dat ten gevolge van de langsstroming de concentratie naar het einde van de tunnel toe steeds hoger wordt en, als de invloed van de helling wordt verwaarloosd, lineair toeneemt. Als er hellingen aanwezig zijn zal de stofemissie op neergaande hellingen aanzienlijk lager zijn dan op horizontale weggedelen terwijl de emissie op opgaande hellingen hoger is. Als rekening wordt gehouden met een even grote neergaande als stijgende helling kan voor de berekeningen worden uitgegaan van een horizontale tunnel. Het zicht is mede afhankelijk van het verlichtingsniveau, de berekeningen zijn gebaseerd op circa 5 cd/m^2 wegdeklluminantie.

Uitgerekend is de lengte waarbij de grens $K = 0,005/\text{m}$ wordt overschreden, dat wil zeggen de grenswaarde waarbij zichtvermindering voor bestuurders waarneembaar wordt maar nog niet hinderlijk is. Tevens is uitgerekend de lengte voor $K = 0,007/\text{m}$.

De gebruikte formule is $L_t = K * Q_t / (7,5 * P_d)$.

Resultaten berekeningen (2-strooks tunnelbuis en rijstrookbezetting van 80%)

Tabel 14.1: Resultaat voor snelverkeer (100 –120 km/uur):

	10% vrachtverkeer		15% vrachtverkeer		25% vrachtverkeer	
Emissie in gr/km,uur,rijstrook bij max. rijstrookbezetting	29		35		47	
Factor voor 80% rijstrook-bezetting en 2 rijstroken	1,6		1,6		1,6	
Emissie P_d in gr/s per km	0,0129		0,0156		0,0209	
Luchtdebiet Q_t in m ³ /s	250		250		250	
Factor K	0,0050	0,0070	0,0050	0,0070	0,0050	0,0070
Lengte in km	12,9	18,1	10,7	15	8	11,2

Tabel 14.2: Resultaat voor fileverkeer (20 km/uur):

	10% vrachtverkeer		15% vrachtverkeer		25% vrachtverkeer	
Emissie in gr/km,uur,rijstrook bij max. rijstrookbezetting	21		27		38	
Factor voor 80% rijstrook-bezetting en 2 rijstroken	1,6		1,6		1,6	
Emissie P_d in gr/s per km	0,0093		0,012		0,0169	
Luchtdebiet Q_t in m ³ /s	100		100		100	
Factor K	0,0050	0,0070	0,0050	0,0070	0,0051	0,0070
Lengte in km	7,1	10	5,6	7,8	4	5,5

In de berekeningen is geen rekening gehouden met stof dat ontstaat vanwege het contact tussen banden en wegdek. Hiervan zijn geen meetgegevens bekend. Men heeft de hoeveelheid vrijkomende stof op basis van slijtage van banden wel eens geschat op een even groot aandeel als het uit de uitlaat vrijkomende stof. Als deze schatting wordt gevolgd zouden de in de tabellen genoemde afstanden ruwweg tweemaal zo klein genomen moeten worden.

Conclusies

Fileverkeer blijkt een grotere invloed op zichtverslechtering te hebben dan snelverkeer. Ook als voor fileverkeer $K = 0,007$ wordt gehanteerd (lagere snelheid = kleinere benodigde zichtlengte) en voor snelverkeer $K = 0,005$ zou fileverkeer maatgevend zijn.

Echter is bij de berekeningen voor fileverkeer aangenomen dat de hele tunnel vol staat met een file. Een dergelijke situatie is in principe vanwege veiligheidsaspecten ongewenst en bij de berekende tunnellen ook niet waarschijnlijk. De gegevens in tabel 14.2 voor fileverkeer vormen dus geen criterium voor de mate van 'zicht'.

Voor de situatie met snelverkeer wordt opgemerkt dat de concentratie NO_2 al veel eerder dan zichtverslechtering aanleiding geeft tot mechanisch ventileren of, in het uiterste geval, tot verkeersmaatregelen. Bij de berekende tunnellen in tabel 14.1 voldoet een ventilatiesysteem uitsluitend bestaande uit langsventilatie niet meer en zijn op gezette afstanden aanvullende aan- en afvoeropeningen voor lucht noodzakelijk. Deze aanvullende openingen zijn ook voor een situatie met brand noodzakelijk. Dat impliceert dat de in tabel 14.1 berekende situaties in werkelijkheid niet voorkomen.

De in de tabellen 14.1 en 14.2 gegeven tunnellen zijn bepaald voor het geval de rijstroken voor 80% bezet zijn. In de praktijk is de bezetting doorgaans veel lager. Berekeningen met lagere bezettingspercentages leiden tot grotere lengten.

Samenvattend kan gesteld worden dat, gegeven de toekomstige verkeersemissies, een zichtmeting, zeker voor tunnels tot een lengte van 10km, nooit een vereiste zal zijn voor het meten van zichtvermindering door uitlaatgasconcentraties.

14.4 Uitstoot van NO₂ en verband met zichtvermindering

In uitlaatgassen blijkt NO₂ vanwege zijn concentratie maatgevend zowel in de tunnel als in de directe omgeving van de tunnel.

Voor de concentratie NO₂ in de tunnel wordt het criterium dat door Piarç [3] is gegeven aangehouden: maximaal 1 ppm ofwel 1880 microgram/m³.

Voor buitenluchtconcentraties geldt volgens de Europese richtlijnen een jaargemiddelde waarde van maximaal 40 microgram/m³.

Volgens dezelfde methode als voor zichtvermindering is gebruikt kunnen voor de concentratie NO₂ in een tunnel de volgende lengten worden bepaald:

Tabel 14.3: Resultaat voor snelverkeer (100 –120 km/uur):

	10% vrachtverkeer	15% vrachtverkeer	25% vrachtverkeer
Emissie in gr/km, uur, rijstrook bij max. rijstrookbezetting	183	235	336
Factor voor 80% rijstrookbezetting en 2 rijstroken	1,6	1,6	1,6
Emissie P _d in gr/s per km	0,0183	0,1044	0,1493
Luchtdebiet Q _t in m ³ /s	250	250	250
Concentratie bij 1km lengte in microgram/m ³	325	418	597
Max. toelaatbare concentratie in microgram/m ³	1880		
Lengte in km	5,8	4,5	3,1

Tabel 14.4: Resultaat voor fileverkeer (20 km/uur):

	10% vrachtverkeer	15% vrachtverkeer	25% vrachtverkeer
Emissie in gr/km, uur, rijstrook bij max. rijstrookbezetting	113	139	186
Factor voor 80% rijstrookbezetting en 2 rijstroken	1,6	1,6	1,6
Emissie P _d in gr/s per km	0,0502	0,0618	0,0827
Luchtdebiet Q _t in m ³ /s	250	250	250
Concentratie bij 1km lengte in microgram/ m ³	201	247	331
Max. toelaatbare concentratie in microgram/m ³	1880		
Lengte in km	9,4	7,6	5,6

Hierbij moet worden opgemerkt dat:

- Bij dergelijke tunnellengten in geval van fileverkeer er maatregelen vereist zijn om te voorkomen dat de tunnel geheel vol zal komen te staan met verkeer en dat de genoemde uitkomsten voor fileverkeer dus in praktijk niet zullen voorkomen.
- Bij snelverkeer de rijstroken, zeker bij de berekende lengten, nooit de bezetting hebben als waarmee is gerekend (80% rijstrookbezetting).
- De emissies en de daaraan gerelateerde maximale lengten zijn berekend voor horizontale wegdekken. In tunnels met stijgende hellingen neemt de emissie toe.

Geconcludeerd kan worden dat de lengte van de tunnel zelden aanleiding zal zijn tot te hoge concentraties NO₂ in de tunnel.

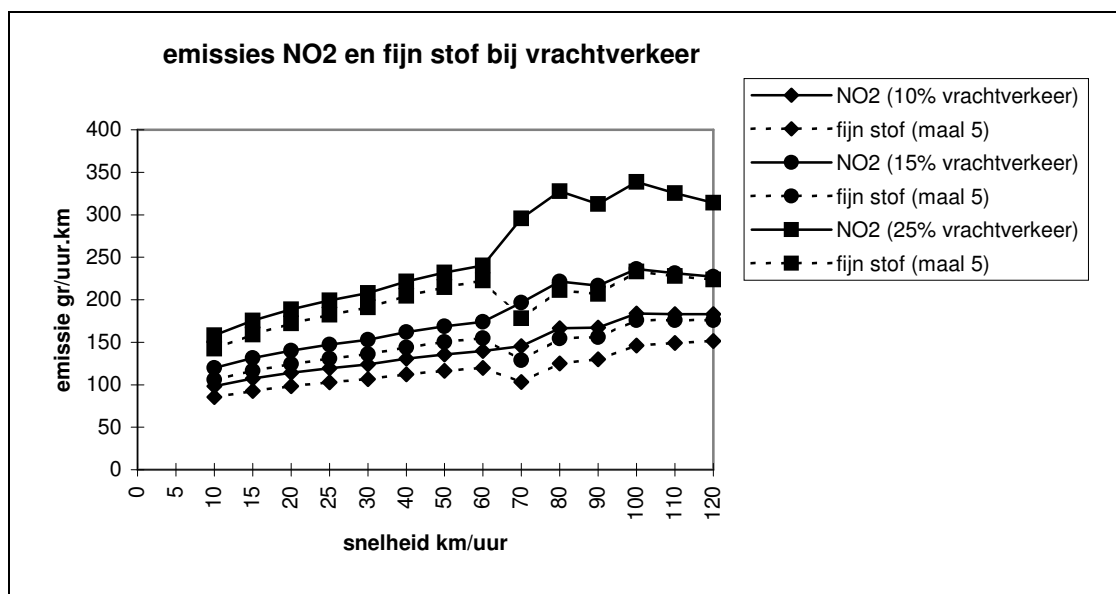
Wanneer in de directe nabijheid van de tunneluitgangen woningen of andere verblijfplaatsen zijn (in stedelijk gebied) mag de concentratie in de tunnel niet te hoog worden om de concentratie in de omgeving te beperken. Het kan dan zinvol zijn de tunnel zodanig te ventileren dat de concentratie in de tunnel niet te hoog wordt, waardoor de concentratie in de omgeving ook wordt beperkt.

Daarvoor is het nodig de concentratie in de tunnel te bepalen met een nauwkeurigheid van ± 50 microgram/ m^3 (nog beter zou zijn ± 10 microgram/ m^3).

Tegenwoordig zijn systemen beschikbaar waarmee de NO_2 -concentratie voldoende betrouwbaar kan worden gemeten.

Voorheen kon de NO_2 -concentratie alleen worden ingeschat op basis van zichtmeting, dus op basis van het feit dat er een zekere relatie bestaat tussen de emissie van NO_2 en de emissie van fijn stof, maar onderzoek heeft aangetoond dat dit onvoldoende nauwkeurige resultaten biedt.

Bij het genoemde onderzoek zijn berekeningen gemaakt op basis van de emissiegegevens van TNO [4]. De uitkomsten zijn gegeven in de volgende grafiek.



De grafiek toont een verband tussen de emissie van NO_2 en fijn stof. Tot circa 60 km/uur is er een éénduidig verband, echter boven een snelheid van 60 km/uur verandert de verhouding in emissie NO_2 en fijn stof ten gevolge van een ander rijgedrag. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de meting van fijn stof alleen representatief kan worden geacht voor de emissie van NO_2 indien de gemiddelde verkeerssnelheid als extra variabele in het meetsysteem wordt ingevoerd.

In hoeverre een meetsysteem op basis van een zichtmeting, een luchtsnelheidsmeting en een meting van de verkeerssnelheid voldoende nauwkeurig is om de concentratie NO_2 vast te stellen en te beheersen is een punt van nader onderzoek. In Brussel is in de Belliardtunnel een meetsysteem in gebruik waarbij de verkeersintensiteit, -samenstelling, en -snelheid wordt gemeten, alsmede de luchtsnelheid in de tunnel. Op basis van emissietabellen wordt de verwachte concentratie NO_2 berekend en de mechanische ventilatie aangestuurd. In dit systeem is zowel een zichtmeting als een CO-meting als controle variabele ingebouwd en is de zichtmeting niet de leidende factor.

