

Algemene aspecten van tunnelgebruik en veiligheid

*Frank J.J.M. Steyvers
Dick de Waard
Karel A. Brookhuis*

november 1999

COV 99-09

Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie

Faculteit PPSW
Rijksuniversiteit Groningen
Grote Kruisstraat 2/1
9712 TS Groningen
tel (050) 3636758
fax (050) 3636784
e-mail COV.INFO@PPSW.RUG.NL
www <http://www.ppsw.rug.nl/cov/index.htm>

© 1999, Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie, Rijksuniversiteit Groningen

Uit deze uitgave mag niets worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

ISBN 90-6807-358-3

Trefwoorden: Tunnels, Wegverkeer, Veiligheid, Gedrag

Voorwoord

Het voorliggend rapport doet verslag van een literatuurstudie naar de gedragsaspecten van veiligheid bij wegverkeerstunnels. Het vormt een onderdeel van een onderzoeksproject over tunnels en veiligheid, dat het Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie van de Rijksuniversiteit Groningen uitvoert in opdracht van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat te Utrecht. De auteurs danken hierbij de heer Ir. J.W. Huijben voor de opdracht en de medewerking bij het uitvoeren van deze studie.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	6
Summary.....	7
1 Inleiding en indeling rapport.....	8
2 Tunnels en hun problemen.....	10
2.1 Definitie en doel.....	10
2.2 Historisch overzicht.....	10
2.3 Tunnels in Nederland.....	11
3 Soorten tunnels.....	13
4 Incidenten en accidenten in tunnels en andere relevante situaties – een aantal voorbeelden uit de literatuur.....	15
4.1 King's-Cross metrostation-brand (18 november 1987).....	15
4.1.1 Situatie.....	15
4.1.2 Verloop.....	15
4.1.3 Analyse.....	16
4.1.4 Maatregelen.....	16
4.2 Huguenot tol tunnelbrand (Zuid-Afrika, 27 februari 1994).....	17
4.2.1 Situatie.....	17
4.2.2 Verloop.....	17
4.2.3 Analyse.....	18
4.3 Kingsway-tunnelbrand (Liverpool, 15 oktober 1994).....	18
4.3.1 Situatie en verloop.....	18
4.3.2 Analyse.....	19
4.4 Busbrand, Ekeberg tunnel (Oslo, 21 augustus 1996).....	20
4.5 Mont-Blanc-tunnelbrand (24 maart 1999).....	20
4.5.1 Situatie.....	20
4.5.2 Verloop.....	21
4.5.3 Analyse.....	22
4.6 Tauern-tunnelbrand, 29 mei 1999.....	23
4.7 Overigen.....	23
5 De rijtaak en relevante factoren.....	25
5.1 Niveaus.....	25
5.2 Deeltaken en invloeden.....	25
5.3 Beïnvloedende factoren.....	26
5.4 Andere aspecten.....	27
6 De rijtaak in tunnels: omstandigheden, situaties en gedrag.....	29
6.1 Algemene aspecten.....	29
6.2 Rijden door tunnels.....	31

6.3 Noorse inventarisatie.....	32
6.4 Beleving van tunnels.....	35
6.5 Situaties met brand.....	36
6.5.1 Algemeen.....	36
6.5.2 Brand – meer technische aspecten.....	37
6.5.3 Gedrag van mensen bij brand.....	40
6.5.4 Problemen bij brand.....	42
6.6 Individueel versus massagedrag.....	43
6.6.1 Analyses door Sime.....	43
6.6.2 Analyse door Canter et al.....	45
6.6.4 Overige analyses.....	46
6.6.5 Tijd om te ontsnappen.....	46
6.7 Paniek.....	47
6.8 Gedrag in noodsituaties.....	47
7 Sturing van gedrag bij incidenten en accidenten; voorzieningen.....	49
7.1 Zelfredzaamheid en bevordering ervan: hulpmiddelen.....	49
7.2 Veiligheidssystemen en meer technische aspecten.....	49
7.3 Risico en evacuatie.....	52
7.4 Human factors bij veiligheidsmiddelen en evacuaties.....	53
7.5 Enige meer algemene en theoretische beschouwingen.....	58
8 Hulpdiensten en reddingsoperaties.....	62
8.1 Planning en ontwerp.....	62
8.2 Alarmeren.....	63
8.3 Oefeningen en simulaties.....	64
9 Implicaties van al het bovenstaande voor tunnelveiligheid: waar op te letten.....	65
9.1 Lessen geleerd uit de King's Cross metrobrand.....	65
9.2 Te leren van de Mont-Blanc-ramp.....	66
9.3 Verder.....	66
9.4 Maatregelen en betrokkenen.....	67
9.5 Slotconclusie.....	67
Literatuur.....	69

Samenvatting

Dit rapport geeft een overzicht van literatuur die betrekking heeft op aspecten van menselijk gedrag bij het gebruik van (weg)verkeerstunnels, en de veiligheid die hiermee in het geding is. De gebruikte literatuur overziende kan die worden ingedeeld in twee groepen: literatuur over het normale gebruik van tunnels en literatuur over tunnels en in/accidenten (en rampen). Bij het normale gebruik van tunnels is het van belang te zorgen voor aspecten die de optimale uitvoering van de betreffende taken tot gevolg hebben. Deze taken betreffen dan de rijtaak voor de weggebruikers, de supervisie- en controletaak voor controlekamer-operators, de onderhouds- en beheerstaak voor de wegbeheerders. Bij in/accidenten betreft het het gedrag van de tunnelgebruikers op dat moment, en het gedrag van controlekamer-operators, wegbeheerders en hulpverleningsdiensten.

Duidelijk is geworden dat :

- 1) een veilige tunnel is net als een veilige auto een sprookje. Veiligheid is een functie van de interactie tussen alle componenten en participanten in het systeem – technisch maar bij uitstek ook humaan. Deze interactie kan met allerlei maatregelen worden geoptimaliseerd, mits het gedrag hierbij een leidraad vormt.
- 2) de overgang tussen de taakuitvoering bij de normale en bij een buitengewone situatie (in/accident) vormt een essentiële kwestie als het erom gaat in buitengewone omstandigheden zo snel mogelijk het optimale te (laten) doen om de schade (in alle betekenissen van het woord) te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Ook hierbij zijn alle componenten en participanten in het systeem betrokken en van belang.

Summary

This report gives an overview of literature on aspects of human behaviour in the use of (road) traffic tunnels, and the safety issues involved. The literature used may be divided in two groups: literature about the normal use of a tunnel and literature about in/accidents (and catastrophes). During normal tunnel use it is important that aspects for the optimal execution of the relevant tasks are taken care of. These tasks concern the driving task of road users, the supervisory and control task for control room operators, and the maintenance and management tasks of the road administrators. In case of an in/accident it concerns behaviour of road users for that moment, and the behaviour of control room operators, road administrators and emergency services personnel

It became clear that:

- 1) a safe tunnel is a fairy tale, as is a safe car. Safety is a function of the interaction between all components and participants in the system – technically and especially human. This interaction may be optimised by various measures, but only when human behaviour is taken as a guideline.
- 2) the transition between task execution during normal and during extra-ordinary situations (in/accidents) is the essential issue when trying to make happen in these extra-ordinary situations the optimal to prevent or mitigate damage (in all meanings of the word). Here too all components and participants in the system are involved and are considered important.

1 Inleiding en indeling rapport

In opdracht van de Bouwdienst Rijkswaterstaat te Utrecht onderzoekt het Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie van de Rijksuniversiteit Groningen de aspecten van tunnels en veiligheid die met verkeersgedrag te maken hebben. Bekend is in het verkeer dat problemen met de veiligheid voor het grootste deel veroorzaakt worden door de menselijke component in het verkeerssysteem – bestuurders die op één of andere manier een fout of een overtreding maken, waarna een incident of een ongeval plaats vindt.

Een dergelijk in/accident (zoals in het huidige rapport zal worden afgekort) kan in een tunnel aanzienlijk sneller dan op een open weg leiden tot grote problemen voor de betrokkenen zelf, maar ook voor alle andere tunnelgebruikers op dat moment. Het gruwelbeeld van een zich ontwikkelende brand na een ongeval met een vrachtwagen vol kennelijk toch brandbaar materiaal zal iedereen wel voor ogen staan die zich de vrij recente rampen in de Mont-Blanctunnel en de Tauerntunnel herinnert. Tunnels zijn omgevingen die specifieke eigenschappen hebben, waar het van belang is dat alle betrokkenen snel en adequaat op een in/accident reageren om een echt probleem te voorkomen dan wel zo klein mogelijk te houden.

Veilige tunnels bestaan niet. Een tunnel maakt immers deel uit van een transport- en verkeerssysteem waarbij andere factoren en actoren een grote rol spelen. Ofschoon er misschien nog een aantal technische verbeteringen mogelijk is op het gebied van maatregelen die de consequenties van een accident kunnen beheersen of verkleinen (bijvoorbeeld ventilatie-technieken), zal er meer te verwachten zijn van maatregelen in de ergonomische, communicatieve en organisatorische sfeer, al dan niet ondersteund met enige technische voorzieningen, om het ontstaan van problemen te voorkomen, en de bestrijding ervan te verbeteren.

Van groot belang is het inzicht dat er een gigantisch verschil bestaat tussen het gebruik van de tunnel als er niets aan de hand is, en de situatie na het ontstaan van een in/accident. Tijdens het normale gebruik van een autotunnel kan kennis over de rijtaak worden aangewend om de tunnelinrichting en uitmonstering te optimaliseren. Echter als er een in/accident gebeurt is dat gedrag opeens niet meer adequaat, en worden er volstrekt andere taken geveerd, die uiteindelijk neerkomen op (anderen) waarschuwen en/of (anderen) helpen en/of (vuur) bestrijden en/of vluchten. Dat vergt van de betrokkenen een enorme gedragsomslag, die alleen kan optreden vinden als er een omschakeling plaats vindt van het mentale model op basis waarvan het gedrag wordt gestuurd. Hiermee hebben de meeste mensen problemen, en één van de aspecten waarop reguleringsmaatregelen zich moeten richten is het regisseren van deze mentale omslag, waarna het gewenste gedrag kan worden gestuurd en begeleid. Het besef dat deze mentale omslag cruciaal is in een effectief optreden van omstanders, tunneloperatoren en hulpdiensten is een van de markantste inzichten van deze literatuurstudie geweest.

Het huidige rapport geeft een overzicht van een grote hoeveelheid literatuur, die zich in eerste instantie concentreert om drie omvangrijke proceedingsbundels van de congressenreeks Safety in Road and Rail Tunnels, maar ook van stukken daarbuiten. In Hoofdstuk 2 wordt kort enige algemene informatie over tunnels gegeven. Hoofdstuk 3 bevat een beknopte opsomming van de diverse aspecten die een tunnel kenmerken en die voor het gedrag en daarmee voor de veilig-

heid van belang zijn. Hoofdstuk 4 geeft samenvattingen van een aantal tunnelrampen, met een analyse van hoe het zo is gekomen. Hierin zijn elementen voor probleem-analyse en taak-analyse opgenomen. Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de psychologische aspecten van verkeersgedrag, met name de autorijtaak. Allerlei aspecten worden kort besproken die met veiligheid in het algemeen te maken hebben. Het verkeersgedrag in relatie tot tunnels wordt in hoofdstuk 6 besproken. Ook allerlei gedragsturende aspecten, zoals meningen over, en de acceptatie en beleving van tunnels komen aan bod. Daarnaast wordt het gedrag van mensen in brand besproken, niet alleen in tunnels maar ook in andere afgesloten ruimten. Hoofdstuk 7 gaat verder in op de sturing van gedrag bij problemen: hoe krijg je tunnelgebruikers er toe om te doen wat je van ze wil, dan wel: hoe draag je de voorzieningen aan die tunnelgebruikers bij staan bij de gedragsmogelijkheden die hen uit de problemen kunnen helpen. Hoofdstuk 8 gaat nader in op de hulpdiensten en reddingsoperaties. In feite nemen dergelijke diensten de beslissingen, en soms ook het gedrag van de tunnelgebruikers over bij problemen. Hoe ervoor te zorgen dat dit goed gaat is een belangrijke vraag. Hoofdstuk 9 vormt dan een soort afsluiting, waarin de lessen van het voorafgaande worden samengevat, en aanwijzingen worden gegeven voor de richtingen waarin problemen gezocht moeten worden en oplossingen gevonden kunnen worden. De literatuurlijst completeert het geheel.