Literatuur

- [1] Road Tunnels: Emissions, Ventilation, Environment. PIARC 1995
- [2] Ventilatie van Autotunnels- Aanbevelingen 1991, KIVI.
- [3] Road Tunnels: Emissions, Ventilation, Environment. PIARC 1999
- [4] Emission factors for road tunnels – Update 1998, nr. 98.OR.

15 Brandbestrijding

.....

15.1 Algemeen

Bij permanent aangebrachte brandbestrijdingsmiddelen wordt in deze bijlage onderscheid gemaakt tussen:

- voorzieningen voor de weggebruikers;
- voorzieningen voor de brandweer;
- automatische en half-automatische hulpmiddelen.

Brandbestrijdingsmiddelen kunnen voor twee doeleinden zinvol blijken:

- door tijdig blussen komt minder rook vrij en worden minder weggebruikers bedreigd;
- de totale warmtelast op de constructie wordt verminderd waardoor de schade kan worden beperkt.

Het nut, de inzet en de bruikbaarheid van brandbestrijdingsmiddelen hangen af van de te verwachten brandhaard, de benaderbaarheid van de brand, de reactiesnelheid van de brandweer, de vluchtvoorzieningen, de aanwezigheid van mechanische ventilatie en de gevoeligheid van de constructie voor brand.

De brandhaard

Voor het begrip 'brandhaard' wordt verwezen naar hoofdstuk 11 en het Piarc-rapport Fire and Smoke Control in Road Tunnels uit 1999.

Uit het genoemde Piarc-rapport blijkt het volgende :

De meeste branden betreffen brandende personenauto's waarvan het brandvermogen beperkt is (circa 5 MW).

Vrachtwagenbranden beperken zich vaak tot het motorcompartiment of de cabine, zelden raakt de hele vrachtwagen in brand. Hierdoor blijft het brandvermogen vaak beperkt (5-10 MW), maar kan groot zijn als de hele vrachtwagen in brand raakt (20 MW en meer). De meeste vrachtautobranden worden al door de bestuurder of andere weggebruikers geblust voordat deze zich tot volledige grootte hebben kunnen ontwikkelen.

Tankautobranden zijn zeer groot terwijl de kans dat een dergelijke brand optreedt klein is.

Benaderbaarheid van de brand

Naarmate een brand groter is wordt deze steeds moeilijker benaderbaar. Dit komt omdat zowel van de brand zelf als uit de rook warmtestraling komt.

Zelfs als men niet in de rook staat kan men toch aanzienlijke verbrandingsverschijnselen krijgen bij hoge stralingsintensiteiten. Ter illustratie: bij rook van 200 °C kan men (zonder beschermende kleding) slechts 60-90 seconden op korte afstand van de brand verblijven zonder 2° graads verbrandingen op te lopen (Piarc 1999, blz. 17-23). Een dergelijke temperatuur komt overeen met een beginnende personenautobrand.

Brandweerlieden kunnen met beschermende kleding hogere stralingsintensiteiten weerstaan. Volgens Piarc 1999 blz. 17 en 33 komt dit neer op een rooktemperatuur van circa 300 °C, ofwel een volledig brandende personenauto en op wat grotere afstand een (kleine) brandende vrachtauto (circa 20-30 MW).

Uit onderzoek door TNO (2006) in opdracht van de brandweer Rotterdam blijkt dat inzet zonder beschermende brandweerkleding onmogelijk is bij een warmtestraling van 3 kW/m² of meer. In dit stralingsgebied is de inzetduur beperkt tot maximaal 20 minuten, uitgaande van een matig tot zwaar inspanningsniveau³⁶.

³⁶ Zie rapport TNO-DV3 2006 D024, "Veilige stralingscontouren bij incidenten – gerelateerd aan warmtebelasting voor hulpverleners", TNO Soesterberg, april 2006

Volgens informatie van de brandweer Rotterdam zou met een sproeiwaterscherp in sommige gevallen een brand van 50 MW nog benaderd kunnen worden mits (door middel van ventilatie) de weg waarlangs de brandweer de brand benadert rookvrij wordt gehouden.

Op basis van deze gegevens kan men de volgende conclusies trekken:

- 1 Met behulp van brandbestrijdingsmiddelen kan worden voorkomen dat een brand zich tot volle grootte ontwikkelt. Tevens kunnen misschien andere, nog niet brandende, voertuigen gekoeld worden zodat deze niet in brand raken.
- 2 Een volledig tot ontwikkeling gekomen brand van één of enkele personenwagens, of een kleine vrachtwagen, in een tunnel kan in principe alleen door de brandweer worden geblust.
- 3 Voorzien van een beschermend pak kan de brandweer brandende voertuigen met een brandvermogen tot circa 20-30 MW benaderen en blussen. Met een sproeiwaterscherp kan de brandweer een brand tot naar schatting circa 50 MW benaderen en blussen. Daarboven geven branden zoveel warmtestraling af dat de brandweer niet voldoende dichtbij kan komen om te kunnen blussen.
- 4 Tankautobranden (met een brandvermogen van meer dan 200 MW) zullen ook met voorzieningen die de brandweer normaal gesproken bij zich heeft, niet benaderd kunnen worden.

Bij nagenoeg alle (ontwikkelde) voertuigbranden is op een of andere wijze olie of benzine betrokken. Als een beperkte hoeveelheid in brand raakt kan deze met water, waaraan een schuimvormend middel is toegevoegd, worden geblust. Een zeer grote hoeveelheid brandende benzine of olie in een tunnel ten gevolge van een lek geraakte tankwagen kan niet worden benaderd. Dit vloeit voort uit de vrijkomende warmtestraling uit de vlammen en uit de rook. Dit geldt ook voor andere soorten in brand geraakte koolwaterstoffen.

Bij gedeeltelijk gesloten constructies kunnen brandhaarden beter worden benaderd dan in tunnels. Afhankelijk van de mate van overkapping respectievelijk de grootte van openingen in het dak kunnen namelijk hete rookgassen beter ontwijken, waardoor het gebied waarin de warmtestraling uit de rook effect heeft kleiner is. De brandweer kan daardoor dicht bij de brand komen. Een andere consequentie is dat vanwege het kleinere invloedsgebied de invloed op weggebruikers kleiner is dan in een tunnel.

Alleen zijwaarts gesloten constructies zijn qua benaderbaarheid te vergelijken met de open weg.

Reactiesnelheid van de brandweer in relatie tot de brandontwikkelingstijd

De brandweer zal altijd met eigen brandbestrijdingsmiddelen arriveren doch in het algemeen is de tijd tussen ontdekking van de brand en de eerste bestrijdingsactie veel langer dan de brandontwikkelingstijd. Immers de brandweer moet eerst worden gewaarschuwd, toeleidende wegen naar de tunnel kunnen zijn verstopt, men moet op de juiste plaats arriveren, daarna vaststellen vanaf welke plaats de brand zal worden bestreden en vervolgens de blusmiddelen in positie brengen. Uit de praktijk blijkt dat er meestal 15 minuten of meer verlopen voordat de brandweer ter plaatse is, zijn verkenning heeft gedaan, de blusmiddelen heeft opgesteld en gereed is voor bluswerkzaamheden. De brandontwikkelingstijd is bij een pechgeval meestal 5-10 minuten (Piarc 1999, TNO 1998, EUREKA project), doch bij een ongeval veel korter (men neemt 0-2 minuten aan). Hieruit kan men de gevolgtrekking maken dat in de meeste gevallen een brand zich tot volledige grootte heeft kunnen ontwikkelen op het moment dat de brandweer arriveert.

Men mag aannemen dat in de periode die verstrijkt tussen het ontstaan van de brand en het arriveren van de brandweer de weggebruikers al gevlucht zijn en dat in veel gevallen weggebruikers die daartoe niet in staat waren reeds zullen zijn overleden vanwege rook en hitte indien zij zich dichtbij de brandhaard of in de rook bevinden. De inzet van de brandweer kan bij kleine branden waarschijnlijk nog leiden tot het redden van weggebruikers, maar heeft bij branden groter dan circa 20 MW meer te maken met het beperken van schade aan de constructie dan met het redden van mensen.

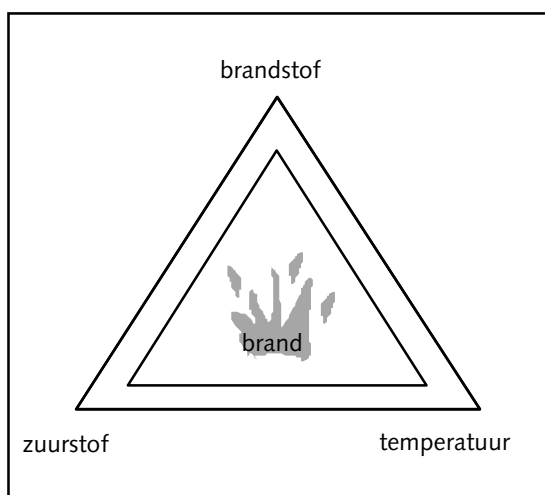
Uit de praktijk blijkt dat permanent aanwezige blushulpmiddelen, die door weggebruikers kunnen worden gebruikt, er vaak toe leiden dat een brand wordt geblust voordat deze zich tot volledige grootte heeft ontwikkeld. Hiermee worden zowel het aantal potentiële slachtoffers als de potentiële schade aan de tunnelconstructie aanzienlijk beperkt.

Permanent aanwezige blushulpmiddelen voor de brandweer leiden ertoe dat de aanvalstijd voor de brandweer wordt bekort. Dit heeft in het algemeen echter meer invloed op beperking van schade aan de constructie dan op beperking van het aantal slachtoffers.

Brand en blusmiddelen

Voor het ontstaan en in stand houden van brand zijn 3 elementen nodig. Deze kunnen worden gepresenteerd in de zogeheten branddriehoek waarin de voorwaarden voor verbranding staan (zie figuur 15.1):

brandstof + zuurstof + temperatuur = brand.



Figuur 15.1 Schema van de branddriehoek

Wanneer één van de elementen wordt verwijderd wordt het vuur gedoofd en verdere brand voorkomen. Blusmiddelen zijn gebaseerd op het verwijderen van één of meer elementen.

Soms wordt, in plaats van de branddriehoek, de brandvijfhoek gehanteerd door het toevoegen van de volgende elementen:

- Mengverhouding (melkpoeder als massa op tafel brandt niet als je er een lucifer bijhoudt; wordt de poeder verneveld dan gaat het wel branden).
- Katalysator (een katalysator kan er voor zorgen dat losse atomen zich niet binden aan zuurstof).

Branden worden in brandklassen ingedeeld³⁷ :

klasse A: vaste stoffen zoals hout, papier, plastic, textiel;
klasse B: brandbare vloeistoffen zoals brandstoffen, smeerolie, verf;
klasse C: gasbranden;
klasse D: metaalbranden;
(klasse E: elektrische branden).

Het te gebruiken blusmiddel hangt af van de brandklasse. De volgende blusmiddelen zijn veelgebruikte blusmiddelen:

Poederblussers:

De bluswerking berust deels op het afdekken van de brand waardoor er geen zuurstof meer bij de brand kan komen en deels op het reageren van de brandstof met het poeder waardoor er geen reactie met zuurstof (verbranding) meer mogelijk is. De temperatuur wordt echter niet verlaagd, terwijl afkoeling door het poeder wordt bemoeilijkt.

Afhankelijk van het type geschikt voor brandklasse AB of ABC en voor brand van of in elektrische apparatuur.

Een negatieve bijwerking is de grote mate van nevenschade omdat het poeder, dat voor circa 97% uit zouten bestaat en in zeer kleine deeltjes verspreid wordt, leidt tot snelle corrosie van metalen.

³⁷ Deze indeling wordt wereldwijd gehanteerd

Water (brandspuit, slanghaspel, waterblusser onder druk):

De bluswerking berust in hoofdzaak op het verlagen van de temperatuur en ten dele op het scheiden van brandstof en zuurstof door stoomvorming.