2 Tunnels en hun problemen

2.1 Definitie en doel

Een tunnel (Encyclopaedia Britannica online, 1999) is een min of meer horizontale verbinding onder de grond, die op natuurlijke of kunstmatige wijze tot stand is gekomen. Vertikale verbindingen heten schachten. Door de Bouwdienst Rijkswaterstaat wordt een tunnel beschouwd als elke vorm van verbinding waar een overkapping overheen zit die langer is dan 80 à 100 m.

Tunnels worden voor allerlei doeleinden gebouwd en gebruikt. De meest bekende zijn voor mijnbouwwerkzaamheden en voor transport. Bij transporttunnels kan het gaan om het transport van materie (water- en riooltunnels), of het mogelijk maken dat er transportmiddelen rijden of varen. Vaak vormen tunnels een kortere of snellere doorgang van A naar B dan zonder de tunnel mogelijk is: tunnels door bergen of onder waterlopen of zee(armen). Voorts kunnen tunnels toegang bieden tot ondergronds gelegen ruimten, variërend van pompstations en ertsverwerkende fabrieken tot parkeergarages en warenhuizen.

Globaal gesproken kunnen tunnels op twee manieren worden gemaakt: “echte” tunnels worden van binnenuit gegraven of geboord, maar een alternatief is het uitgraven van een sleuf die vervolgens met een dak wordt afgedekt. Onder water kan men tunnels bouwen door tunnelementen af te zinken, maar ook door een tunnel te boren.

2.2 Historisch overzicht

Het gebruik van tunnels stamt al uit de prehistorie, toen mensen in holen en grotten woonden en natuurlijke tunnels gebruikten om hun woonruimten te bereiken, en deze tunnels ook uitbreidden. Daarnaast is er van de prehistorie bekend dat er vuursteenmijnen bestonden, meestal verticale schachten door krijt of mergel met op de hoogte van lagen met vuursteenknollen horizontale tunnels. In Babylon waren er vooral irrigatietunnels, maar er is een baksteentunnel bekend van 900 m lang, gebouwd tussen –2180 en –2160 onder de rivier de Eufraat, die gebruikt werd als voetgangerstunnel. Hiervoor is de rivier in het droge seizoen omgeleid. De Egyptenaten bouwden tunnels om steen te houwen en voor hun tempel- en gravencomplexen. De tempel van Abu Simbel uit ongeveer –1250 is hiervan een voorbeeld. De Grieken en Romeinen gebruikten veel tunnels; in de zesde eeuw vC werd op Samos een tunnel van zo'n kilometer lang gebouwd om water af te voeren. De Romeinen bouwden in –36 tussen Napels en Pozzuoli een wegtunnel van bijna anderhalve kilometer lang, met een doorsnede van 7½ m breed bij 9 m hoog. Dergelijke tunnels werden gebouwd in gesteente, zodat een versteviging van de tunnelbuis niet noodzakelijk was. Ventilatiemethoden waren afwezig of primitief, en de aanleg van dergelijke tunnels kostte dan ook de nodige mensenlevens. In +41 bouwden de Romeinen een zes kilometer lange drainagetunnel vanuit schachten die 40 m van elkaar lagen, en soms tot meer dan 100 m diep waren. De veiligheid en ventilatie was belangrijker als er vrije mensen aan een tunnel werkten, vergeleken bij de slavenarbeid onder bijvoorbeeld de Romeinen. In Oostenrijk bij Hallstatt zijn daarvan tunnels bekend die voor zoutmijnen zijn gegraven vanaf ongeveer –2500.

In de Middeleeuwen werd er weinig getunneld. Pas toen transportbehoeften vanaf de zeventiende eeuw toenamen, kwam het bouwen van tunnels weer in beeld. Eerst ging het dan om tunnels waardoorheen een kanaal liep voor de scheepvaart. Een voorbeeld is de tunnel voor het Canal du Midi in Frankrijk, die als eerste (deels) met dynamiet is aangelegd, 155 m lang en een doorsnede van 6,6 bij 8,1 m. De komst van de trein en de fors toenemende transportbehoeften brachten de spoortunnel, vanaf ongeveer 1830. In Engeland werd tussen 1839 en 1845 een tunnel aangelegd voor het spoor tussen Manchester en Sheffield, de Woodhead tunnel, die ruim 5½ km lang is, en werd aangelegd vanuit vijf schachten, tot 180 m diep. Ook in de Verenigde Staten werden vele spoortunnels aangelegd, de eerste in 1831-1832 van ongeveer 210 m lengte. In de Alpen bouwde men de Fréjus spoortunnel tussen 1857 en 1871, zo'n 13,6 km lang. Hierbij werden allerhande nieuwe boormethoden in gebruik genomen, zoals pneumatische drillboren en op rails gemonteerde boorwagens. Daarnaast werden noodgedwongen nieuwe technieken voor geforceerde ventilatie uitgevonden, alsmede methoden om precies te meten en berekenen waar men met boren was gevorderd, want de tunnel werd vanaf twee kanten gelijktijdig aangelegd. Na de uitvinding en invoering van de automobiel, in de negentiger jaren van de negentiende eeuw, kwam er een grote behoefte aan wegtunnels, die met name vanaf de twintiger jaren van de twintigste eeuw is toegenomen. Door allerlei nieuwe technieken kon men ook tunnels construeren in slappe bodems en onder water. De tunnel onder de rivier de Hudson, de Holland tunnel, gebouwd in 1927 is het oudste voorbeeld van een autotunnel onder water. Het ventilatieprobleem werd opgelost door gigantische propellers die voor langsventilatie zorgden.

Vanaf ca. 1950 gebruikt men bij onder-watertunnels bij voorkeur een afzinkmethode. Voor tunnels door gesteente kwam rond dezelfde tijd een methode in gebruik waarbij een cirkelvormige boorkop de tunnelbuis in één keer uitboort. De Kanaaltunnel tussen Engeland en Frankrijk is op deze manier geboord, maar het is maar één voorbeeld.

2.3 Tunnels in Nederland

In Nederland, bekend om zijn bij uitstek slappe bodem in een groot deel van het land, zijn weinig en relatief korte tunnels. Hoewel de mijnbouw een lange traditie van tunnelbouw heeft (vanaf de prehistorie: vuursteen, tot steenkool in Limburg) die in de zestiger jaren van de twintigste eeuw is afgesloten, komt tunnelbouw in de rest van het land pas in de twintigste eeuw op gang. Tabel 2.1 geeft een beknopt overzicht. Daarnaast zijn er tunnels voor trein en metro in Rotterdam en Amsterdam.

In de (nabije) toekomst komen er meer en langere tunnels. De overlast die verkeer over land veroorzaakt, en de schaarste aan grond vormen de voornaamste redenen om in Nederland tunnels te bouwen. In de toekomst kan daar het onderzeilen van "obstakels" bij komen (denk aan de stadstraverse van de A2 in Maastricht). De Hogesnelheidslijn en de Betuwelijn, twee spoorverbindingen, zullen worden uitgevoerd met een aantal kortere en langere tunnels. Maar ook in nieuwe en bestaande wegverbindingen zijn een aantal tunnels voorzien, zoals in de A73, met name bij Roermond. De Westerscheldetunnel dient genoemd te worden. Deze wordt 6 km lang en zal bestaan uit twee buizen met dwarsverbindingen. De tunnel kent een behoorlijke diepte, het verkeer zal tot zo'n 40 m moeten dalen om in het diepste punt te komen.

Tabel 2.1: Voornaamste tunnels in Nederland.

Naam	Plaats	Jaar van opening	Lengte gesloten deel	Lengte totale trace	Aantal rijstroken
Maastunnel	Rotterdam	1942	585 m	1373 m	2+2 en fietstunnel
Velsertunnel	Velsen	1957	768 m	1644 m	2+2
Coentunnel	Amsterdam	1966 1992 renovatie	587 m	1283 m	2+2
Schiphol tunnel	Amsterdam	1966 1999 uitbreiding en renovatie	650 m	650 m	2+4+4+3+2+2
Beneluxtunnel	Schiedam	1967 2002 uitbreiding en renovatie	795 m	1300 m	2+2+1+2+2 en fietstunnel en metrotunnel
IJ-tunnel	Amsterdam	1968 1998 renovatie	1039 m	1685 m	2+2
Heinenoord tunnel	Rotterdam	1969 1999 renovatie	614 m	1064 m	3+3
2 ^e Heinenoord tunnel	Rotterdam	1999			tunnel voor langzaam verkeer
Vlaketunnel	Zuid-Beveland	1975 1993 renovatie	327 m	773 m	2+2 en vluchtstroken
Drechtunnel	Dordrecht	1977 1990 renovatie	569 m	823 m	2+2+2+2
Kiltunnel	Dordrecht	1977	406 m	901 m	1+2+2+1
Prinses Margriet tunnel	Sneek	1977 1984 renovatie	77 m	938 m	2+2 en vluchtstroken
Botlektunnel	Rotterdam	1980	539 m	1181 m	3+3
Zeeburgertunnel	Amsterdam	1990	546 m	946 m	3+3
Noordtunnel	Alblasserdam	1992	540 m	1270 m	3+3
Wijkertunnel	Velsen	1996	600 m		2+2 en vluchtstroken

De volgende tunnels zijn in voorbereiding of in aanbouw:

- Calandtunnel bij Rotterdam (1100 m)
- Sijtwende tunnels (300, 400 en 1100 m) bij Voorburg/Leidschendam
- St Hubertus tunnel (1100 m) in Den Haag
- Koningstunnel in Den Haag
- Westerscheldetunnel (6700 m) onder de Westerschelde
- Roertunnel (2100 m) in Roermond
- Tunnel bij Swalmen (400m)

3 Soorten tunnels

Wat betreft het transport van personen (en goederen) zijn er in Nederland twee soorten tunnels in gebruik, namelijk voor wegverkeer en voor railverkeer (trein, metro). In termen van gedrag vormt dat voor de gebruikers een groot verschil. Een tunnel voor wegverkeer wordt gebruikt door en voor actief individueel transport in een meestal eigendom of als eigendom ervaren voertuig. Een tunnel voor railverkeer betreft passief transport van individuen met een collectief middel; de meeste tunnelgebruikers zijn hier passagiers. Er is een tussenvorm, niet in Nederland, maar wel van belang: autotreinen zoals in Zwitserland en de Kanaaltunnel; dit is een mengeling van eigen auto en publiek transport; qua passiviteit is die wel vergelijkbaar met de railtunnel, want ook hierbij worden mensen getransporteerd. Tunnels voor uitsluitend goederenvervoer per rail vallen buiten het perspectief van dit rapport.