Geschikt voor brandklasse A.

Ongeschikt voor brandklasse B omdat de brandende vloeistof door het stromende water wordt verspreid.

Gevaarlijk bij brandklasse D (door het ontleden van water bij temperaturen boven 1365 °C in knalgas (H₂ en O₂) wat tot explosies zal leiden. Ook gevaarlijk bij klasse E (door geleiding van stroom).

Water met sproeischuim (brandspuit, slanghaspel, sproeischuimblusser):

De bluswerking berust in hoofdzaak op het scheiden van brandstof en zuurstof door het toegevoegde sproeischuimmiddel en door tegengaan van verdamping van vloeibare brandstof doordat het schuimmiddel een filmlaagje vormt op de vloeistof. Door het water wordt de brand tevens gekoeld.

Bij vaste stoffen wordt de indringende werking van water door het schuimvormend middel vergroot.

Geschikt voor brandklasse A en vooral voor brandklasse B. Gevaarlijk bij brandklasse D. Branden van of in elektrische installaties kunnen ermee worden geblust, hoewel het water tot kortsluiting kan leiden (er zijn speciale typen sproeischuimblussers waarbij dit wordt voorkomen).

Koolzuursneeuw (CO₂):

De bluswerking berust op het verdrijven van zuurstof door het CO₂. De temperatuur wordt echter niet verlaagd, waardoor kans op zelfontbranding aanwezig blijft en brandbare hete vloeistoffen blijven verdampen waardoor kans op ontploffing ontstaat. Het verdrijven van zuurstof kan bij aanwezige personen in besloten ruimten tot verstikking leiden.

Het CO₂ is slechts 1,5 maal zwaarder dan lucht, waardoor bij wind, tocht of ventilatie de kans op voldoende afdekking door CO₂ gering is.

De blusser is een drukvat dat continu onder circa 65 bar druk staat: ongebruikte blussers leveren daardoor gevaar op in een ruimte met brand en hete rookgassen.

De bluskracht van de genoemde middelen wordt uitgedrukt in een code bestaande uit een getal gevolgd door de letter van de brandklasse.

Bij brandklasse A vertegenwoordigt het getal de omvang van de maximale houtstapel die in de testsituatie kan worden geblust. Bij brandklasse B is dat de omvang van de vloeistofbrand.

Omschrijving test bluscapaciteit

Brandklasse A:

De test wordt uitgevoerd met een houtstapel op een metalen frame. Het frame heeft een hoogte van 250mm en een breedte van 900mm. De lengte is afhankelijk van de grootte van de houtstapel.

De houtstapel bestaat uit houten balkjes 6x 6cm gestapeld in 14 lagen om en om in langs- respectievelijk dwarsrichting. De lengte van de langsbalkjes is afhankelijk van de brandgrootte, de lengte van de dwarsbalkjes is 500mm. De verticale afstand tussen de balkjes is 6cm.

De houtstapel wordt gedurende 2 minuten aangestoken met een heptaanbrander en kan zich daarna gedurende 6 minuten ontwikkelen zonder een geforceerde luchtstroming.

De bluscapaciteit is een nummer gevolgd door de letter A. Het nummer is de lengte in decimeters en het aantal balkjes in dwarsrichting.

Bijvoorbeeld: bluscapaciteit 13A:

- een houtstapel met langsliggers van 1,3m lengte;
- in langsrichting zijn er 13 dwarsbalkjes.

Brandklasse B:

De test wordt uitgevoerd met een ronde oliepan waarvan de bovenzijde van de wand niet meer dan 250mm boven de vloer is. De brandstof is Heptaan. Na de test moet tenminste nog 5mm brandstof in de oliepan aanwezig zijn.

De bluscapaciteit is een nummer gevolgd door de letter B. Het nummer is de som van de vloeistofinhoud van de brandstof aan het begin van de test en de benodigde hoeveelheid blusmiddel, beide uitgedrukt in liter.

Bijvoorbeeld: bluscapaciteit 183B:

- 122 liter brandstof aan het begin van de test;

- 61 liter water met schuim nodig voor het blussen;
- samen 183 liter.

15.2 Voorzieningen voor de weggebruikers

Bij de overweging of en in welke mate voorzieningen voor de weggebruikers worden aangebracht spelen de volgende factoren een rol:

De rol van de weggebruikers

De enige aanwezigen vlak na het uitbreken van de brand zijn weggebruikers, zodat snelle blusacties alleen door weggebruikers kunnen worden verricht. Een snelle en effectieve blussing verdient vooral de aandacht in de volgende situaties:

- Wanneer de rookverspreiding veel andere weggebruikers kan bereiken doordat (1) de rook niet of slecht kan ontwijken, (2) er geen ventilatiesysteem is om de rookbeweging te beheersen, (3) de vluchtwegen relatief lang zijn en (4) er geen continue bewaking is waardoor weggebruikers niet kunnen worden gewaarschuwd om te vluchten. Daarbij dient wel rekening te worden gehouden met het gegeven dat het juist hier situaties betreft waarbij snel vluchten mogelijk moet zijn (zie de hoofdstukken 11 en 13).
- Wanneer er kans is dat de constructie door een volledig ontwikkelde brand zodanig beschadigd wordt dat deze instort of anderszins onbruikbaar wordt met grote economische gevolgschade en extra verkeersongevallen ten gevolge van de extra verkeersbelasting op alternatieve routes. In een gesloten ruimte zoals een tunnel lopen de temperaturen hoog op en wordt de constructie thermisch zwaar belast; in een gedeeltelijk gesloten constructie is dit veel minder het geval. In ieder geval geldt dat als een brand in het beginstadium wordt geblust deze de constructie niet of slechts in geringe mate aantast. Hier gelden dus economische overwegingen. Daarom worden bij tunnels van groot economisch belang slanghaspels als een zinvolle extra investering gezien. In andere gevallen kunnen [draagbare brandblusapparaten](#) voldoende zijn.

Verband met mechanische ventilatie

In verband met het wel of niet aanbrengen van brandbestrijdingsmiddelen voor weggebruikers rijst de vraag wat verstandiger is: de weggebruikers laten vluchten of deze de gelegenheid geven blusacties te ondernemen. Het antwoord op deze vraag hangt af van het type en de grootte van de brand en de aanwezigheid van mechanische ventilatie.

Hierbij gelden twee stelregels:

- 1 Een brand die in de eerste fase wordt geblust kan nooit groot worden.
- 2 Als men de brand niet snel uit krijgt kan men beter vluchten.

Bij afwezigheid van mechanische ventilatie in een tunnel kunnen weggebruikers al snel in de rook komen te staan. Wanneer het niet lukt een brand in de eerste fase te blussen mogen brandbestrijdingsmiddelen voor de weggebruikers geen aanleiding zijn om te lang in de gevarezone te blijven. Dit pleit er voor om bij afwezigheid van mechanische ventilatie alleen [draagbare brandblusapparaten](#) aan te bieden (met een blusduur van circa 30 seconden) en geen slanghaspels.

Bereidheid tot gebruik van de brandbestrijdingsmiddelen

Uit literatuuronderzoek³⁸ blijkt dat in een Japans voorlichtingscentrum circa 70% van de geënquêteerden zegt de brandbestrijdingsmiddelen te zullen gebruiken. In de praktijk blijkt dit percentage aanzienlijk minder te zijn, doch bij de meeste branden heeft wel iemand van de weggebruikers de hulpmiddelen gebruikt.

Uit hetzelfde literatuuronderzoek blijkt dat in een inventarisatie van branden in met name Engeland en Australië meer dan 30% van de bij de branden betrokken personen in eerste instantie blusacties ondernam terwijl slechts circa 15% in eerste instantie meteen wegvluchtte. In de Mont-Blanc tunnel bleek 2/3^e van de vrachtwagenbranden te zijn geblust met behulp van kleine hulpmiddelen (eigen of in de tunnel aanwezige [draagbare brandblusapparaten](#)). Men kan dus concluderen dat er een redelijke kans bestaat dat de weggebruiker de geboden hulpmiddelen zal gebruiken. Tevens geldt

³⁸ Onderzoek naar tunnelgebruik en veiligheid, Rijksuniversiteit Groningen, 1999

dat als slechts een enkele persoon een blusactie onderneemt dit al voldoende kan zijn om een beginnende brand te blussen.

Slanghaspels versus draagbare brandblusapparaten

In tegenstelling tot de situatie in Nederland worden in vrijwel alle landen alleen draagbare brandblusapparaten en geen slanghaspels aangebracht. Dit in tegenstelling tot gebouwen waar altijd slanghaspels worden aangebracht. Overwegingen in het buitenland zijn hierbij dat het nut van slanghaspels wordt betwijfeld en dat slanghaspels en een bijbehorende wateraanvoerend systeem in tunnels duur zijn. Daarbij komt dat men veelal te maken heeft met tweerichting verkeer en een (semi)dwarsventilatiesysteem, waardoor mensen niet moeten worden uitgenodigd lang in de buurt van een brand te verblijven. In Nederland zijn echter steeds slanghaspels aangebracht omdat de blusmogelijkheden daarmee aanzienlijk groter zijn dan met draagbare brandblusapparaten. De blusduur is in principe onbeperkt en tevens kan men vanaf een grotere afstand nog blussen dan met draagbare brandblusapparaten het geval is. Hierdoor is de kans dat een beginnende brand geblust wordt groter en kan een wat grotere brand qua omvang beperkt worden gehouden totdat de brandweer arriveert en de blussing professioneel overneemt.

Een onderzoek naar het gebruik van draagbare brandblusapparaten versus slanghaspels³⁹ laat zien dat, als men de keuze heeft tussen één van beide, veel van de gebruikers het eerste de draagbare brandblusapparaten pakt. Diverse redenen om niet de slanghaspel te gebruiken zijn: "uit de slang komt water en dat is niet geschikt voor vloeistofbranden", "de slanghaspel is alleen voor 'grote' branden", "de slanghaspel is voor de brandweer". Zelfs als men alleen de slanghaspel krijgt aangeboden is circa de helft geneigd dan maar geen blusactie te ondernemen. Om weggebruikers zoveel mogelijk de gelegenheid te bieden van de brandbestrijdingsmiddelen gebruik te maken wordt bij een slanghaspel ook een draagbaar brandblusapparaat aangebracht.

Tevens dienen de hulpmiddelen, afgezien van de wettelijk vereiste opschriften, te worden voorzien van een korte en duidelijke aanduiding betreffende het gebruiksdoel (zie hoofdstuk 17).

Praktische overwegingen in verband met brandbestrijdingsmiddelen voor de weggebruiker

In verband met hulpmiddelen voor weggebruikers gelden verder de volgende praktische overwegingen:

- Hulpmiddelen voor weggebruikers dienen herkenbaar en gebruiksvriendelijk te zijn en er dient een duidelijke en korte aanwijzing bij geplaatst te worden.
- Bij toepassing van blusmiddelen tenminste een draagbaar brandblusapparaat aanbieden en bij een slanghaspel ook altijd een draagbaar brandblusapparaat plaatsen.
- Ook als een (continu bemande) brandweerpost vlak bij de tunnel aanwezig is zijn brandbestrijdingsmiddelen voor de weggebruikers wenselijk gezien de benodigde aanvalstijd voor de brandweer.
- Draagbare brandblusapparaten kunnen in principe worden uitgevoerd als poederblusser of als sproeischuimblusser. Een belangrijk nadeel van poederblusmiddel is dat de temperatuur in de onmiddellijke omgeving van de brandhaard stijgt ten gevolge van de chemische reactie van het poederblusmiddel. Als er personen in een brandend voertuig beklemd zitten is er een grote kans dat zij bij gebruik van een poederblusser aanzienlijke longschade oplopen en door verstikking omkomen. Sproeischuimblussers (gevuld met water waaraan een schuimvormend middel is toegevoegd) hebben dit gevaar niet in zich. Aan de andere kant kan een brand in een motorcompartiment het beste geblust worden door een poederblusser, hoewel dergelijke branden ook met water/schuimmiddel geblust kunnen worden. Derhalve verdienen sproeischuimblussers de voorkeur.
- Sproeischuimblussers zijn zwaarder dan poederblussers. Een poederblusser met 6 liter inhoud heeft een gewicht van circa 9-10 kg, een sproeischuimblusser met 6 liter waterinhoud heeft een gewicht van circa 11-12 kg, bij 9 liter inhoud is het gewicht circa 14 respectievelijk 15-16 kg. Aangezien langs de wand meestal een barriër is geplaatst, moet men horizontaal reiken naar het draagbare brandblusapparaat in de hulppost. Als de barriër aan de voet circa 30cm is, en het draagbare brandblusapparaat op een hoogte van 1 tot 1,2m boven het wegdek uit de hulppost wordt gepakt, zou ergonomisch gezien het maximale gewicht 11 kg mogen zijn uitgaande van regelmatig tillen. In dit geval wordt incidenteel getild (maar 1 keer) waardoor een hoger gewicht toegelaten kan worden. Ergonomisch zou voor de gemiddelde mens een gewicht van 12 tot 13

³⁹ Onderzoek door TNO TM Soesterberg, 2001

kg acceptabel zijn en zal een gewicht van 15-16 kg voor een aantal personen problemen opleveren.