Aspecten die de karakteristieken van een tunnel bepalen, en daardoor mede het gedrag (zie voor een nadere verklaring Hoofdstuk 5) staan in de volgende opsomming:

- kort versus lang. Het gaat hierbij om de beleving, en dan met name of er wel of niet de uitgang te zien is vanaf de ingang;
- vierkant versus rond. Een vierkante – rechthoekige – tunnelbak is in Nederland het meest voorkomende profiel. Ronde tunnels komen er echter wel, zoals de Westerscheldetunnel en een in studie zijnde tunnel bij Sneek. Door het ronde profiel kan de beleving van de tunnel veranderen, met name de ruimtelijkheid van een ronde tunnel kan een probleem vormen, omdat gebruikers de tunnel als “eng” en “nauw” gaan ervaren;
- omlaag, omhoog, vlak. Een helling in een tunnel maakt het voor automobilisten moeilijker de rijtaak op operationeel niveau uit te voeren – snelheidscontrole en afstand houden tot de voorligger worden moeilijker. Ook zal bij een tunnel met een helling, bijvoorbeeld onder een waterweg door, de uitgang meestal niet zichtbaar zijn vanaf de ingang;
- zonder versus met een horizontale bocht. De laterale-controle bij het sturen in de rijtaak is moeilijker als er in de tunnel een horizontale bocht zit. Daarnaast ontnemt een bocht mogelijk het zicht op de uitgang;
- met versus zonder langzaam verkeer. De aanwezigheid van langzaamverkeer maakt de rijtaak op manoeuvre-niveau moeilijker; mede door de lichtovergangen kan de zichtbaarheid van en het zicht op deze medeweggebruikers verslechterd zijn;
- enkele versus dubbele buis. Het rekening houden met tegenliggers maakt bij de rijtaak op manoeuvre-niveau de taakuitvoering moeilijker in een enkelbuis-tweerichtingstunnel;
- één versus tweerichtingsverkeer. De rijtaak in een éénrichtingsverkeertunnel is minder complex dan die in een tweerichtingsverkeertunnel, omdat er geen ontmoetingen met tegenliggers hoeven te worden afgewikkeld;
- met versus zonder vluchtstrook (zie ook Westerscheldetunnel studie). De afwezigheid van een vluchtstrook kan aanleiding geven voor het sneller ontstaan van in/accidenten omdat problemen met een voertuig op de normale rijbaan moeten worden opgelost.

Eén enkele tunnelbuis met eenrichtingsverkeer komt bij beste weten van de auteurs in Nederland niet voor, maar een buitenlands voorbeeld is het systeem op de M25 rond Londen, waar ten oosten van de Britse hoofdstad van zuid naar noord een tunnel onder de Theems door gaat, maar van noord naar zuid de Theems per brug wordt bedwongen. Men kan zich

voorstellen dat er, als de capaciteit van een tweerichtingsverkeersverbinding over een brug te klein wordt, en er geen ruimte is voor een parallelbrug, een tunnel moet worden gemaakt om één van beide richtingen over te nemen. Voor Nederland lijken probleemsituaties met een dergelijke oplossing op dit moment nog niet in studie.

4 Incidenten en accidenten in tunnels en andere relevante situaties – een aantal voorbeelden uit de literatuur

4.1 King's-Cross metrostation-brand (18 november 1987)

4.1.1 Situatie

Het Londense metrostation King's Cross is de avond van 18 november 1987 de plaats van een hevige brand, die 31 mensen het leven kost. Deze brand is door met name David Canter en zijn team (zie onder andere Donald, I. & Canter, D., 1992; Canter et al., 1992) grondig geanalyseerd en heeft een aantal waardevolle bevindingen opgeleverd, die ook in relatie tot de veiligheid van tunnels zeer belangrijk zijn. Een korte beschrijving van de gebeurtenissen en een samenvatting van de analyse: Het metrostation van King's Cross is het drukste knooppunt in de ondergrondse van London, waar op een reguliere dag een kwart miljoen mensen komen; alleen al tussen 16:00 en 18:00 uur maken er zo'n 100.000 mensen gebruik van. Het station beslaat vijf bouwlagen en bestaat uit twee gebieden: de grote hal voor kaartjesverkoop, en de metrolijnen- en – tunnelbuizen met bijbehorende trappenstelsels. Twee groepen van roltrappen van en naar twee metrolijnen (Piccadilly line en Victoria line) komen uit in de grote hal. De grote hal wordt van allerlei straatniveau-toegangstunneltjes gescheiden door enkele lage brede trappen en een boogvormige ommegang. De grote hal wordt in het algemeen niet gebruikt om te wachten of te staan kletsen, maar alleen om van en naar de metrolijnen te gaan en kaartjes te kopen. Het geheel heeft een complex patroon van gangen en locaties, waar in het algemeen de meeste forenzen zich met vastberadenheid een kortste weg weten te banen in normale omstandigheden.

4.1.2 Verloop

Op 18 november 1987 wordt om 19:29 uur een brandje ontdekt onder de roltrap (met houten treden!) van de Piccadilly metrolijn. De passagier die het ziet meldt het aan een klerk die het weer aan een stationsinspecteur meldt. Om 19:30 uur meldt een tweede passagier de brand, en deze drukt op de roltrap-noodstopknop. Twee personen van de transportpolitie zien dit en onderzoeken de zaak. Een kaartjescontroleur, ook door een passagier van de brand op de hoogte gesteld, gaat op onderzoek naar de basis van de roltrap. Om 19:32 uur wordt de brandweer gebeld. Meer passagiers slaan alarm. Om 19:33 uur arriveren weer twee transportpolitie mensen. De twee andere roltrappen van hetzelfde trappenhuis worden ook gestopt. Om 19:36 uur krijgt de staf van de London Underground te horen dat ze mensen die op de platforms arriveren via de Victorialijn-roltrap moeten laten gaan. De onderkant van de Piccadillylijn-roltrap wordt met tape afgezet. Om 19:37 uur arriveren weer twee politie mensen. Per toeval wordt de Piccadillylijn-kaartjescontroleur gewaarschuwd. Om 19:39 uur besluit de transportpolitie in de kaartjeshal het gebied te evacueren. Om 19:40 uur wordt de bovenkant van de Piccadillylijn-roltrap afgezet. Mensen die nog de hal inkomen worden naar de Victorialijn-roltrap gedirigeerd. Om 19:41 uur wordt de kaartjesverkopers verteld op te houden met kaartjes verkopen. Een poort in de kaartjeshal wordt gesloten. De transportpolitie verordonneert aan de staf van het station dat treinen niet meer mogen stoppen. Om 19:42 uur wordt een afgesloten gang geopend,

min of meer bij toeval, maar het maakt wel een korte verbinding voor mensen vanaf de Victorialijn-roltrap naar buiten mogelijk. Een laatste trein op de Piccadillylijn naar het oosten stopt nog en laat mensen uit. Een trein naar het noorden laat nog 50 mensen uitstappen. De kaartjesverkopers wordt gezegd te evacueren. Dit evacuatiebevel wordt niet aan ander personeel gegeven (toiletmensen, wisselkantoomensen). De brandweer arriveert. Om 19:43 uur zorgt de transportpolitie dat mensen vanaf de Victorialijn-platforms via de Victorialijn-roltrap weggaan. Ze controleren dat er geen treinen meer stoppen. De brandweer ziet dat er nog steeds mensen over de Piccadillylijn-roltrap naar boven komen lopen. De laatste Piccadillylijn-trein naar het westen laat mensen uitstappen. Om 19:44 uur verlaten de kaartjesverkopers de hal. Er wordt verordonneerd dat de treinen op de Piccadilly- en Victorialijnen niet meer mogen stoppen. Om 19:45 is de “flash-over”: de opeengehoopte brandbare gassen in het roltraphuis exploderen en de kaartjeshal wordt overspoeld met vuur en giftige gassen. Er gaan nog steeds mensen vanuit de Victorialijn-roltrap de kaartjeshal in; hen wordt gezegd terug te gaan naar het platform. Mensen op de roltrappen proberen terug te gaan nadat ze het vuur en de verbrande passagiers in de hal hebben gezien. Om 19:48 uur stoppen er ook geen treinen meer op de noordelijke lijn.

4.1.3 Analyse

Er is een groot aantal oorzaken waarom mensen niet meteen een goed heenkomen hebben gezocht. Informatie werd laat en ambigu gegeven, allerlei aanwijzingen werden verkeerd geïnterpreteerd, en mensen gingen vooral zo lang mogelijk door met het uitvoeren van hun oorspronkelijke gedragsvoornemens en werkzaamheden. Marsden (1999) stelt dat je dat in principe van mensen ook moet verwachten. In Donald & Canter 1992 staan hiervan schrijvende voorbeelden. De employee in het geldwisselkantoor werd niet expliciet verteld te vertrekken, en hoewel hij vluchtende mensen langs zijn kantoortje moet hebben gezien, bleef hij waar hij was. Ook toiletbedienden bleken, nadat ze van passerende vluchtende passagiers van de brand hadden gehoord, eerst weer naar hun werkplek terug te gaan om een tas of iets dergelijks op te halen en het toilet te controleren (!), alvorens zich in veiligheid te brengen, wat bij enkelen niet meer lukte. Hierbij speelt ook een rol dat mensen informatie interpreteren aan de hand van de frequentie dat hun interpretatie goed is. Weghollende mensen kan op brand slaan, maar eerder op een relletje. Het afgezet worden van een trappenhuis met tape zal vooral bij onderhoud gebeuren. Per slot van rekening zijn levensbedreigende situaties waarbij men onmiddellijk moet maken dat men wegkomt uiterst zeldzaam. Zo is het feit dat een kaartjescontroleur door drie verschillende passagiers moest worden verteld dat er brand was, voordat hij ging kijken hier ook een teken van. Mensen vergaren bij verstoringen van hun normale “mentale schema” actief veel ondersteuning voor feiten die niet in dat mentale schema” passen, voordat ze hun vaste schema willen/kunnen omgooien en een “alternatief schema” gaan gebruiken. En dan nog ging deze kaartjescontroleur eerst zelf kijken voordat hij besloot dat er inderdaad een brand aan de gang was. De politie in tegenstelling daarmee zag één passagier een noodstopknop gebruiken en ging meteen kijken. Maar in feite is de rol van politie ook anders dan die van kaartjescontroleurs, namelijk algemeen probleem-opsporend. Toen op een gegeven moment de staf van de London Underground ging proberen mensen tegen te houden om nog in de hal te komen, werd dit gewoonweg genegeerd. Toen de transportpolitie het deed, werd dit wel nagevolgd. Een sprekend voorbeeld van een rolconflict. De conclusies die uit de analyse van Canter getrokken kunnen worden staan elders in dit rapport vermeld.

4.1.4 Maatregelen

Coward (1998) geeft een overzicht van wat er sinds de brand is gedaan. Er zijn vooral reglementen aangepast, heel veel voornamelijk technische aanbevelingen gegeven (om branden te voorkomen en voorkomende branden zo veel mogelijk in te perken) en deels uitgevoerd, maar delen van de London Underground blijken na uitgave van 0,3 miljard pond nog steeds niet

aan die reglementen te voldoen. Wat er in ergonomische opzicht is gebeurd wordt nergens beschreven, dus of mensen bij incidenten nu weg kunnen komen is niet bekend.