Het gewicht van 15-16 kg wordt desondanks niet als bezwaarlijk geacht omdat het om incidentele situaties gaat waarbij de blusduur uitgaat boven ergonomische argumenten. Desgewenst kan het gewicht worden teruggebracht tot circa 11-12 kg bij een inhoud van 6 kg, doch de blusduur is dan aanzienlijk korter. Piarc geeft de aanbeveling om in tunnels waar voornamelijk personenauto's rijden kleine draagbare brandblusapparaten te plaatsen (6 kg) en waar ook vrachtwagens zijn toegestaan grote apparaten (9 kg).

- Aan de watervoorziening van slanghaspels wordt, bij voorkeur vlak voor de haspel, een schuimvormend middel toegevoegd om vloeistofbranden effectief te kunnen blussen.

Plaats van brandbestrijdingsmiddelen

Op de open weg blijkt dat bij pech verreweg de meeste bestuurders stoppen op de vluchtstrook, of als deze niet aanwezig op de rechter rijstrook. Vanwege dit gedragspatroon mag men verwachten dat bestuurders ook in tunnels met 2 of meer rijstroken voor het merendeel aan de rechterkant stopt.

Meer dan 90% van de autobranden ontstaat als gevolg van pech door kortsluiting in de motorruimte of passagiersruimte, minder dan 10% van de branden ontstaat als gevolg van een ongeval. Dat betekent dat de meeste (kleinere) branden aan de rechterzijde van de tunnelbuis plaats zullen hebben.

Brand als gevolg van een ongeval kan zowel aan de rechterzijde als aan de linkerzijde of daartussenin optreden. Dergelijke branden kunnen vergezeld gaan van een totale blokkering van de tunnelbuis maar dat hoeft niet altijd het geval te zijn. De operator c.q. wegverkeersleider (mits aanwezig!) zal de tunnel voor het overige verkeer afsluiten, echter het reeds in de tunnel aanwezige verkeer zal indien mogelijk nog langs de brand naar de tunneluitgang willen rijden, vooral in 3- en 4-strookstunnels. Hierdoor is oversteken van de weg naar een hulppost bijna onmogelijk. Dit alles geschiedt in de eerste minuten van de brand waarin bestrijding door de weggebruiker nu juist essentieel is.

Pechbranden kunnen in het beginstadium meestal goed met draagbare brandblusapparaten worden bestreden. Draagbare brandblusapparaten moeten dus tenminste aan de rechterzijde van de rijbaan zijn aangebracht (bij tunnelbuizen met één rijstrook, zonder vluchtstrook mag dat ook de linkerzijde zijn) en bij 3 en 4 strooks tunnels ook aan de linkerzijde.

Bij ongevalsbranden gaat het vaak om grotere branden, waarbij als hulpmiddel een brandslang wordt geprefereerd boven een draagbaar brandblusapparaat. Hiervoor is in tunnels met 2 of meer rijstroken geen duidelijke keus te maken tussen de linker dan wel de rechterzijde van de rijbaan. Veelal wordt de centrale brandblusleiding gelegd tussen twee rijbanen, waarbij de plaats van de slanghaspels vanwege praktische overwegingen bepaald wordt door de plaats van de brandblusleiding.

Het wordt in tunnelbuizen met 2 of meer rijstroken niet nodig geacht aan beide zijden van de tunnelbuis slanghaspels aan te brengen. Een combinatie van aan één zijde een slanghaspel tezamen met draagbaar brandblusapparaat en aan de andere zijde alleen een draagbaar brandblusapparaat wordt als ruim voldoende beschouwd.

In tunnels met slechts 1 rijstrook hoeven de brandblusmiddelen aan slechts één zijde te worden aangebracht.

De onderlinge afstand tussen hulpposten met draagbare brandblusapparaten wordt vooral bepaald door de afstand die men moet lopen. Daarbij geldt de overweging dat als men ver moet lopen de brand zich al tot een behoorlijke grootte heeft kunnen ontwikkelen voordat men terug is. Een andere overweging is dat de rook in de eerste stadia van de brand zich in de rijrichting beweegt vanwege de reeds bestaande luchtbeweging ten gevolge van het verkeer en een weggebruiker beter tegen de verkeersrichting in terug kan lopen dan met de verkeersrichting mee. Doch dit is in praktijk nauwelijks realiseerbaar: men zal ofwel naar de dichtstbijzijnde hulppost lopen ofwel de neiging hebben in de verkeersrichting te lopen omdat daarmee de eigen auto bescherming vormt voor achterop komend verkeer. Om de kans dat men daardoor in de rook terechtkomt zo klein mogelijk te houden mag de afstand niet te groot zijn.

Bij een onderlinge afstand van 100m zal men naar schatting tussen de 50 en 75m naar een hulppost lopen en weer terug naar het voertuig. Tezamen met het uitnemen van de blusser uit de hulppost is daarmee 2-3 minuten gemoeid: in die tijdspanne is een brand in het motorcompartiment nog niet geheel ontwikkeld en voor een leek doorgaans nog blusbaar.

Op basis hiervan wordt geadviseerd de onderlinge afstand tussen in hulpposten opgestelde draagbare brandblusapparaten niet groter dan 100m te laten zijn.

De onderlinge afstand tussen in hulpposten opgestelde slanghaspels wordt bepaald door de maximale slanglengte. Omdat de slang door 1 persoon moet kunnen worden uitgerold mag de slanglengte niet meer zijn dan 60m. Bij deze lengte is de benodigde kracht voor het over de grond slepen van de slang bij het uitrollen nog net acceptabel. Omdat hulpposten door het ongeval geblokkeerd kunnen zijn, wordt de onderlinge afstand tussen slanghaspels daarom gesteld op maximaal 60m.

Wanneer aan één zijde hulpposten met slanghaspels en draagbare brandblusapparaten zijn opgesteld en aan de tegenovergestelde zijde hulpposten met alleen draagbare brandblusapparaten dienen beide typen hulpposten dezelfde hart op hart afstand te hebben en steeds tegenover elkaar geplaatst te zijn. Hiermee wordt voorkomen dat mensen worden uitgenodigd de rijbaan over te steken naar de dichtst bij zijnde hulppost. Zie ook hoofdstuk 17.

15.3 Voorzieningen voor de brandweer

De voornaamste reden om permanente voorzieningen voor de brandweer aan te leggen is dat de brandweer zo snel mogelijk na aankomst bij de brand kan gaan blussen. Als de brandweer na aankomst eerst de nodige watervoedingsleidingen moet gaan leggen gaat veel tijd verloren (ter illustratie: als richtlijn geldt dat het aanleggen van 100m brandslang gemiddeld 10 minuten duurt inclusief alle bijkomende werkzaamheden).

Hoewel langs de open weg normaliter geen speciale voorzieningen zijn getroffen anders dan bijvoorbeeld een bermsloot, verschilt een tunnel of gedeeltelijk gesloten constructie ten opzichte van de open weg hierin dat:

- de bereikbaarheid van de plaats van de brand met brandslangen moeilijker kan zijn;
- er meer personen door rook en warmtestraling bedreigd worden;
- schade aan de constructie kan optreden.

Zoals reeds eerder is gesteld zal de brand zich vaak tot volledige grootte hebben ontwikkeld op het moment dat de brandweer arriveert, terwijl de meeste weggebruikers zullen zijn weggevlucht. De voornaamste acties van de brandweer zijn er daarom op gericht om, na verkenning van de situatie, (eerst) de nog aanwezige personen indien mogelijk te evacueren en (daarna) de brand te blussen teneinde schade aan de constructie te beperken.

De overweging is dat het blussysteem voor de brandweer niet onmiddellijk na aankomst geheel bedrijfs gereed hoeft te zijn, doch wel zo spoedig mogelijk daarna vooral als er veel personen bij een brand betrokken kunnen raken of het een kunstwerk van groot economisch belang is. Een blussysteem kan in 3 hoofddelen worden gesplitst, namelijk distributie, drukverhoging en watersuppletie. Voor de 3 hoofddelen wordt de volgende redenering gevolgd:

1 Distributie:

Een brandweerauto heeft altijd een eigen tank aan boord (van circa 1000 tot 2000 liter) zodat in de eerste fase de brandweer met eigen bluswater en slangen op de brandweerauto de brand kan gaan blussen mits de brandweerwagen voldoende dichtbij kan komen (hetzij in de buis gelegen naast de calamiteitenbuis hetzij in de calamiteitenbuis zelf). Voor personenautobranden zal deze blussing veelal voldoende zijn inclusief het nablussen. Voor grotere branden leidt de beperking van de voorraad water aan boord van de bluswagens ertoe dat extra wateraansluitingen noodzakelijk zijn. Ook kan een brand mogelijk niet altijd met slangen aan de bluswagens bereikt worden. Op basis hiervan is geredeneerd dat het redelijk zou zijn dat de brandweer binnen 10 minuten na aankomst alle benodigde slangen en aansluitingen heeft kunnen leggen en gereed is voor blussen. Tezamen met het uitgangspunt dat het leggen van 100m slang overeenkomt met circa 10 minuten wordt daarom geadviseerd dat, indien het leggen van slangen vanaf het watertappunt tot aan de brand meer dan 10 minuten duurt beter een vast distributienet kan zijn aangebracht bestaande uit een brandblusleiding met tappunten bestaande uit brandkranen.

Voor tunnels met 2 éénrichtingsverkeer buizen waartussen deuren aanwezig zijn, terwijl er watertappunten in de directe nabijheid van de beide portalen zijn, leidt dit ertoe dat als de tunnellengte meer dan 250m is er een vast distributienet dient te zijn aangebracht. Overwegingen hierbij zijn dat men de slang bijna geheel recht in de tunnel uitrolt (hetgeen sneller gaat dan via bochten en hoeken) en men ook rekening mag houden met de worp van de straal.

Andere situaties zullen per geval dienen te worden beschouwd.

2 *Drukverhoging:*

Als het plaatsen van een mobiele pompinstallatie met watertap mogelijkheid veel tijd kost (voorgesteld wordt meer dan 10 minuten overeenkomend met bovenstaande redentie) of de mogelijkheden van de plaatselijke brandweer daarin niet voorzien kan plaatsing van een vaste pompinstallatie inclusief wateraanvoer worden overwogen.

3 *Watersuppletie:*

Indien watertappunten zoals de waterleiding of oppervlaktewater in de directe omgeving van de tunnel onvoldoende capaciteit hebben biedt een gebouwd reservoir of een geslagen bron uitkomst. De inhoud van een reservoir dient zodanig te worden gekozen dat deze de watersuppletie waarborgt binnen de tijd die nodig is om van elders watersuppletie te verzorgen.