4.2 Huguenot tol tunnelbrand (Zuid-Afrika, 27 februari 1994)

4.2.1 Situatie

Gray & Varkevisser (1995) geven hiervan een verslag. De Huguenot toltunnel is 4 km lang, geopend in 1988 en sindsdien door 10 miljoen voertuigen gebruikt. Het zou een twee-buis tunnel moeten worden, maar op het moment van de brand was slechts één buis in gebruik, als tunnel met tweerichtingsverkeer. De tweede tunnelbuis is geboord, maar niet verder afgebouwd. Er zijn over de lengte van 4 km drie voertuig-dwarsbuizen en acht voetgangersdwarsbuizen. Er zijn stopnissen, SOS-nissen met alarmmelders en blusapparaten, en er zijn brandweer-aansluitingen. De veiligheid in de tunnel wordt bewaakt door camera's, zichtmeet- en CO-meetapparatuur, en twee soorten temperatuursensoren: één die een temperatuurstijging van meer dan 10° C per minuut meet, en één die reageert op temperatuur boven 58° C. De luchtverversing gebeurt met twee kanalen; één kanaal kan bij brand worden omgeschakeld op gasafzuiging. Communicatie vindt plaats met een coax antennekabel, waarop diverse radiokanalen worden bediend. Als er brand uitbreekt worden de volgende acties ondernomen: alarm in het controlecentrum en bij de brandweer; TV-camera wordt gericht op de plek waar het alarm vandaan komt; verkeerslichten naar de plek gaan op rood, van de plek af blijven groen; de verlichting gaat van 30% (normale situatie) naar 100%; speciale brandalarm lampen gaan branden (lampen op 75 cm boven het trottoir aan de kant van de tunnel waar de dwarsverbindingen zijn); VMS stuurt naderend verkeer over een alternatieve route (die 11 km lang is).

4.2.2 Verloop

Op 27 februari 1994 reed een volle bus de tunnel in. Ongeveer halverwege brak brand uit in de versnellingsbak. Tijd: 16:17 uur. De vlammen sloegen er uit; toen al sprongen mensen van de rijdende bus om weg te komen. Een bijrijder probeerde de vlammen te doven. De chauffeur raakte de macht over het stuur kwijt en botste tegen de tunnelwand. Een naderende truck met oplegger maakte een noodstop op 50 m van de brandende bus en schaarde, zodat de tunnel vanaf dat moment in twee richtingen geblokkeerd was. Een andere truck stopte op 250 m van de brandende bus. Gewonde passagiers alarmeerden om 16:18 uur het controlecentrum vanuit een SOS-nis. Op de TV-monitor bleek de geschaarde truck te zien en de bus op de achtergrond. Het brandalarm ging af om 16:19 uur. De TV-opname toonde dat buspassagiers de bus ordentelijk verlieten, maar probeerden hun spullen van het dakrek te halen. Binnen korte tijd werd de brand fors groter, en de TV-monitor werd onklaar. Niemand van de passagiers gebruikte een brandblusser, noch van de bus zelf, noch die in de tunnel beschikbaar waren. De passagiers liepen langs de tunnel richting uitgang; niemand ging in een dwarsgang schuilen, hoewel dat uitdrukkelijk de bedoeling was van de dwarsverbindingen.

Het brandalarm werd niet meteen op zijn juiste waarde ingeschat, omdat er enkele maanden eerder steeds valse alarms waren. De zwart-wit monitor gaf niet een duidelijk beeld van de situatie. De controlecentrum operator zette het alarm niet uit, maar stuurde een escortevoertuig ter controle van het ongeluk de tunnel in. Om 16:22 uur bereikte dit voertuig de bus, meldde de brand per radio en spoot een blusser in de bus leeg, maar dit haalde niets meer uit. De bestuurder kon niet worden bevrijd – en bleek later te zijn verbrand. Nu werd voluit brandalarm geslagen. Tegen de regels in werd de bluswagen niet door twee maar slechts door één persoon de tunnel ingereeden, hetgeen vertraging opleverde. Het andere lid van de bemanning ging eerste hulp verlenen in de tunnel. Uit Paarl (een plaats in de nabijheid) kwam de brandweer die de operatie overnam en de blustender de tunnel in dirigeerde, om 16:30 uur. Om 16:33 uur kwam

een andere bluswagen nabij de brand, maar door de hitte en de rook konden de brandweerlieden nog weinig doen.

Inmiddels was de afzuiging van rook en gassen begonnen, maar de volle capaciteit hiervan was ontoereikend om alles weg te krijgen. Vanwege een trek door de tunnelbuis trok de meeste rook naar het oosten. Het eerste escortevoertuig en een niet-gehoorzamende ambulance die toch de tunnel in was gereden, moesten moeizaam door de rook ploeterend de tunnel verlaten.

Het ontploffen van de dieseltank van de bus deed het plafond van de tunnel omlaag komen, net toen de brandweer was begonnen met water te sproeien. Om 17:00 uur was de explosie onder controle, om 17:30 uur was de brand geblust en om 18:41 uur was de rook opgetrokken, zodat met het vrijmaken van de tunnel kon worden begonnen. Om 21:00 uur was de bus als laatste uit de tunnel gesleept.

4.2.3 Analyse

De analyse achteraf bracht een aantal zaken aan het licht. Wat betreft gedrag kunnen de volgende worden genoemd:

- de brand had door snel optreden van de bijrijder of passagiers van de bus wellicht meteen geblust kunnen worden. Hebben ze er niet aan gedacht? Hebben ze het niet gedurfd? Wisten ze niet van de aanwezigheid van brandblussers in de bus? Zagen ze de brandblussers in de tunnel niet? Konden ze die niet bereiken? Konden ze ze niet gebruiken?
- tijdens het brandalarm in de tunnel zouden de buspassagiers in de dwarsgangen moeten gaan schuilen. De gevluchte passagiers hebben de dwarsbuizen echter niet gebruikt als schuilplaatsen, maar zijn lopend de tunnelbuis langs en uit gelopen. Er zijn hierbij enige mogelijkheden: hebben ze die niet gezien? Hebben ze die niet herkend als schuilplaats? Of hebben ze die niet veilig genoeg gevonden? Of hebben ze gekozen voor de “bekende” weg?
- afgezien van de genoemde vrachtwagens hebben alle overige voertuigen zich omgedraaid en zijn uit de tunnel terug gereden. De bedoeling was echter dat ze hun voertuigen zouden verlaten en schuilen in de dwarsgangen. Voor hen geldt hetzelfde als voor de buspassagiers, met twee toevoegingen: wilden de voertuiginzittenden hun voertuig niet zondermeer achterlaten? Of dachten ze dat het in een voertuig veiliger zou zijn dan in een dwarsbuis?
- de staf hield zich niet aan de vooraf overeengekomen en getrainde procedures. Waarom? Was er een invloed van de reeks valse alarms een poos tevoren? Kon de juiste betekenis van de diverse signalen niet worden afgeleid?
- de communicatie was door het deels uitbranden van de antenneversterkers van de coax antenne een probleem: de radiocommunicatie werd er enige tijd door gestoord. Een technische oplossing is hiervoor mogelijk.

4.3 Kingsway-tunnelbrand (Liverpool, 15 oktober 1994)

4.3.1 Situatie en verloop

Gillard & Arch melden een kleine brand in de Kingsway tunnel onder de Mersey tussen Liverpool en Wirral. De tunnel is een tweebuis-tunnel, met vier rijstroken per buis. Er gaan zo'n 25 miljoen voertuigen per jaar doorheen. Deze brand wordt geanalyseerd om aan te geven dat vaak alert optreden grote problemen kan voorkomen. Het betrof een bus met 40 passagiers, dames die van een feestje terug kwamen en allemaal stevig hadden gedronken. Bussen met gealcoholiseerde feestgangers die worden betrokken bij een incident vormen een extra probleem doordat de alcohol het waarnemings-, beoordelings- en reactievermogen van de mensen heeft aangetast, zodat een adequate respons op een probleem moeilijk kan worden. Een gevaar kan worden onderschat of zelfs gebagatelliseerd, om niet te spreken van in slaap gevallen mensen. Om 21:27 uur brak er brand uit in de motor van de bus. De tunnelpolitie nam

op een monitor in de controlekamer waar dat de bus een rookpluim voortbracht. Onmiddellijk werd de brand gemeld per mobilfoon, en werd de brandweer gewaarschuwd. Ook werden de waarschuwingsborden “stoppen” en “motor afzetten” in de tunnel aangezet. In dezelfde minuut hoorde een patrouille van de tunnelpolitie de melding, ging kijken, vond de brandende bus tot stilstand gekomen, beveiligde de plaats door het politievoertuig stroomopwaarts te plaatsen met zwaailichten aan. Ze keken vervolgens naar de passagiers, die uit de bus kwamen, en met de busbestuurder werd de brand middels twee poederblussers onder controle gehouden. Om 21:31 uur: twee brandweerwagens blijven aan de Wallaseykant stand-by. Ook een ambulance is stand-by. Twee brandweerwagens vanuit Liverpool rijden tegen de normale rijrichting in naar de plaats van de brand en blussen het restant ervan prompt. Er is dan al geen verkeer meer in de tunnel stroomafwaarts van de plaats waar de bus staat. Om 21:35 uur: de ventilatiecontrolekamer wordt gebeld en geïnformeerd over de brand; verdere actie is niet nodig. Er wordt een verkeersomleiding gemaakt om de verkeersstroom gaande te houden, door de Queensway tunnel. Het vastzittende verkeer wordt langzaam langs de plaats van de brand gedirigeerd. Om 21:43 uur wordt een sleepwagen opgeroepen. De passagiers worden met een andere bus weggebracht. Omdat ze gedronken hebben en ze “unhappy” zijn met het incident kost het de politie een overmaat aan mankracht om de dames in bedwang te houden. Om 22:40 uur is de tunnel weer open.

4.3.2 Analyse

Mogelijke problemen in verband met het tijdstip, zowel voor de controlekamerbemanning als voor de brandweer was 21:27 uur een “ongelukkig” tijdstip, vlak voor de aflossing van de ploeg. Dat kan betekenen dat er een verlaagd niveau van alertheid bestaat. In dit geval was daarvan geen sprake, maar dat is meer toevallig, en afhankelijk van personen en omstandigheden. (Die toevalligheid kan worden betwijfeld, ze zullen heus wel minder alert zijn geweest maar een noodgeval doet dat onmiddellijk omslaan in verhoogde staat van alertheid. Het geluk zit ‘m in de detectie van de rook, al naar gelang die opvallend was). Ook toevallig is, dat er werkzaamheden plaats vonden: die worden vanwege het intensieve verkeer overdag altijd ’s nachts uitgevoerd (dat is dus *niet* toevallig – zie ook Tauerntunnel brand). Het betrof onderhoud aan de brandblus-waterleiding, waarvan een deel was drooggelegd. Dit had voor het betreffende incident geen betekenis.

Specifieke aspecten: ondanks de aanwezigheid van een pakket noodvoorzieningen elke 50 m in de tunnel werd het incident niet door een alarmknop of een SOS-telefoontje gemeld. De brand werd op een monitor ontdekt door het controlekamerpersoneel, en wel zo snel dat dit mogelijk een reactie van de bestuurder is voorgebleven. De controle van de situatie met video is van groot belang; niet alleen dat er iets is gebeurd, maar ook een overzicht van de situatie, de omstandigheden, aantal en aard van de betrokken voertuigen en mogelijk het aantal betrokken personen kan snel worden vastgesteld. Een patrouille was meteen ter plaatse en greep adequaat in. Deze patrouilles zijn getraind in EHBO, brandbestrijding en gebruik van ademapparatuur. Het belang hiervan is onschatbaar. De brandweer was binnen vier minuten ter plaatse; een prompte reactie mede dankzij regelmatige oefeningen. Gegeven de verkeersdrukte (weinig) en de beperkte hoeveelheid politie die beschikbaar was, werd besloten een omleiding in te stellen en niet de andere tunnelbuis voor 2 x 2 tweerichtingsverkeer open te stellen. Het ontbreken van VMS op de toeleidende wegen leidde ertoe dat pas bij het tolplein verkeersomleidingen konden worden ingesteld. Ondanks het tijdstip was het sleepvoertuig snel ter plaatse. Overigens bleek er nooit een scenario te zijn bedacht voor een incident met 40 dronken mensen. Ook hieruit blijkt maar weer dat je het zo gek niet kunt verzinnen of in werkelijkheid gebeurt er iets veel gekkers. Het rapport beveelt aan “imaginative lateral thinking” te gebruiken, waarbij niets voor vaststaand dient te worden aangenomen.

4.4 Busbrand, Ekeberg tunnel (Oslo, 21 augustus 1996).

Anderl (1998) beschrijft zijn persoonlijke ervaring van een brand met een bus in de Ekeberg tunnel bij Oslo in Noorwegen op 21 augustus 1996. Hij ging tijdens dit incident de tunnel in om het functioneren van een systeem voor electrostatische luchtzuivering te bekijken. Daarbij bleek dat er vanuit de Controlepost onduidelijkheid was over het functioneren van de diverse systemen in de tunnel. Het luchtzuiveringssysteem was voor de opening van de tunnel getest met een echte brand (auto gevuld met oude banden). Ook nu bleek het systeem de lucht te zuiveren, maar pas nadat manueel de blaasrichting van de propellers was geregeld: die was eerst verkeerd. Verder observeerde Anderl dat er geen paniek was, dat de brandweer de (lege) bus binnen 35 minuten geblust had, maar dat het moeilijk was om veel te zien door de rookontwikkeling. De in gedragstermen nadrukkelijkste aanbeveling van het artikel is, dat het van groot belang is regelmatig brandoefeningen te houden.

4.5 Mont-Blanc-tunnelbrand (24 maart 1999)

Van deze brand is een voorlopig en een "eind"rapport verschenen waarvan een Engelse vertaling van internet kan worden opgehaald (Duffé & Marec, 1999a, 1999b) en de tekst van een lezing beschikbaar (Lacroix, 1999). Hierin wordt verslag gedaan van het verloop van de ramp van minuut tot minuut, waarna een analyse wordt gegeven van de oorzaak, de bestrijding en de problemen hierbij. Het is van belang te weten dat dit de Franse versie van het verhaal is. Tot op moment van schrijven van deze samenvatting (eind 1999) was er nog geen informatie van Italiaanse kant bekend. Er is een Italiaans aanhangsel aan de definitieve versie aangekondigd, maar dit is niet vrijgegeven.

4.5.1 Situatie

De Mont-Blanc-tunnel is een autotunnel van 11,6 km lang, geopend sinds 1965, voor 7,64 km op Frans en 3,96 km op Italiaans grondgebied. Het beheer is in handen van twee onafhankelijk van elkaar opererende maatschappijen, ATMB in Frankrijk en SITMB in Italië, die ieder een fysieke helft onder hun hoede hebben. Dus de Italianen beheren ook een stuk tunnel op Frans grondgebied. De ingang van de tunnel is op 1274 m aan Franse en 1381 m aan Italiaanse zijde. De tunnel is een enkele buistunnel met tweerichtingsverkeer over een rijweg van 7 m breedte, met daarnaast 0,8 m trottoir. Om de 300 m is er een parkeerhaven, afwisselend aan de ene en de andere zijde van de weg, die genummerd zijn van laag tot hoog richting Italië. Tegenover elke parkeerhaven is een keergang voor vrachtwagens. Voorts is een op de twee parkeerhavens voorzien van een schuilplaats met externe luchttoevoer en een brandwerende wand met een bestendigheid van 2 uur. Om de 100 m zijn er in veiligheidsnissen een brandalarmknop, een telefoon, en twee brandblussers geplaatst. Om de 150 m zijn er brandnissen met bluswatervoorzieningen voor de brandweer aangebracht. Er is ventilatie, symmetrisch ten opzichte van het midden van de tunnel, te regelen vanuit beide service stations aan elke tunnelingang, door vier luchttoevoerbuizen onder het wegdek met blaasroosters om de 10 m. Een vijfde buis kan worden gebruikt voor afzuiging van rook en verbrandingsgassen. Dit is van belang aangezien het inademen van rook de belangrijkste doodsoorzaak is bij tunnelongelukken (Rhodes & McDonald, 1999). Deze afvoerbuizen kunnen ook lucht toevoeren bij veel vervuiling door het verkeer; in dat geval moet de vuile lucht langs de tunnelbuis zelf ontsnappen. Sinds 1980 is het bij de ATMB mogelijk de afvoer te concentreren op 1/3, 2/3 of 3/3 van de tunnelhelft. Een dergelijk vergelijkbaar systeem was bij de SITMB in aanbouw, maar nog niet opgeleverd. Voorts is het mogelijk aan de Franse kant een oude tunnelgang als extra afzuigmogelijkheid te gebruiken.

4.5.2 Verloop

De Belgische vrachtwagen die de oorsprong van de brand vormde reed op 24 maart 1999 om 10:46 aan Franse zijde de tunnel in. De chauffeur stopte bij parkeerhaven 21 omdat hij door tegenliggers werd gewezen op rookvorming onder zijn vrachtwagen. Hij had de cabine van zijn vrachtwagen net verlaten toen die al in brand vloog. De wagen vervoerde gekoeld margarine en meel in twee afzonderlijke compartimenten, en was bij een weging niet te zwaar bevonden. Het rapport merkt op dat als een waarschijnlijke oorzaak van deze brand kan worden aangemerkt een oververhitting van motoren en turbines door de lange en steile toegangsweg naar de tunnelingang.

Om 10:52 uur was er rookalarm door de “opaciteitsmeters” (apparatuur waarmee de doorzichtigheid van de lucht werd gemeten; de Fransen en de Italianen hebben elk hun eigen, incompatibele systeem) van haven 14 en 18. Om 10:53 uur bevestigde de controlekamer-operator in Frankrijk dit alarm. Er was witte rook op de videoschermen te zien, alsmede het keren van een aantal personenauto’s. Het Italiaanse opaciteitssysteem gaf al sinds de vorige dag “vals alarm”, en werd dus genegeerd. Om 10:54 uur registreert de Italiaanse controlekamer een telefoontje van een weggebruiker vanaf parkeerhaven 22. Om 10:57 uur wordt de alarmknop vanuit parkeerhaven 21 ingedrukt, om 10:58 uur gevolgd door een alarm van het weghalen van een brandblusser. Inmiddels was er telefonisch contact geweest tussen de Italiaanse en de Franse controlekamer. Alle verkeerslichten werden op rood gezet; de afsluiting van de tunnel was om 10:55 uur aan Franse en 10:56 uur aan Italiaanse zijde een feit.

Vanuit Frankrijk was het eerste een inzet van materiaal; op het platform van de tunnelingang was een lichte brandweerwagen met personeel aanwezig. Deze rijden om 10:57 uur de tunnel in, om 10:58 uur gevolgd door een EHBO-wagen. Omdat het rookfront van Italië naar Frankrijk trok kwamen de Franse hulpverleningsdiensten vrij snel vast te zitten in de rook en hitte, mede door het enorme tempo waarmee de brand zich ontwikkelde. De hulpverleners gaan, na melding aan de centrale, schuilen in schuilplaats 17. Om 11:00 uur wordt de brandweer van Chamonix gewaarschuwd. Een grote brandweerwagen met zes personen, doch met slechts voor vier mensen open-systeem ademhalingsapparatuur (één van de mensen zonder ademhalingsapparatuur komt te overlijden door rookinhalering), rijdt om 11:02 uur uit en bereikt om 11:10 uur de tunnelingang. Om 11:11 uur wordt de brandweerwagen geïnformeerd over de rook; om 11:12 uur loopt de wagen vast; het personeel vlucht in schuilplaats 12. Om 11:20 uur wordt de alarmknop hiervan ingeslagen. Om 11:34 kan via de noodtelefoon schuilplaats 12 bereikt worden. Een lichte brandweerwagen uit Chamonix bereikt de tunnelingang om 11:32 uur en probeert de mensen in schuilplaats 12 te bereiken. Bij schuilplaats 5 komt deze wagen al vast te zitten. Vanaf 12:55 uur gaat men proberen via de luchtbuizen de mensen uit de schuilplaatsen te bereiken. Om 13:04 stelt de prefect van het departement Haut-Savoie het bijzondere noodplan in werking, om 13:35 uur gevolgd door het rode plan. Allerlei materieeltransport naar de ingang van de tunnel was toen echter al ruimschoots gestart. Met behulp van een aantal mannen met gesloten-systeem ademhalingsapparatuur worden er door de beluchtingsbuizen mensen geëvacueerd; naderhand worden toch met auto’s ook mensen uit schuilplaatsen geëvacueerd.

Aan de Italiaanse kant is er onduidelijkheid over de precieze tijdstippen van diverse gebeurtenissen. Een aan Italiaanse zijde aanwezige Franse ATMB-man rijdt meteen na het alarm de tunnel in en komt tot 6 à 7 meter bij de brandende vrachtwagen. Hij evacueert een aantal mensen, waaronder de vrachtwagenchauffeur, met behulp van inmiddels aanwezige SITMB-mensen (geen getrainde brandbestrijders) en twee wagens. De brandweer van Courmayeur wordt om 10:55 uur gewaarschuwd (of om 11:05 uur?), die om 11:15 uur bij de tunnelingang is. Deze wagen loopt om 11:45 uur bij vluchtplaats 24 vast – dus aanzienlijk later dan Franse reddingswerkers, maar ook aanzienlijk dichterbij de brandhaard. Het Italiaanse noodplan is door de president van de Regio Val d’Aoste nooit in werking gezet, omdat die van

mening was dat het een Franse aangelegenheid betrof. Het bevreemdt de auteurs van het rapport dat vlak na het alarm men vanuit Italië nog dicht bij de brandende vrachtwagen kon komen, zodat de kans groot was dat met een snelle blusactie de ramp beperkt had kunnen blijven.

Aan Franse zijde is meteen begonnen met op volle kracht afzuigen van de rook. Ook aan Italiaanse zijde werd de afvoerbuis op volle kracht gezet. Maar de afvoerbuis stond op luchtaanvoer, en de richting van luchttransport is niet omgekeerd, dus vanuit Italië werd het vuur door verse luchtaanvoer extra aangewakkerd. Pas om 11:15 uur werd getracht de luchttoevoer om te zetten in luchtafvoer, maar dit schijnt niet gewerkt te hebben, waarna met allerlei “manual overrides” nog getracht is hierin verandering te brengen.

Alle informatie over de handelingen van de operators in de controlekamers is bekend op basis van getuigenverklaringen, want geen van beide maatschappijen registreert wat de status is van de apparatuur.

Van de 41 omgekomen tunnelgebruikers zaten er 34 in hun (vracht)wagen. Alleen de door de rook en brandontwikkeling verraste hulpverleners hebben gebruik gemaakt van de veiligheidsplaatsen; zij die in de schuilplaats het dichtst bij de brandhaard verbleven (nabij parkeerhaven 20) zijn daarbij omgekomen. Het rapport merkt op dat de schuilplaatsen als zodanig slecht herkenbaar waren, mede door de enorme rookontwikkeling.

De Mont-Blanc tunnel beschikt niet over een vluchttunnel. Er zijn bij deze ramp via de luchtaanvoerbuizen mensen uit de schuilplaatsen weggehaald, maar dat is feitelijk onbedoeld gebruik van deze buizen.

4.5.3 Analyse

In totaal heeft het 50 uur geduurd voordat men de brand heeft kunnen blussen, waarbij zelfs aluminium is gesmolten. De snelle ontwikkeling van de brand en de rook en hitte is veroorzaakt door een aantal ongelukkige samenvallende omstandigheden:

- longitudinale luchtsnelheid in de tunnel;
- krachtige toevoer van verse lucht;
- geen afzuiging van rook uit het brandgebied, maar juist toevoer van verse lucht;
- te weinig afzuigingskracht van het aanliggende Franse gebied wegens te weinig afvoerroosters;
- aanwezigheid van veel brandbare lading en brandstoftanks van vrachtwagens;
- de brandende vrachtwagen stond op Frans grondgebied maar in de Italiaanse beheerszone;
- geen parate rampbestrijding op het Italiaanse platform (NB: volgens het Franse rapport).