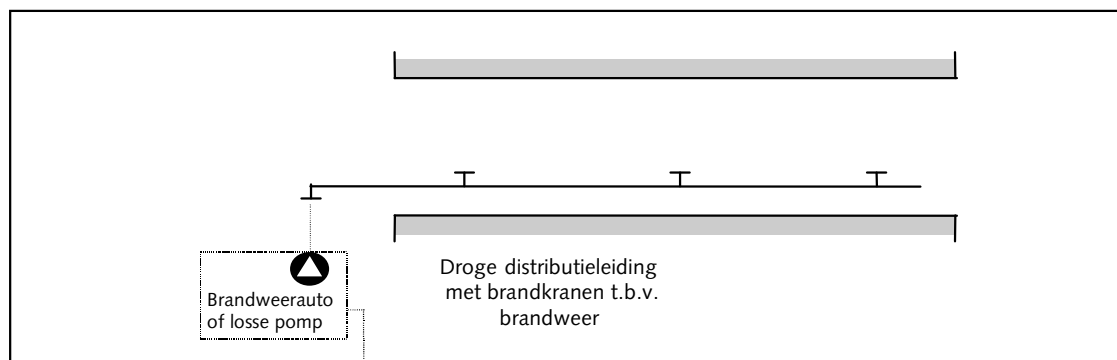
De brandweer dient altijd zelf op de distributieleiding (of het waterreservoir) water te kunnen suppleren door middel van eigen en zelf meegebrachte pompinstallaties. Hiervoor dienen aan de buitenzijde van de tunnel geschikte aansluitingen aanwezig te zijn. Een alternatieve methode is het maken van een grote aansluiting van het drinkwaternet op het waterreservoir.

Toevoegen van schuimvormend middel

Het toevoegen van een schuimvormend middel aan het distributiesysteem ten behoeve van de brandweer wordt bij voorkeur achterwege gelaten. De redenen hiervoor zijn:

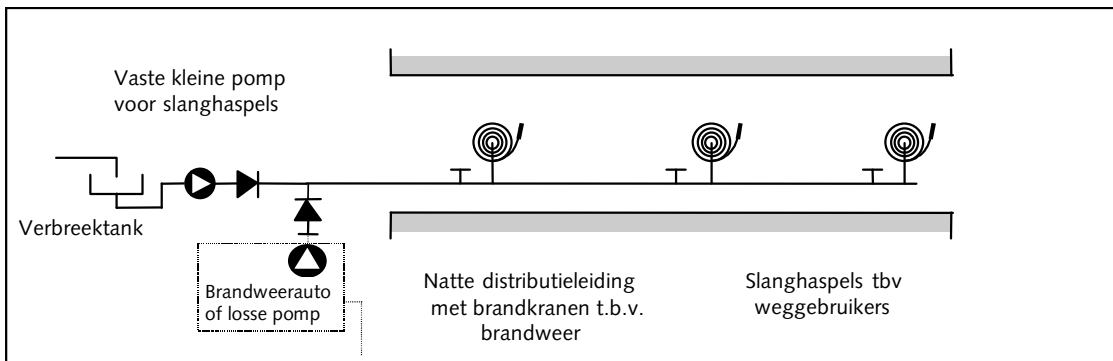
- Veel branden zijn met alleen water te blussen.
- Schuimvormend middel is duur zodat gebruik ervan dient te worden vermeden indien dit niet noodzakelijk is.
- Bij toepassing van een bijmengend systeem voor de brandweer zou men de mogelijkheid dienen in te bouwen om in voorkomend geval al dan niet het mengsysteem te activeren. Dit impliceert een lokaal bijmengend systeem dat veel onderhoud vereist.
- De brandweer heeft meestal schuimvormend middel bij zich aan boord van de brandweerwagen ter plaatse. Opgemerkt wordt dat dit middel niet altijd AFFF⁴⁰ is.
- De brandweer heeft de mogelijkheid op de hulppost naar keuze één of twee brandslangen of een waterkanon aan te sluiten. Het is niet aannemelijk dat bij een waterkanon sproeischuim dient te worden toegevoegd: een waterkanon is in de eerste plaats bedoeld de brand te koelen. Een schuimmenger dient dus te zijn afgestemd op het debiet van maximaal twee brandslangen en dan is het maar de vraag of het debiet van een waterkanon kan worden gehanteerd. Dit probleem zou kunnen worden opgelost met kortsluitleidingen en afsluiters maar ook hiervoor geldt weer: hoe meer techniek hoe groter de kans op technisch falen of menselijke fouten.

De volgende figuren geven in oplopende omvang een schematisch overzicht van de mogelijkheden voor brandblussystemen.

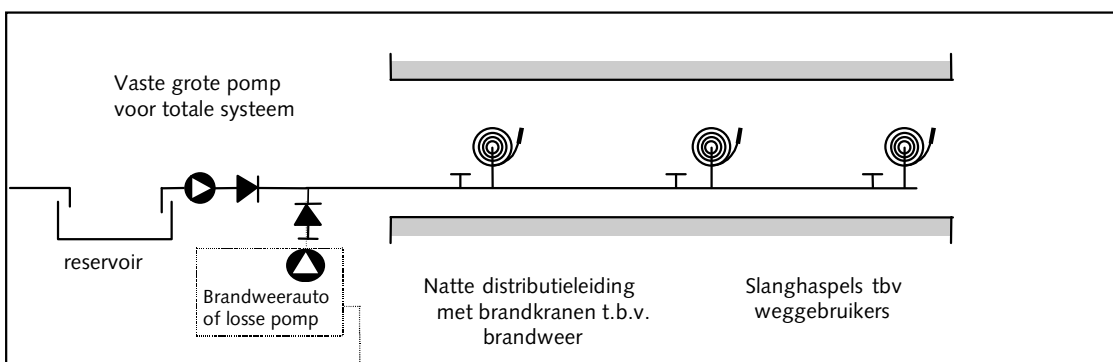


Figuur 15-2: Uitsluitend een droge distributieleiding ten behoeve van de brandweer

⁴⁰ AFFF staat voor Aqueous Film Forming Foam



Figuur 15-3: Slanghaspels in combinatie met een distributieleiding voor de brandweer



Figuur 15-4: Slanghaspels in combinatie met een compleet brandblussysteem voor de brandweer

15.4 (Half)Automatische en speciale hulpmiddelen

Uit bestudering van de verslaggeving van enkele grote branden blijkt dat deze vaak niet benaderbaar waren vanwege de grote hitte en de hoeveelheden rook. In de beschreven gevallen was de tunnel voorzien van een dwarsventilatiesysteem waarbij men de rookbeweging niet kon beheersen en er ongecontroleerde langsstromingen ontstonden, terwijl de afvoercapaciteit veruit onvoldoende bleek voor de hoeveelheid rook. Zich baserend op deze gevallen is er discussie over de toepassing van sprinklerinstallaties ontstaan en worden andere technische systemen bedacht met als doel(en):

- het op afstand blussen van de brand;
- het koelen van nog niet in brand geraakte voertuigen teneinde branduitbreiding of explosie te voorkomen;
- het koelen van de tunnelconstructie waardoor deze langer intact blijft of minder beschadigd wordt;
- het afsluiten van de sectie met brand van de overige tunneldelen waardoor rook zich niet onbeperkt kan verspreiden.

Systemen zijn onder andere:

- Sprinklersystemen met grote druppel;
- watermistsystemen die een (zeer) fijne waternevel spuiten met lage of met hoge druk, met als voornaamste doel de brand te koelen;
- sproei- of spuitinstallaties op een voertuig of geleiderail;
- watergordijnen;
- opblaasbare balgen die de tunneldoorsnede afsluiten.

In verband met sprinklersystemen gelden de overwegingen:

- Volautomatische sprinklersystemen met verbreekpatronen in de sprinklerkoppen (zoals gebruikt in gebouwen) zijn niet aan te bevelen, omdat in een tunnel de hete rook zich zeer snel verspreidt, waardoor het systeem dus over een groot gebied in werking zal treden, waardoor de waterdruk sterk daalt en het systeem niet meer goed functioneert.
- In Japan, Australië en de Verenigde Staten zijn sprinklersystemen toegepast waarbij secties zijn voorzien van open sprinklerkoppen en een automatische afsluiter per sectie. Door middel van een detectiesysteem wordt brand gedetecteerd en wordt de betreffende sectie automatisch dan wel door een operator ([wegverkeersleider](#)) met de hand ingeschakeld. Volgens Amerikaanse ervaring zijn er geregeld valse alarmen en dus onnodig in werking treden hetgeen de verkeersveiligheid vermindert. Volgens mondelinge informatie heeft in een Amerikaanse tunnel het sprinklersysteem daardoor ongevallen veroorzaakt. In Japan worden sprinklersystemen alleen in tunnels langer dan 5000m toegepast sinds circa 1970; de meeste systemen zijn sinds 1985-1990 gebouwd. Uit ervaring blijkt dat bij goed onderhoud er geen valse meldingen en onnodige inwerkingtreding voorkomen. De systemen zijn in de loop der jaren slechts enkele malen (volgens informatie 6 maal) gebruikt en alleen voor relatief kleine branden van enkele voertuigen. Niet duidelijk is of de situatie zonder sprinkler uit de hand zou zijn gelopen. Wereldwijd zijn de meningen over de toepassing van sprinklersystemen daarom verdeeld.
- Een sprinklersysteem werkt op basis van het in beweging brengen van lucht en waterdruppels, zowel bij conventionele systemen als bij lage of hoge druk mistsystemen. Dat betekent dat eventueel gestratificeerde rook onmiddellijk over de hele tunneldoorsnede wordt verspreid (binnen 5 seconden na het aanzetten van het systeem) en het zicht tot minder dan 10m daalt. Als geen rook aanwezig is daalt het zicht afhankelijk van het systeem tot circa 15-25m. Men zou dus moeten wachten met het aanzetten van het systeem tot iedereen gevlucht is, maar aan de andere kant als men het systeem niet vlug genoeg aanzet versmelten bij mistsystemen de leidingen en sprinklerkoppen vanwege de hoge temperatuur. Bij conventionele sprinklersystemen is dat niet of nauwelijks het geval.
- Bij proeven in een tunnel in Oostenrijk (verricht in 2000) werd bevestigd wat bij eerdere proeven in Oostenrijk en Japan al was gebleken: het blussen van een ontwikkelde brand leidt tot grote hoeveelheden stoom. Bij afwezigheid van langsventilatie worden rook en stoom naar plaatsen weggeduwd die daarvoor veilig leken. Bij dwarsventilatie kan men verwachten dat de hoeveelheden vrijkomende stoom en rook niet geheel kunnen worden weg geventileerd waardoor in een groot gebied temperaturen hoger dan 70-100 °C optreden.
- Stoom/rook van meer dan 70 °C leidt volgens medici tot een vele malen grotere schade aan de longen dan droge lucht/rookgassen van dezelfde temperatuur.
- Voor de meest voorkomende kleine personenautobrand is een [draagbaar brandblusapparaat](#) of slanghaspel een beter hulpmiddel dan een sprinkler, vooral bij branden onder de motorkap en interieurbranden.
- Door een goed ontworpen langsventilatiesysteem is de brand aan één zijde benaderbaar en kan handmatig worden geblust.
- Een sprinklersysteem kan in veel gevallen een voertuigbrand niet blussen maar wel beperkt houden en voorkomen dat de brand zich uitbreidt. De brandweer kan na aankomst de brand dan relatief eenvoudig blussen.
- Met sprinklersystemen kunnen LPG-tankauto's in de directe omgeving van de brand gekoeld worden, zodat uitbreiding van de brand of ontploffing kan worden voorkomen.

In de Piarc-uitgave van 1999 wordt een scala van redenen gegeven om geen sprinklersystemen in tunnels voor wegverkeer toe te passen. De belangrijkste conclusie is dat automatische en halfautomatische blussystemen niet geschikt zijn voor het redden van mensen, maar alleen ten doel hebben de schade aan de constructie te beperken. Hiervoor zijn andere en degelijker oplossingen voorhanden zoals een goede detaillering van de constructie, hittewerende bekleding en mechanische ventilatie.

In de Amerikaanse NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges and Other Limited Access Highways 1998 wordt de toepassing van sprinklers in het algemeen afgeraden en in het geval alle transporten door een tunnel worden toegelaten de aanleg van dergelijke systemen per geval af te wegen.