Verder zijn er problemen ontstaan doordat onbekend was hoeveel auto's er tijdens de brand in de tunnel zaten.

Het rapport gaat vervolgens in op de bestuurlijke aspecten rond de tunnel, waaruit blijkt dat er vooralsnog tevergeefs getracht is een krachtige eenheid te vormen om problemen als deze gezamenlijk het hoofd te bieden. Gegeven de heersende omstandigheden blijkt toegang tot de tunnel vanuit Italië vaak beter te zijn dan vanuit Frankrijk. Echter de Franse maatschappij heeft, los van de departementale mogelijkheden in Chamonix, een eigen bestrijdingsteam nabij de tunnelingang paraat. Deze ingreep was reden voor de snelle inzet, maar ook oorzaak van een problematische relatie met de regionale autoriteiten. De Italiaanse maatschappij heeft volstaan met financiële bijdragen aan de brandweer van Courmayeur. Verder is het bij nobele voornemens gebleven. Brandoefeningen in de tunnel, waarvoor die voor het normale verkeer moet worden gesloten, zijn gehouden in 1975 en 1989 – er was er één voorzien voor 1999. Daarnaast is er sinds najaar 1998 een wekelijkse gezamenlijke inspectieronde.

4.6 Tauern-tunnelbrand, 29 mei 1999

Hiervan is weinig informatie beschikbaar. Er zijn enkele artikelen uit diverse media, en een lezing van Pucher (1999b).

De Tauertunnel is 6,4 km lang, ligt op 1300 m boven zeeniveau, heeft één tunnelbuis met tweerichtingsverkeer en bevindt zich tussen Salzburg en Klagenfurt. De tunnel is gepland als tweebuis-tunnel, maar de tweede buis is nooit geboord. Er is een ventilatiesysteem waarbij zich boven in de tunnelbuis een buis voor de aanvoer van frisse lucht bevindt, en parallel daaraan een buis voor de afvoer van uitlaatgassen. Aan beide uiteinden van de tunnel zijn ventilatiegebouwen, en er is halverwege een schacht naar boven, dwars door 600 m berg heen, die ook voor ventilatie wordt gebruikt. De bedoeling is dat de toevoer van frisse lucht bij een brand wordt gestopt, en de afvoer wordt gemaximaliseerd.

Op 29 mei 1999, om 5:00 uur 's ochtends, brak er ongeveer 800 m van de noordelijke ingang van de tunnel een grote brand uit. De brand werd veroorzaakt doordat een vrachtwagen op een stilstaande file inreed. Deze file was ontstaan door een rood verkeerslicht bij werkzaamheden, ongeveer 600 m vanaf de noordingang van de tunnel. De botsing deed zich voor in de file die in de rijrichting zuid-noord stond. De vrachtwagen boodde zich in vier personenauto's en vervolgens in een vrachtwagen met brandbare spuitverfbussen. Er volgde explosies, waarna een enorme brand met temperaturen tot boven de 1000° C met flinke rookontwikkeling ontstond. Het vuur werd zo goed als onmiddellijk gedetecteerd en de ventilatie werd meteen in de situatie voor brand gebracht. Hiermee werd voor enige tijd rook- en gasstratificatie in stand gehouden: een laag rook en gas bovenin de tunnel, waaronder zich een laag lucht bevond. Ongeveer 80 personen konden in deze periode nog weggelopen. Er volgde een tweede explosie, waarbij weer meer hitte en rook ontstond. De hoeveelheid gassen en rook die zich daarna ontwikkelde was te groot voor het ventilatiesysteem. De meeste automobilisten moesten in het donker hun weg zoeken, want behalve rook was het licht uitgevallen. Twaalf doden en vele gewonden was het resultaat en 16 vrachtwagens en 24 personenwagens werden vernield. Het vuur brandde 15 uur door.

Van belang: het tijdstip van het ongeval, 's morgens vroeg. Enerzijds was dit een voordeel (rustig), anderzijds juist de oorzaak van het stilstaande verkeer (wegwerkzaamheden die voornamelijk 's nachts worden uitgevoerd). Niet uit te sluiten is de rol die vermoeidheid van de chauffeur mogelijk heeft gespeeld. Er wordt momenteel gewerkt aan het vergroten van de afzuigcapaciteit, en de roep om het boren van de tweede tunnelbuis is zeer luid en duidelijk.

4.7 Overigen

Beech & Coombs (1992) geven ook een opsomming van een aantal grote tunnelbranden en een aantal opvallende aspecten hierbij. Opmerkelijk is dat bij *deze* lijst met grote tunnelbranden in wegverkeertunnels *altijd* een vrachtauto de ramp veroorzaakt of verslechtert. De toegang tot tunnels is vaak beperkt tot in- en uitgang. Voor hulpdiensten moeten die eerst vrijgemaakt worden.

Succesvolle afhandeling van incidenten hangt samen met:

- duidelijkheid en wederzijds begrijpen van de rollen en verantwoordelijkheden van alle deelnemende partijen;
- overeenstemming met betrekking tot de methodologie van werken, rekening houdend met alle belangrijkste scenario's en partijen;
- vooraf-bepaalde tactische plannen van inzet;
- efficiënte communicatie tussen deelnemende partijen en de drie niveaus van organisatie ("forward control", "incident control" en "back-up facilities").

Voor de Kanaaltunnel is ontworpen:

- loopruimte en verlichting door hele tunnel;
- evacuatie dwarsverbindingen iedere 375 m;
- een onderhouds- en noodtunnel die onder druk staat (tegen rook);
- speciaal ventilatiesysteem;
- watervoorziening iedere 125 m;
- vaste en mobiele communicatie faciliteiten voor hulpdiensten;
- een coördinatie centrum;

5 De rijtaak en relevante factoren

5.1 Niveaus

De autorijtaak is een taak die zich op drie niveaus afspeelt: strategisch, tactisch en operationeel (zie onder andere Michon, 1987).

Het strategische niveau omvat beslissingen over de vervoermiddelkeuze (wel of niet de auto), plaats van vertrek en bestemming, en de routekeuze en beslissingen die hiermee te maken hebben. Het betreft veelal taakelementen met een tijdsduur van minuten tot vele uren, en er wordt gerichte aandacht bij gevraagd.

Het tactische niveau – ook wel manoeuvre-niveau genoemd – betreft de handelingen die tijdens de autorit ondernomen worden om de rit veilig en efficiënt te laten verlopen; het oversteken van kruispunten, inhalen, in- en uitvoegen, reageren op ander verkeer en wat bij de rijles “bijzondere verrichtingen” heet. Het betreft handelingen van één tot een tiental seconden, en ook hierbij is gerichte aandacht nodig.

Het operationele niveau, ook wel controle-niveau genoemd, betreft handelingen die nodig zijn om het voertuig in zijn correcte koers te houden, zowel lateraal als longitudinaal. Het gaat dan om de rijstrook volgen, afstand houden, een juiste snelheid houden. De handelingen gaan veelal zonder veel gerichte aandacht en het betreft informatieverwerkingsprocessen die minder dan één seconde tijd vergen.

Tijdens de rit zullen de activiteiten van de aandachtvergende strategische en tactische niveaus elkaar op gezette tijden afwisselen, terwijl het weinig aandacht vergende operationele niveau daar als het ware parallel aan blijft verlopen. Het kan voorkomen dat er niveau-interferentie optreedt: als er een onverwachte routebord opduikt – bij voorbeeld bij een omleiding – terwijl men net een inhaalmanoeuvre uitvoert kan dat leiden tot ofwel een verkeerde routekeuze ofwel een verkeerd uitgevoerde inhaalmanoeuvre. Correctie van elk van beide fouten kan (en zal ook vaak) leiden tot problemen. Dit is dan vooral gelegen in het feit dat gerichte aandacht zich niet laat verdelen over taakniveaus zonder dat de kwaliteit van de taakuitvoering verslechtert.

5.2 Deeltaken en invloeden

Wat betreft het uitvoeren van de autorijtaak geldt, dat er in feite drie soorten taken (dat is wat anders dan taakniveaus) tegelijkertijd worden uitgevoerd (zie ook Steyvers & Gaillard, 1992):

- trackingtaak – het lateraal en longitudinaal controleren van de koers, ook wel stuurtaak genoemd;
- vigilantietaak – het voortdurend opletten of zich niets onverwachts voordoet waarop moet worden gereageerd, en
- keuzereactietaak – als zich iets voordoet waarop meteen moet worden gereageerd, moet er uit een veelheid van mogelijkheden een juiste keuze worden gemaakt.

De trackingtaak speelt meestal maar niet uitsluitend op operationeel niveau, de vigilantie- en reactietaak in het algemeen op manoeuvre-niveau. Ook hierbij kunnen taken en deeltaken met

elkaar interfereren. Het plotseling moeten reageren op een de weg oplopend kind kan het correct uitvoeren van het ontwijken van een tegenligger verstoren (allebei binnen het manoeuvre-niveau).

Bij het correct kunnen uitvoeren van de rijtaak zal een bestuurder altijd informatie van de omgeving nodig hebben. Een belangrijk onderscheid hierbij is te vinden in een stadiamodel van informatieverwerking (zie bijvoorbeeld Sanders, 1980). Informatie wordt eerst ontdekt (daar is wat), vervolgens onderscheiden (het is wat anders dan de achtergrond), dan geïdentificeerd en herkend (het is een auto), waarvan allerlei kenmerken worden vastgesteld (die rijdt met grote snelheid recht op me af), waarna in combinatie met ervaring, geheugen en verwachtingen een beslissing wordt genomen (dit wordt een botsing dus ik moet iets doen), een mogelijke reactie wordt uitgekozen (ik ga remmen), deze reactie wordt vervolgens motorisch voorbereid (motorische programma's worden geladen en spieren worden gecommandeerd) en uitgevoerd (de rem wordt ingetrapt).

Wat van belang is te weten is, dat situaties die zich veel voordoen leiden tot een versnelde en minder bewuste informatieverwerking. Bij wijze van spreken: daar is wat! Remmen!, en dan later pas eventueel analyseren wat het was en of remmen wel de meest adequate reactie was.

5.3 Beïnvloedende factoren

Het gebruik van de informatie die uit de omgeving voor de bestuurder beschikbaar is, is onderhevig aan drie soorten invloeden wat betreft deze rijtaak-uitvoering:

- 1) De onmiddellijke omgeving van de weg (brug, tunnel) en de beschikbare hulpmiddelen (belijning, bebakening, geleiderails, wegdek en –structuur enzovoort), niet alleen visueel maar ook auditief en haptisch/tactiel (waarneming van trillingen, bijvoorbeeld vanwege een ruw wegdek, via de huid). Hierdoor kunnen verkeersdeelnemers de primaire rijtaak uitvoeren: ze moeten immers koers houden, op het juiste spoor blijven, een juiste snelheid aanhouden, en een veilige afstand tot een voorligger. Daarnaast moeten of willen ze manoeuvres uitvoeren (oversteken, afslaan, inhalen, uitvoegen enzovoort), en ze willen hun route bepalen naar de bestemming. Het is dus van belang dat de wegomgeving optimaal aansluit bij datgene wat weggebruikers kunnen en zeker ook niet kunnen, maar ook dat de wegomgeving zodanig wordt vormgegeven dat ongewenst gedrag als het ware vanzelf wordt onderdrukt en gewenst gedrag wordt uitgelokt.
- 2) De (psychofysiologische) toestand van de bestuurder en aspecten die deze omstandigheden beïnvloeden (zoals hitte, vermoeidheid, slaapgebrek, medicijngebruik). Hierbij speelt de mentale belasting van de bestuurder een grote rol. Voor het uitoefenen van een taak, zoals een verkeerstaak, is er een soort van optimale mentale belasting. Deze is niet voor elke taak hetzelfde, niet voor elke persoon gelijk en kan bovendien van situatie tot situatie verschillen. Er is echter een soort bandbreedte waarbinnen een persoon kleine variaties in belasting kan compenseren. Komt door externe omstandigheden, zoals een niet optimale wegomgeving, of een niet optimale toestand van de bestuurder, de belasting buiten die bandbreedte – dus te veel, maar ook te weinig – dan zal de taak minder goed, of zelfs slecht, onveilig, worden uitgevoerd (zie bijvoorbeeld De Waard, 1996).
- 3) De belevingsaspecten van de wegomgeving. Mensen vinden iets van hun omgeving, en deze beoordeling en beleving heeft weer indirect invloed op het kunnen uitoefenen van taken in die omgeving. Ook hier geldt dat er een bandbreedte is waar binnen de beoordeling en de beleving optimaal zijn voor een taak, terwijl als de beoordeling en de beleving daarbuiten valt de taak minder goed wordt uitgevoerd.

Een model van de bestuurder en de rijtaak met aandacht voor deze drie aspecten is opgesteld door Steyvers & Brookhuis (1989) en onderworpen aan een reeks van onderzoek (zie ook Jessurun, 1997).

5.4 Andere aspecten

Wat betreft veiligheid in het verkeer wordt vaak een koppeling gemaakt met **risico**. Risico in het verkeer (zie bijvoorbeeld Bötticher en Van der Molen, 1989) houdt altijd in dat men op één of andere manier de frequentie van optreden van ongewenste gebeurtenissen wil kwantificeren. Meestal gaat het dan om ongevalskans, en die kan worden uitgedrukt in een frequentie: x ongevallen per jaar, of per voertuigkilometer of per reisuur of per zoveel duizend trips. Dat is een vorm van objectieve berekening van risico, die uit statistieken achteraf kan worden vastgesteld en kan gebruikt worden voor een (korte-termijn) prognose. Echter voor het beschrijven en verklaren van gedrag van automobilisten speelt een subjectief risicobegrip een grote rol; hoeveel risico mensen denken dat ze lopen en hoe erg ze dat vinden. Over de plaats van risico in modellen van bestuurdersgedrag is en wordt nog fel gediscussieerd. Een van de essentiële vragen hierbij is of individuele bestuurders wel de risico's zo (genuanceerd) waarnemen als in de modellen wordt verondersteld, of dat er eerder sprake is van een dichotoom beslissingsmodel: "wel of niet doen".

Bij subjectief risico hoort een **attitude** en een **belief** (zie Green, 1980). Attitude is volgens Fishbein (1967) een bipolair oordeel over iets dat overeen komt met preferentiesterkte of utiliteit in de economie. Een belief is een kansoordeel waarmee iets aan een attribuut wordt gekoppeld. Als het gaat over verkeer dan zou de attitude betrekking hebben op de hoeveelheid risico die iemand bereid is te lopen, en een belief heeft betrekking op de overtuiging dat een bepaald gedrag een bepaalde hoeveelheid risico met zich mee brengt. Zowel de attitude als de beliefs bepalen de intentie tot gedrag, naast enkele externe factoren (normen en waarden), die op zijn beurt weer het gedrag zelf in werking zet. Wat betreft verkeer gaat het dan om gedrag in gevaarlijke situaties, de reactie op voorgestelde veiligheidsmaatregelen, de bereidheid om voor veiligheid te betalen en de respons op ongevallen.

Ervaringen kunnen de beliefs bijstellen. Wie nog nooit een ongeluk in het verkeer heeft gehad, kan wellicht vinden dat verkeersongelukken erg vervelend zijn (attitude) maar dat de kans erop wel bijzonder klein is (belief). Zodra die persoon een ongeval ondergaat kan daardoor de belief over verkeersongevallen worden bijgesteld (de kans erop is klein maar niet zo bijzonder klein), of de attitude (verkeersongevallen zijn niet erg vervelend, ze zijn extreem onaangenaam). Dit zou kunnen leiden tot ander rijgedrag. Voor tunnels is het van belang te weten wat subjectief risico doet met het gedrag op strategisch, tactisch en operationeel niveau.

Er werkt ook een proces dat **cognitieve dissonantie-reductie** heet (Festinger, 1957). Dat kan zowel in het voordeel als in het nadeel van verkeersveiligheid werken. Bijvoorbeeld: "ik vind dat snel rijden slecht is." maar "ik rijd regelmatig te snel". "Dat zou betekenen dat ik slecht ben". Maar, afgezien van pathologische gevallen, vinden mensen zichzelf in het algemeen niet slecht. Dus wordt de attitude aangepast: "slecht rijden is niet altijd slecht, of niet zo slecht als wordt beweerd", in plaats van het te snelle rijgedrag.

Sociale dilemma's spelen een rol: voor de grote groep mensen levert snel rijden een nadeel op, er ontstaan (onvoorspelbaar precies hoe en wanneer) meer ongevallen door, en de ernst van de ongevallen wordt groter. Dit groepsnadeel is diffuus en wordt niet of pas na verloop van tijd door individuen ervaren (verzekeringspremies worden hoger, meer ongevallen in vrienden- en kennissenkring). Op individueel niveau is er voordeel: snel rijden zorgt dat men eerder op de plaats van bestemming is (ritduur is één van de overheersende factoren die de keuze tegen openbaar vervoer bepaalt), waarbij een winst van enkele minuten op een rit van een uur toch al als een forse winst wordt ervaren. Voor tunnels kan het betekenen dat bepaalde groepen bestuurders zich ongewenst gaan gedragen in de tunnel om onmiddellijk individueel voordeel te behalen ten koste van diffuus en niet meteen beleefd groepsnadeel. Het lijkt in ieder geval hoogstwaarschijnlijk dat mensen ook in noodsituaties wedijveren om hooggewaardeerde maar

schaarse zaken zoals ontsnapping via een route waar niet iedereen tegelijk gebruik van kan maken (Marsden, 1999).

Gedragsadaptatie speelt ook een rol (zie onder andere OECD, 1990). Dit fenomeen is het mooiste te verklaren vanuit een homeostasemodel, waarbij wordt aangenomen dat bestuurders hun gedrag en de uitkomsten binnen een bepaalde bandbreedte constant willen houden. Dit kan worden vergeleken met het Risico-homeostasemodel van Wilde, maar betreft ook andere aspecten erbij dan alleen risico – bijvoorbeeld comfort en rijgemak. Een voorbeeld: bij de introductie van met ABS uitgeruste auto's bleek bij de eerste de beste ijzelbui buiten verhouding veel blikshade aan dergelijke auto's te zijn opgetreden. Kennelijk dachten de bezitters dat ze nu niet meer konden slippen, en hebben ze de objectieve toename van veiligheid door een verandering van het rijgedrag ruimschoots opgesoupeerd. Men had niet in de gaten dat de toename van veiligheid alleen geldig was *bij gelijkblijvend rijgedrag*. Om gedragsadaptatie te voorkomen is het nuttig en nodig bij toegenomen objectieve veiligheid de subjectieve veiligheid niet te veranderen, of zelfs te verlagen. In een snelheidsproject in Drenthe (zie Steyvers et al., 1994) is gebleken dat dit werkt.

Gedragsmodellering zou een mogelijkheid kunnen zijn om te voorspellen wat mensen doen in bepaalde situaties. Veel van de modellen in het verkeer worden afgeleid van andere modellen, vooral als het gaat om verkeer op een geaggregeerd niveau. Dan wordt met vergelijkingen gewerkt die uit de hydrodynamica komen, of een ander gebied van de natuurkunde. Echter, Sime (1985) waarschuwt expliciet voor het gebruik van allerlei aan de natuurwetenschappen ontleende analogieën voor het berekenen van bewegingen van mensen op aggregaat niveau. Het gebruik van formules uit stroperige-vloeistofmechanica voor menselijk gedrag mag dan op het eerste oog een aardige beschrijving opleveren, maar het geeft geen enkel inzicht in de onderliggende psychologische processen die bij de vele individuen tot het gedrag hebben geleid dat er op geaggregeerd niveau zo mooi mee kan worden beschreven. Een recente poging is het "gedrag" van files, dat beschreven schijnt te kunnen worden als het "gedrag" van gasmoleculen vlak voor de fase-overgang naar een vloeistof (zie Verkeerskunde 1999). Een dergelijke modellering heeft face value maar voorspelt weinig, verklaart niets, en, gegeven de mate waarin bij pogingen het gedrag te veranderen gedragsadaptatie een spaak in het wiel kan steken, geeft zeker geen aanwijzingen voor gedragsveranderingen.

Ook Michon heeft in 1985 al afdoende afgerekend met mechanistische modellen zonder een "innerlijk". Het al te enthousiast gebruik van dergelijke niet-psychologische modellen is mogelijk zelfs gevaarlijk; ze wekken de illusie "dat we het nu toch kunnen modelleren", en dat dus het probleem kan worden opgelost. Maar het probleem is niet zozeer hoe mensenstromen zich bewegen, maar hoe ze op tijd in beweging te krijgen met de juiste snelheid en in de juiste richting. Hoewel dit op het eerste gezicht misschien ook wel met een mechanistisch model te lijf kan worden gegaan, gaat het hier helaas niet om mensenstromen maar om overdracht van informatie aan individuen.

Het verkeersmodel van Van Winsum (zie onder andere Van Winsum, 1996) toont dat ook verkeersgedrag, opgebouwd vanuit individueel gesimuleerde verkeersdeelnemers, op geaggregeerd niveau realistische verschijnselen kan opleveren. Het gaat hier echter om gesimuleerd, dat wil zeggen gemiddeld, normaal, deels zelfs normatief gedrag. In uitzonderlijke situaties is voor een groot deel nog onbekend welke waarden de diverse gedragsregulerende parameters hebben, die tot het individuele gedrag leiden, laat staat dat bekend is hoe en in welke mate deze individuele gedragingen optellen tot een stroom zich verplaatsende mensen. Er is echter wel enige vooruitgang geboekt met de ontwikkeling van software dat 'voorspelbaar' gedrag modelleert. Zo is het mogelijk met het programma LEGION verschillende configuraties te testen en de tijd die nodig is voor evacuatie in een noodsituatie (Marsden, 1999).

6 De rijtaak in tunnels: omstandigheden, situaties en gedrag

Men kan zich voorstellen dat men voor in- en accidenten in tunnels een reeks van situaties kan opstellen, die oplopen in ernst, lopend van normaal tot een grote tunnelbrand. In termen van gedrag (zie ook de paragraaf “gedrag in tunnels” en “sturing van gedrag”) heeft elke situatie en omstandigheid karakteristieken die dat gedrag in die situatie beschrijven en eventueel verklaren. Hiermee kan men in overeenkomstige situaties gedrag voorspellen, hetgeen voor het maken van veiligheidsplannen natuurlijk van belang is.

6.1 Algemene aspecten

Het (auto)rijden in tunnels heeft, behalve dat het een vorm van uitvoering van de rijtaak is, zijn eigen aspecten. Carmody (1995) geeft hiervan een overzicht. Het rijden in een tunnel voor wegverkeer, zeker als het een wat langere tunnel betreft, geeft (mogelijk) een aantal effecten:

- gevoelens van beperking of opsluiting;
- angst om vast komen te zitten;
- verminderd zicht door de duisternis;
- monotone visuele omgeving;
- gebrek aan oriëntatie;
- gebrek aan verbinding met de oppervlakte;
- een negatief beeld – of geen beeld – van de betreffende stad.