Vooralsnog is de toepassing van sprinklersystemen geen vanzelfsprekende zaak⁴¹.

⁴¹ Momenteel wordt nog nader onderzoek verricht naar de kosteneffectiviteit van automatische brandbestrijdingssystemen, zoals sprinklers, watermistsystemen e.d.

16 Kabels en leidingen

Van dit hoofdstuk is geen bijlage.

17 Hulpposten

17.1 Algemeen

Afhankelijk van de situatie worden de volgende voorzieningen in een hulppost aangebracht:

- [Noodtelefoon](#);
- brandblusmiddelen voor de weggebruiker: [draagbaar brandblusapparaat](#) en eventueel slanghaspel;
- brandblusmiddelen voor de brandweer: 2½" brandkraan;
- drukknop (bij toepassing van drukverhogingsinstallatie) ten behoeve van start van de installatie;
- inwendige verlichting ten behoeve van zichtbaarheid / herkenbaarheid;
- WCD (wandcontactdoos) 230 V, 16 A voor algemene doeleinden.

De onderbouwing om de bovengenoemde voorzieningen beschikbaar te stellen wordt aangegeven in hoofdstuk 13 (Communicatiemiddelen) en hoofdstuk 15 (Brandbestrijdingsmiddelen).

[Noodtelefoon](#)

Bij pech of ongeval in een tunnel is de communicatie tussen de weggebruiker en de operator ([wegverkeersleider](#)) enerzijds en de hulpdiensten en de operator anderzijds van groot belang. In verband hiermee is in een hulppost een [noodtelefoon](#)toestel aangebracht. Bij opnemen van de hoorn wordt er direct contact gemaakt met de operator.

[Draagbaar brandblusapparaat](#)

Bij het toepassen van [draagbare brandblusapparaten](#) bij rijbanen met één rijstrook mogen deze aan de linker- of rechterzijde worden aangebracht.

In geval van één rijstrook en een vluchtstrook worden de voorzieningen aan de rechterzijde aangebracht. Bij rijbanen met meerdere rijstroken worden in elk geval aan de rechterzijde voorzieningen aangebracht en bij 3 of meer rijstroken ook altijd links.

[Slanghaspel](#)

Bij toepassing van slanghaspels wordt het niet noodzakelijk geacht deze aan beide zijden van de rijbaan aan te brengen. Het wordt als voldoende beschouwd dat aan één zijde van de rijbaan een slanghaspel in combinatie met een [draagbaar brandblusapparaat](#) wordt aangebracht en zonodig aan de andere zijde alleen een [draagbaar brandblusapparaat](#).

[2½" brandkraan en drukknop](#)

Bij het toepassen van brandblusmiddelen voor de brandweer worden brandkranen aangebracht. Bij toepassing van een drukverhogingsinstallatie wordt ook een start-drukknop aangebracht.

17.2 Ontwerpaspecten

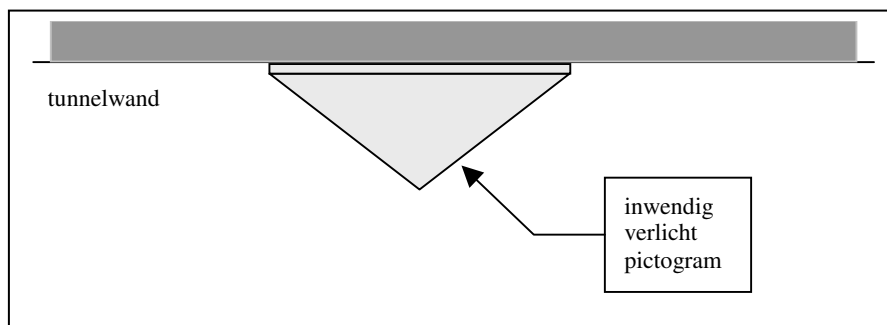
Uit onderzoek⁴² is gebleken dat met betrekking tot de herkenbaarheid van de hulppost, de indeling, de herkenbaarheid van de voorzieningen en informatievoorziening eisen gesteld dienen te worden. De tijd vanaf het waarnemen van een calamiteit tot het daadwerkelijk ondernemen van actie kan hierdoor aanmerkelijk worden bekort. Tevens is de plaats waar de hulppost is aangebracht van invloed op het gebruiksgemak.

Met betrekking tot de toepassing worden, op basis van de aangebrachte voorzieningen, de volgende hulpposten onderscheiden:

Type hulppost	A	B	C	D	E	F
Noodtelefoon	*	*	*			*
Draagbaar brandblusapparaat	*	*	*	*	*	
Slanghaspel	*					
2½" Brandkraan	*	*			*	
Drukknop (bij drukverhogingsinstallatie)	*	*				
Inwendige verlichting	*	*	*	*	*	*
Wandcontactdoos 230V	*	*	*	*	*	

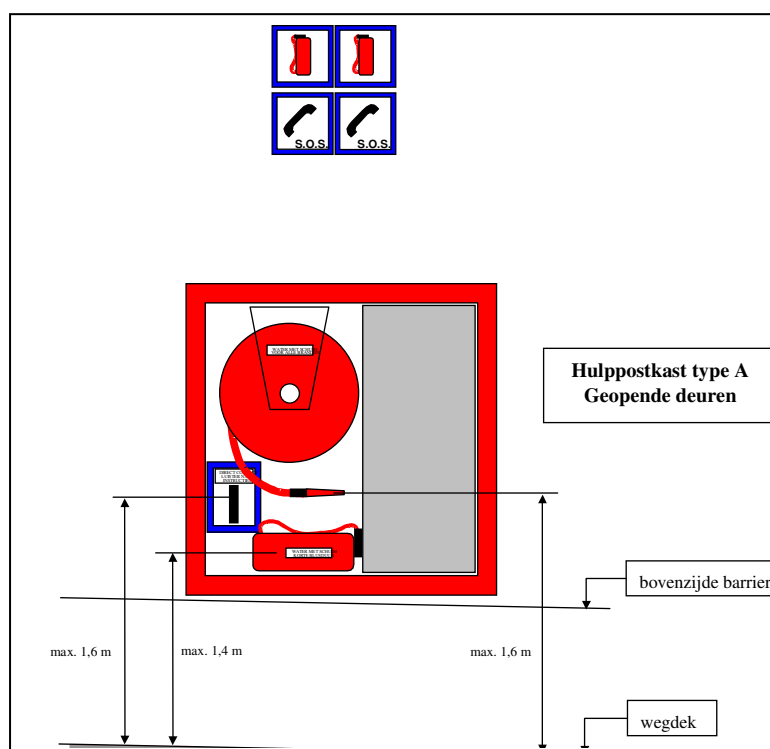
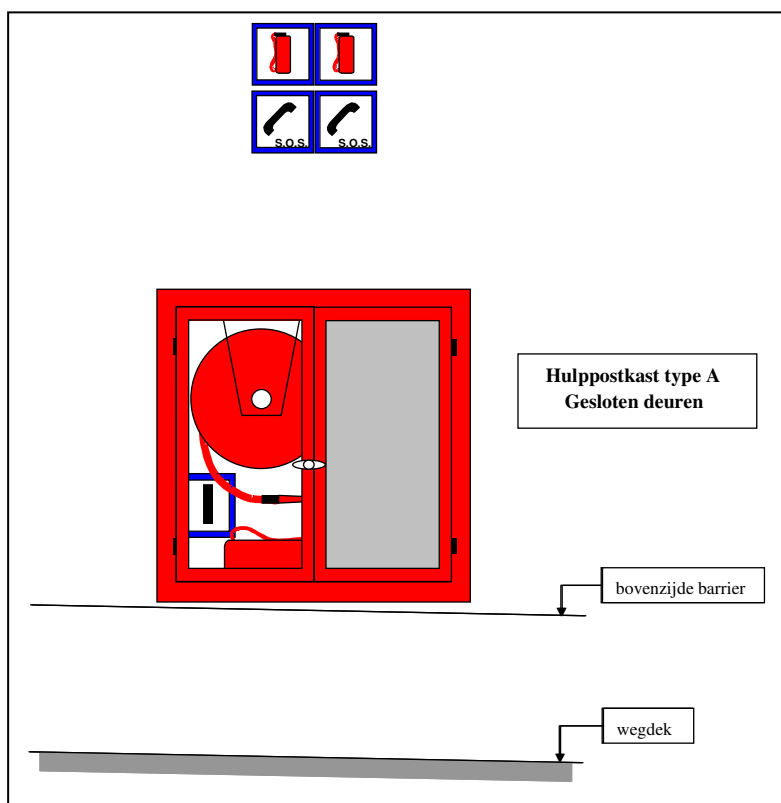
Voor de afmeting, uitvoering en herkenbaarheid van hulppost type A en hulppost type B zie onderstaande tekeningen. De indeling van de hulpposttypen C, D en E kan worden afgeleid van type B.

De hoogte ten opzichte van het wegdek waarop de hulppostpictogrammen dienen te worden aangebracht dient zodanig te zijn dat deze pictogrammen, in langsricting gezien, de pictogrammen boven de vluchtdeuren niet afschermen.

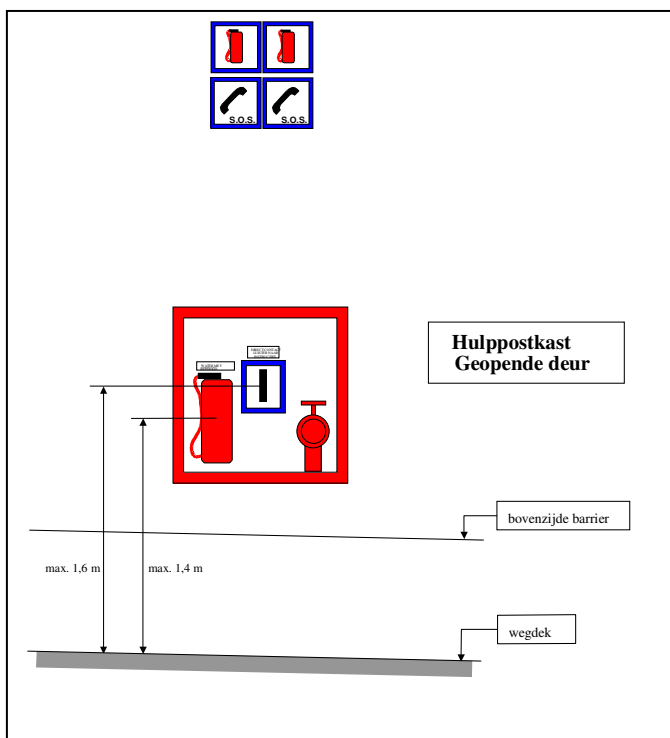
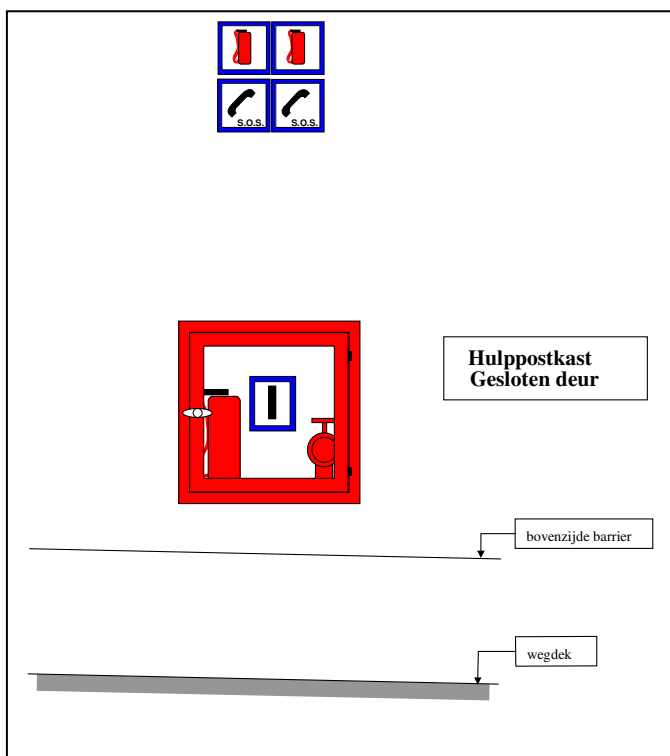


Bovenaanzicht inwendig verlichte pictogrammen boven de hulppost

⁴² Rapport TNO Technische menskunde, TM-01-Co17



Hulpkast type A



Hulpkast type B

18 Hulpverlening

Van dit hoofdstuk is geen bijlage.

19 Beleving

Van dit hoofdstuk is geen bijlage.

20 Beheer en onderhoud

20.1 Algemeen

Met het ontwerp en de realisatie van een tunnel mag de aandacht voor veiligheid niet ten einde zijn. In de exploitatiefase van de tunnel is een goede veiligheidsorganisatie, als onderdeel van een integrale veiligheidsbenadering, dan ook van wezenlijk belang.

Dit hoofdstuk betreft uitsluitend de veiligheid bij het beheer en onderhoud van de tunnel en de daarin aanwezige (veiligheids)voorzieningen.

Voor de veiligheidsorganisatie met betrekking tot het optreden van incidenten wordt verwezen naar onderdeel E van de integrale veiligheidsfilosofie (voor de integrale veiligheidsfilosofie zie ook hoofdstuk 1).

De veiligheidsorganisatie is gebaseerd op het functioneren van vele (deel)systemen. In de exploitatiefase zullen deze systemen vervuilen, verouderen, slijten of beschadigd raken. Zeker is dat na verloop van tijd de functionaliteit van elk onderdeel zal zijn verminderd ten opzichte van de begintoestand, wanneer niet adequaat onderhoud hieraan wordt gepleegd dan wel vervanging plaatsvindt.

20.2 Onderhoudssituaties

De uitvoering van onderhoud zal in sommige gevallen gepaard gaan met een noodzakelijk afsluiten van één of meerdere rijstroken. Daarbij doet zich het vraagstuk voor of daarbij in de andere buis tegenverkeer kan worden toegestaan. De toenemende verkeersintensiteiten, ook in de traditioneel rustige uren, alsmede het al maar groeiende vrachtverkeer nopen tot grote voorzichtigheid hiermee. Recente grote tunnelbranden in de Alpenlanden tonen eens te meer aan dat juist deze situatie tot zeer gevaarlijke omstandigheden kan leiden. Ontwikkelingen met betrekking tot arbeidsomstandigheden (ARBO) leggen aan deze oplossingsrichting ook grote beperkingen op.

21 Compenserende maatregelen bij falen van tunnelinstallaties

.....

....

21.1 Algemeen

Een verkeerstunnel wordt ontworpen voor het veilig doorlaten van wegverkeer; hiertoe worden allerlei veiligheidsmaatregelen getroffen. Bij uitvallen (falen) van één of meer veiligheidsinstallaties wordt de tunnel in feite minder veilig bruikbaar. Indien de veiligheid niet meer voldoende te garanderen is dient de tunnel te worden afgesloten.

In een aantal gevallen kan (gedeeltelijk) falen geheel of grotendeels worden gecompenseerd door tijdelijke aanvullende of vervangende maatregelen waardoor de tunnel als geheel niet behoeft te falen.

In deze bijlage wordt behandeld welke compenserende maatregelen kunnen worden toegepast om de tunnel in bedrijf te houden bij het geheel of gedeeltelijk falen van tunnelinstallaties. Bij adequate compensatie kan een acceptabel veiligheidsniveau worden gehandhaafd.

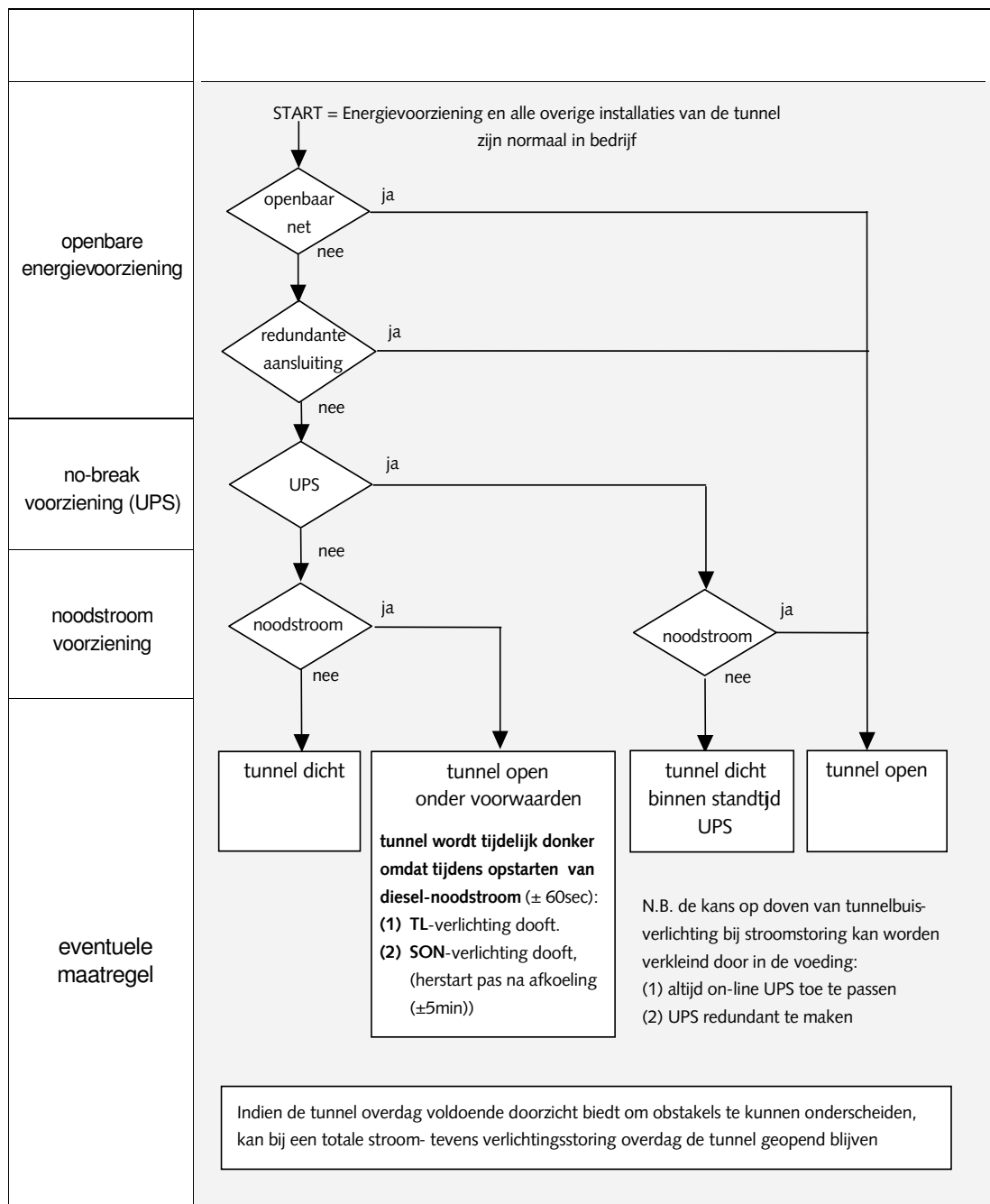
Uitgangspunt bij het bepalen en toepassen van compenserende maatregelen is dat, bij uitval van (delen) van tunnelinstallaties, de overige installaties normaal hun functie blijven vervullen. Tegelijkertijd falen van verschillende onafhankelijk van elkaar functionerende installaties is niet beschouwd, mede omdat gecombineerd falen in vrijwel alle gevallen kan worden toegeschreven aan falen van een bovenliggende installatie zoals bijvoorbeeld de centrale bediening, de besturing of de energievoorziening. Gecombineerd falen kan ook het gevolg zijn van een gebeurtenis die zó veelomvattend is (bijvoorbeeld brand in een tunnelbuis), dat in eerste instantie andere dan uitsluitend compenserende maatregelen noodzakelijk zijn.

21.2 Maatregelen bij falen

Onderstaand wordt voor een aantal installaties aangegeven hoe kan worden omgegaan met het (gedeeltelijk) falen ervan.

1 Falen van de energievoorziening

In het volgende flowschema zijn het falen van de energievoorziening en de bijbehorende maatregelen aangegeven.



2 Falen van de tunnelverlichting

Het falen van een deel van de tunnelverlichting kan worden gecompenseerd door middel van snelheidsbeperking en waarschuwingsborden en/of geleidingsmiddelen.

De tunnelbuisverlichting is onderverdeeld in secties van circa 60m. Daardoor wordt falen door bijvoorbeeld een kortsluiting beperkt tot één sectie en kan de tunnelbuis geopend blijven met compenserende maatregelen.

Bij volledig falen van de tunnelverlichting dient de tunnel te worden afgesloten.

Bij volledig falen van de verlichting is het zicht zeer beperkt en wordt ook visuele bewaking en detectie met behulp van CCTV onmogelijk. Bij aanwezigheid van lusedetectie wordt wel een incident gedetecteerd maar is informatie over de aard van het incident zeer beperkt. Derhalve zijn compenserende maatregelen ontoereikend om een voldoende veiligheidsniveau te handhaven en dient de tunnel te worden afgesloten. Bij volledig of gedeeltelijk falen van de tunnelverlichting overdag én indien de tunnel voldoende doorzicht biedt om obstakels te kunnen onderscheiden, kan de tunnel geopend blijven.

3 Falen van de drainagepompinstallaties

Compenserende maatregelen zijn niet of zeer beperkt mogelijk.

3.1 Hoofdkelders:

Bij falen van de pompen van de hoofdkelders ontstaat pas een gevaarlijke situatie als de kelder overloopt en water over de weg de tunnel in gaat stromen. Compenserende maatregel: afhankelijk van de storing reservepomp(en) bijplaatsen; afvoer van deze pomp(en) aansluiten op bestaande persleiding of tijdelijke afvoerslang naar buiten de tunnel.

3.2 Middenkelders:

Bij falen van de pompen van de middenkelder ontstaat pas een gevaarlijke situatie als de kelder overloopt en water op de weg komt te staan. Een compenserende maatregel is in feite niet mogelijk. Bij dreiging van overlopen van de kelder (bij de melding van hoog-hoog-water) kan een snelheidsbeperking worden ingesteld. De tunnel dient echter te worden afgesloten indien water op de weg wordt geconstateerd. Eventueel een tijdelijke voorziening aanbrengen, afhankelijk van de aard van de storing die tot falen heeft geleid.

4 Falen van het tunnelventilatiesysteem

4.1 Ventilatiesysteem in de tunnelbuis:

(Gedeeltelijk) falen van ventilatie heeft in principe geen gevolgen voor het normale verkeer. Compenserende maatregelen bij falen van de tunnelventilatie zijn bij normaal rijdend verkeer niet nodig.

- Wanneer echter door toenemende verontreiniging ventilatiecapaciteit gevraagd wordt, kan worden gecompenseerd door gedoseerd toelaten van verkeer met behulp van de verkeersinstallatie.
- Te overwegen is om bij volledig falen geen vrachtverkeer toe te laten voor de duur van het falen. Deze maatregel moet dan wel tijdig aan het vrachtverkeer kenbaar gemaakt kunnen worden (bijvoorbeeld door middel van DRIPs).

Indien de aan de verontreiniging gestelde grens wordt overschreden dient de tunnel te worden afgesloten.

Normaal rijdend verkeer handhaaft een voldoende ventilatiestroom in de tunnelbuis.

Bij een grote brand speelt de ventilatie een belangrijke rol bij het vermijden en beperken van levensbedreigende en/of tunnelbedreigende situaties. Een personenautobrand is niet zodanig bedreigend dat zonder ventilatie een direct levensgevaarlijke of tunnelbedreigende situatie ontstaat. Bij vrachtwagenbranden is dat wel het geval. Daarom is te overwegen geen vrachtwagens toe te laten in tunnels waarvan de ventilatie is uitgevallen.

4.2 Falen van het systeem voor het bepalen van de verontreinigingconcentratie

Het falen van het systeem voor het bepalen van de verontreinigingconcentratie kan worden gecompenseerd door het preventief starten van (een deel) van de tunnelventilatie, afhankelijk van het verkeersaanbod (naar het oordeel van de operator [c.q. wegverkeersleider](#) en/of tunnelbeheerder).

5 Falen van verkeersinstallatie

5.1 Rijstrook signalering en verkeerslichten:

In principe is onder normale omstandigheden (normaal verkeer, geen rijstrookblokkeringen) het falen van verkeersinstallaties niet een directe aanleiding om de tunnel af te sluiten (voor zover dat nog zou kunnen zonder verkeersinstallatie). Een compenserende maatregel is het tijdelijk plaatsen van verkeersborden (bijvoorbeeld snelheidsbeperking en waarschuwingsborden).

5.2 Verkeersdetectie:

Falen van verkeersdetectie (SOS/SDS) is geen reden om de tunnel af te sluiten. Wel is intensivering van de observatie van het verkeer noodzakelijk door bijvoorbeeld voortdurend scannen van de situatie in de verkeersbuis.

5.3 Hoogtemelding:

Falen van de hoogtemelding is geen reden om de tunnel af te sluiten. Er kan tijdelijk gecompenseerd worden door bebording met een waarschuwend tekst of aanduiding op DRIP.

Bij afwezigheid van hoogtedetectie neemt uiteraard de kans op aanrijdschade toe. Bebording met waarschuwend tekst die met nadruk wijst op de maximale doorrijhoogte van de tunnel (bijvoorbeeld: "LET OP: doorrijhoogte maximaal 4,xx meter") kan aanrijdingen, dus schade, beperken. Ga er vanuit dat het effect van deze tijdelijke maatregel afneemt naarmate hij langer aanwezig is.

5.4 VEVA en/of slagbomen:

Falen van deze systemen is geen reden om de tunnel af te sluiten.

Slagbomen zijn uitsluitend bedoeld ter consolidatie van rode verkeerslichten en kunnen eventueel ook met handkracht worden bewogen.

6 Falen van het brandblussysteem

Bij langdurig falen van (belangrijke onderdelen van) het brandblussysteem de brandweer inlichten. Eventuele compenserende maatregelen, zoals maatregelen om de operationele reactietijd te verminderen, in overleg met de brandweer bepalen. Eventueel tijdelijk bordjes, die aanduiden dat de slanghaspels buiten gebruik zijn, in de hulpposten aanbrengen.

Een maatregel om de operationele reactietijd te verminderen is bijvoorbeeld het inhuren van een interventiewagen, voorzien van brandblusmiddelen die permanent stand-by wordt gehouden nabij de tunnelinritten.

7 Falen van communicatiemiddelen

De communicatiemiddelen spelen alleen een rol bij de afhandeling van incidenten. Het falen van één van de communicatiemiddelen wordt niet gezien als een reden om de tunnel af te sluiten; de situatie zonder dit communicatiemiddel mag echter niet te lang blijven bestaan.

De communicatiemiddelen compenseren elkaar voor een deel.

7.1 CCTV-installatie:

(1) Bij falen van de CCTV-installatie is gedeeltelijke compensatie van het verlies van het direct visuele contact mogelijk door:

- waarneming vanuit nog werkende secties (alleen mogelijk indien niet alle secties zijn uitgevallen);
- fysiek patrouilleren door de tunnelbuis waarbij informatie kan worden gegeven door middel van portofooncontact;
- interpretatie van overige signalen (SOS/SDS, hulppost-deurcontact, [noodtelefoon](#), zichtmeting) al of niet in combinatie met [een melding via een noodtelefoon](#) door een in de tunnel aanwezige persoon en het nemen van maatregelen aan de hand van aanwijzingen van die persoon.

Bij het falen van de CCTV-installatie is direct visueel contact van de operator ([wegverkeersleider](#)) met de tunnelbuis verbroken. Bij incidenten in de tunnelbuis krijgt de operator wel informatie over gebeurtenissen in de tunnelbuis door middel van andere systemen (voor zover aanwezig). Hij is echter niet in staat zich door middel van eigen waarneming een beeld van de situatie te verschaffen en aan de hand daarvan maatregelen te nemen en/of aanwijzingen te geven.

(2) Bij falen van de CCTV-installatie ontstaat een verhoogde onveiligheid in de verkeersbuizen door afwezigheid van direct toezicht (en dus uitblijven van een snelle en adequate reactie van de operator). Maatregelen ter compensatie van deze verhoogde onveiligheid in de tunnel zijn:

- een algemene snelheidsbeperking gedurende de CCTV-storing;
- het blokkeren van de betreffende rijstrook (meestal rechts) bij een SOS/SDS-melding.

7.2 HF-installatie:

Bij storing of anderszins buiten bedrijf zijn van de HF-installatie is het niet mogelijk om tijdelijk gelijkwaardige vervangende voorzieningen aan te brengen.

- Als hulpdiensten moeten optreden in de tunnelbuis zonder HF dienen zij voor eigen verbindingen te zorgen. Daarom dienen de hulpdiensten op de hoogte te worden gesteld indien de HF-installatie geheel of gedeeltelijk buiten bedrijf is.
- Ter compensatie kan eventueel gebruik worden gemaakt van de [noodtelefoon](#)-installatie (voor communicatie van de tunnelbuis naar de controlekamer) en de luidsprekerinstallatie (voor communicatie van de controlekamer naar de tunnelbuis). Hierbij is echter altijd een tunneloperator intermediair; er kan niet rechtstreeks worden doorgesproken naar communicatiemiddelen van de hulpdiensten.

Opmerking: De HF-installatie maakt radiocommunicatie tussen personen vanuit en naar de tunnelbuis mogelijk. Bij een incident in de tunnelbuis waarbij derden moeten optreden is deze communicatie essentieel. Regelmatig testen van de goede werking van deze installatie is daarom noodzakelijk.

7.3 Luidsprekerinstallatie:

Bij afwezigheid van de luidsprekerinstallatie zijn personen in de tunnelbuis in principe onbereikbaar en kan niet worden teruggevallen op compenserende maatregelen.

- Mogelijk kan in enkele gevallen de HF-installatie worden gebruikt om via de autoradio mensen die zich binnen hun voertuig bevinden te instrueren.
- Indien personen hun, in de tunnelbuis tot stilstand gekomen, voertuig verlaten en vervolgens door hun gedrag zichzelf en het overige verkeer in gevaar brengen dient de operator ([wegverkeersleider](#)) de tunnelbuis af te sluiten.

Met de HF installatie kunnen uitsluitend automobilisten worden bereikt die zich in hun voertuig bevinden én hun autoradio hebben afgestemd op één van zenders die in de tunnel worden heruitgezonden of automobilisten met een ingeschakelde autoradio die is voorzien van RDS. Daarbij kan de via de HF verstrekte informatie niet specifiek selectief aan de hulpzoekende automobilist worden gegeven; de informatie is voor meerdere personen hoorbaar. Daarom is de HF ter compensatie van een luidsprekersysteem zeer beperkt bruikbaar.

7.4 Noodtelefooninstallatie:

Bij falen van (een deel) van de [noodtelefoon](#)installatie kan ter compensatie worden gebruikt:

- de luidsprekerinstallatie;
- (zeer beperkt) de HF-installatie; via de autoradio kan in een beperkt aantal gevallen de operator instructie geven aan de kennelijk hulp zoekende automobilist.

De [noodtelefoon](#)installatie heeft een praatpaalfunctie en is in hoofdzaak nodig om te communiceren met (hulpzoekende) personen die daartoe een [noodtelefoon](#) hebben opgenomen (in de hulpposten). Bij aanwezigheid van stilstanddetectie en CCTV wordt de operator automatisch geattendeerd op een hulpzoekende automobilist; hij kan deze door middel van de luidsprekerinstallatie van informatie voorzien.

8 Falen van de centrale bediening

Centrale bediening kan falen door het wegvallen van de transmissie en/of een algehele stroomstoring in de centrale bediening. Idem door brand, bommelding, bedreiging of sabotage; ook is in feite sprake van falen indien de operator niet reageert (zie hiervoor hoofdstuk 9).

Bediening van de tunnel is dan onmogelijk.

Gebruik van de tunnel, gedurende een beperkte periode, blijft aanvaardbaar mits compenserende maatregelen worden getroffen, zoals:

- niet-autonoom werkende installaties failsafe uitvoeren, dat wil zeggen bij het wegvallen van de besturing schakelen deze installaties naar een vóóringestelde bedrijfsstand, bijvoorbeeld: de brandbluspompen starten en de overdrukinstallatie van de vluchtweg wordt in bedrijf gesteld;
- een snelheidsbeperking instellen in de tunnel en eventueel aangeven op DRIPs dat observatie van de tunnel afwezig is. Gezien het belang van de snelheidsbeperking deze ondersteunen door een boodschap op de DRIP's, bijvoorbeeld: "LET OP, snelheidsbeperking actief";
- zo snel mogelijk een lokale bediening bezetten (indien aanwezig).

9 Vluchtweg is (gedeeltelijk) niet beschikbaar

Tijdens onderhoud of reparatie van/in de vluchtweg of van onder de vloer van de vluchtgang aanwezige installatiedelen is het mogelijk dat de vluchtweg deels geblokkeerd is. Een aantal compenserende maatregelen is mogelijk:

- als de vluchtgang in de lengterichting tijdelijk gedeeltelijk niet beschikbaar is: gebruik maken van de bergingscapaciteit van de vluchtgang;
- als de vluchtgang in de lengterichting in het geheel niet beschikbaar is: zo spoedig mogelijk na een calamiteit de andere verkeersbuis verkeersvrij maken en een vluchtweg naar de andere buis mogelijk maken door het bruikbaar maken van de vluchtdeuren naar de veilige buis; door middel van borden en hekken deze vluchtmogelijkheid voorbereiden als onderdeel van de werkzaamheden in de vluchtgang.

21.3 Samenvatting

Installatie	compenserende maatregelen bij falen
1. Energievoorziening	Zie flowschema. Bij volledige stroomuitval tunnel afsluiten behalve overdag bij voldoende doorzicht.
2. Tunnelverlichting	Snelheidsbeperking en waarschuwborden bij gedeeltelijk falen; tunnel afsluiten bij volledig falen behalve overdag bij voldoende doorzicht.
3. Drainagepompinstallaties	Afhankelijk van storing: tijdelijke pompvoorziening; snelheidsbeperking bij dreiging van overlopen; afsluiten bij water op de weg.
4.1 Ventilatie tunnelbuis	Bij grote luchtverontreiniging verkeer doseren; overwegen geen vrachtverkeer toe te laten bij volledig falen; afsluiten bij te hoge verontreiniging.
4.2 Bepaling van verontreiniging	Preventief ventileren (afhankelijk van verkeersaanbod).
5.1 Rijstrooksignalering	Plaatsen verkeersborden (snelheidsbeperking, waarschuwborden).
5.2 Verkeersdetectie	Scannen met CCTV.
5.3 Hoogtedetectie	Waarschuwborden/DRIP's.
5.4 VEVA/slagbomen	(eventueel) Handbediening.
6. Brandblussysteem	Overleg met brandweer; bordjes in hulppost
7.1 CCTV	Waarneming d.m.v. nog werkende CCTV secties; patrouilleren; interpretatie van SOS/SDS, hulppostdeurcontacten, noodtelefoon , of zichtmeting; snelheidsbeperking; blokkeren rijstrook bij SOS/SDS.
7.2 HF	Gebruik noodtelefoon en luidspreker; Hulpdiensten inlichten.
7.3 Luidsprekers	Eventueel HF.
7.4 Noodtelefoon	Luidsprekerinstallatie; HF (beperkt)
8. Centrale bediening	Niet-autonome installaties failsafe uitvoeren; snelheidsbeperking + waarschuwing op DRIP's; lokale bediening bezetten.
9. Vluchtroute	Bergingscapaciteit vluchtweg gebruiken; vluchtweg naar andere tunnelbuis.