De eerste vier komen vooral voor bij lange donkere berg- of zeetunnels. Als voorbeeld wordt de Mont-Blanc tunnel genoemd, die donker, besloten, bedrukkend en monotoon is en de meeste negatieve emoties oproept. Een tunnelsysteem bij een grote stad, zoals bij Stockholm, moet, wil het gebruikt worden, een grote mate van acceptatie krijgen. Het gevoel van door een stad te rijden raakt hierbij verloren, zowel wat betreft de oriëntatie als het beeld van de stad.

Omdat het binnenrijden en doorrijden van een tunnel betekent in het algemeen dat er in een (veel) lager niveau van omgevingsverlichting wordt gereden. Dit kan negatief op het zien en dus op de verkeersveiligheid inwerken. De volgende problemen treden op:

- 1) Bestuurders nemen vaart terug bij het inrijden van een tunnel. Dat komt niet alleen door het binnen rijden van een donkere buis, maar ook door het binnen rijden vanuit een open in een besloten ruimte. Alleen door extra maatregelen om de lichtovergang aan begin en einde geleidelijk te maken kan dit worden voorkomen.
- 2) Na de ingang gaan bestuurders sneller rijden als de tunnel omlaag gaat, bijvoorbeeld een onderzee-tunnel, en ze gaan weer langzamer rijden als de tunnel omhoog gaat (zie ook Amundsen verderop in deze paragraaf). Vanwege de beperkende omgevings-informatie met maar weinig visueel houvast hebben bestuurders in een tunnel niet altijd in de gaten dat ze sneller of trager gaan rijden. Door werkelijk verticale en horizontale strepen (in plaats van loodrecht of parallel aan de rijbaan) kan hierin verbetering worden aangebracht.

- 3) Ook is de zichtbaarheid van en het zicht in bochten in tunnels slechter dan boven de grond. Deze beperking van visuele ankerpunten maakt dat een bocht minder “leesbaar” is, slechter het verloop kan worden ingeschat en daarom eerder een stuur- en/of snelheidsfout ontstaat.
- 4) Als tunnelwanden te dicht bij de rijbaan staan – of zo ervaren worden – dan zullen bestuurders er afstand van houden door meer naar het midden van de rijbaan te gaan rijden (zie ook Törnros in deze paragraaf).

Hierbij kan nog gerefereerd worden naar het werk van Schreuder (SWOV) en Padmos (IZF-TNO), die werk hebben gedaan over tunnelverlichting, met name bij of in de ingang. De ingang van de Schipholtunnel is op basis van dit (soort) werk geconfigureerd.

Om deze problemen te voorkomen geeft Carmody de volgende aanbevelingen:

- 1) Ontwerpstrategieën die te maken hebben met het gehele beeld van het tunnelsysteem:
 - verdeel lange tunnels als het ware in afzonderlijke kortere tunnels, waarbij openingen een glimp van de omgeving laten zien en zo verlichting brengen in de lange monotone tunnelomgeving. Hier kunnen ook (nood)uitgangen worden aangebracht; (dit moet natuurlijk wel kunnen – midden in een berg wordt dit moeilijk – maar schuilkamers kan wel;
 - vergroot de dimensies van de tunnel zoveel mogelijk;
 - minimaliseer bogen en een complexe geometrie;
 - limiteer het aantal in- en uitgangen en maak een zo simpel mogelijke ingangspartij;
 - verhoog het verlichtingsniveau en gebruik zoveel mogelijk natuurlijk ogend licht;
 - maak de binnenbekleding licht van kleur;
 - gebruik kleuren, patronen, texturen, en licht om variatie en stimulatie te creëren, en om tunnelzones, in- en uitgangen, schuilplaatsen en noodvoorzieningen te markeren, of zelfs aspecten van het landschap buiten;
 - voorzie in een helder, goed zichtbaar en eenduidig systeem van richtingsinformatie en (nood)signalering.
- 2) Ontwerpstrategieën voor verkeersdoorstroming en veiligheid:
 - gebruik verhoogde lichtintensiteiten bij in- en uitgangen van de tunnel om een natuurlijk verloop tussen de vaak zeer lichte buitenomgeving en een donkerder tunnelmiddenstuk te verkrijgen;
 - ontwerp een vloeiende overgang tussen buiten en binnen, met gebruikmaking van landschapselementen;
 - vergroot tunneldimensies om lengtezichtlijnen zo lang mogelijk te houden, eventueel langs bochten;
 - gebruik wandpatronen met verticale en horizontale elementen om visuele ankerpunten te geven voor snelheid, horizontale en verticale bogen.

Aansluitend bij de modellen en aspecten van de rijtaak gaat het hier om aanbevelingen die te maken hebben met alle drie de taakniveau's, met de nadruk op het operationele niveau. Het betreft vooral de stuur- of tracking-subtaak van de rijtaak. Zowel directe als indirecte invloeden op de taakuitvoering zijn van belang: directe invloeden betreffen maatregelen die de visuele informatieverwerking verbeteren die nodig is om de juiste koers en een goede snelheid te handhaven. De indirecte maatregelen gaan over aspecten die de beleving van de tunnel veranderen zodat men zich er prettiger (meestal “minder onprettig”) in zal voelen.

Wat betreft de speciale risico's die tunnels ten opzichte van de normale weg inhouden kan voor wegverkeerstunnels een afleiding worden gemaakt uit een overzicht van Molag & Jansen (1998) over spoorwegtunnels. Molag & Jansen (1998) geven een risico-analyse ten behoeve van het basisontwerp van spoortunnels, en onderscheiden hierbij de volgende stappen:

- beschrijving van het spoorstelsel en het basisontwerp voor de tunnel;
- identificatie van alle mogelijke risico's en beschrijving van risico-scenario's;
- kwalitatieve inschatting van de frequentie van voorkomen van deze scenario's;
- kwalitatieve inschatting van de consequenties van deze scenario's;
- berekening van het risico (als functie van frequentie en consequentie);
- risico-evaluatie;
- herhaalde risico-schatting, rekening houdend met aanvullende veiligheidsmaatregelen.

Voor treinen onderscheiden Molag & Jansen de volgende ongevallen:

- botsing tussen twee treinen of tussen een trein en een voorwerp (voor wegverkeer: voertuigen);
- ontsporing (voor het wegverkeer: uit de juiste rijstrook geraken, van de weg geraken);
- ongevallen tijdens onderhoudswerkzaamheden;
- natuurlijke oorzaken (storm, grondverzakkingen, inundatie, bliksem, vallende bladeren, zwart ijs, sneeuw);
- uitwendige oorzaken (brand in de tunnel zelf (kortsluiting), explosies, vrijkomende toxische materialen);
- opzet (vandalisme, kaping, zelfmoord etc.);
- brand in een trein (wegverkeer: voertuig).

In volgorde van risico (met als formule: $r = f_r \cdot n_d^2$, waarbij r = risico-index, f_r = relatieve frequentie, n_d = aantal doden bij optreden) betekent dat voor treinen van meest naar minder riskant: brand, botsingen, tunnelonderhoud, ontsporing. Voor wegverkeer is de volgorde wellicht anders, mede gezien het verschil in frequentie tussen treinontsporingen en voertuigen die van de weg geraken. Deze is mogelijk als volgt: brand, botsingen, van de weg geraken, tunnelonderhoud. De frequentie van risicodragende gebeurtenissen is nogal verschillend naar de aard van de gebeurtenissen (Henke & Gagliardi, 1999). In de St.Gotthard Tunnel is die per jaar in aantal gebeurtenissen per 10^6 afgelegde kilometers in volgorde: pech (inclusief lege brandstoftank) 5,6; ongevallen 0,51; voertuigbrand 0,04; grote brand 0,005. Telkens ongeveer een factor 10 kleiner. Uit de analyse voor spoortunnels blijkt dat de risico's kleiner zijn bij twee éénrichtingstunnels met horizontale dwarsverbindingen als evacuatie routes, vergeleken met een tweerichtingstunnel met verticale ontsnappingsbuizen of een tweerichtingstunnel met een afzonderlijke longitudinale ontsnappingsroute.

Ook dit lijkt voor wegverkeerstunnels te kunnen worden overgenomen, omdat eenmaal uit het voertuig ontsnapping van inzittenden te voet moet, en dus vergelijkbaar is in termen van sturing, routing en bescherming. Een verschil met wegverkeerstunnels is wel, dat bij spoortunnels de loopomstandigheden in de tunnel veel slechter zijn (spoorrails versus "vlak wegdek". Verder is het niet alleen het "wegdek", maar ook de ruimte die er is, spoortunnels zijn veel krappere wat met name bij het verlaten van rijtuigen –en het blussen bij brand- problemen kan opleveren), dus er een expliciet voetpad moet worden aangelegd, met zijn afzonderlijke problemen.

6.2 Rijden door tunnels

Törnros (1998) voerde een studie uit waarbij het rijden in een tunnel in het echt werd vergeleken met het rijden in een tunnel in de rijnsimulator van het Zweedse Verkeers- en Transportonderzoeksinstituut VTI. Doel van het onderzoek was een validatie van de rijnsimulator, maar voor het huidige rapport is het gedrag van de automobilisten in de echte tunnel relevant. Twintig proefpersonen reden in een handgeschakelde continentale auto (stuur links) door de net voltooide maar nog niet in gebruik genomen Ekeberg tunnel nabij Oslo in Noorwegen. Hierbij werden snelheid en laterale positie gemeten. De proefpersonen reden het betreffende tunnelsegment 12 keer, zes keer in de ene en zes keer in de andere richting, per

richting in elk van de drie rijstroken (dus langs de rechter tunnelwand, middendoor, en langs de linker tunnelwand) twee keer, een keer normaal en een keer met afgedekte snelheidsmeter. De hypothese voor de snelheid is, dat zonder op de snelheidsmeter te kunnen kijken bestuurders sneller zullen rijden. De hypothese voor de laterale positie is, dat op een rijstrook langs een tunnelwand bestuurders meer afstand van de wand proberen te houden, dus in de rechter rijstrook meer naar links zullen rijden, en in de linker rijstrook meer naar rechts, terwijl ze in de middelste rijstrook meer in het midden zullen rijden. Daarnaast speelt de richting van de aanwezige bocht een rol, waarbij de hypothese is, dat bestuurders de binnenkant van de bocht zullen volgen. Dit zou moeten leiden tot een interactie tussen richting van de bocht en plaats van de tunnelwand. De resultaten gaven een lagere snelheid voor de rechter rijstrook ten opzichte van de andere twee rijstroken. Ook bleek de snelheid bij het rijden met de snelheidsmeter zichtbaar 2.7 km/uur langzamer te zijn dan met afgedekte snelheidsmeter. Vergelijking van de laterale positie is uitgevoerd afzonderlijk voor een recht wegvak en voor een wegvak met een boog. Op het rechte stuk bleken de proefpersonen in de linkerrijstrook meer van de zijlijn af te rijden dan in de rechterrijstrook, dus bij een aan de linkerkant aanwezige tunnelwand daar meer afstand van te houden dan bij een aan de rechterkant aanwezige tunnelwand. Het verschil was 39 cm. In de bocht was dit verschil ook aanwezig en bedroeg 34 cm. In de bocht bleek er ook een interactie te bestaan tussen richting van de bocht en plaats van de tunnelwand. Bij het doorrijden van de tunnel zodat de bocht naar rechts was, hielden proefpersonen in de linkerrijstrook (dus met de wand aan de linkerkant) bijna een meter meer afstand tot de zijlijn dan in de rechterrijstrook. Bij de bocht naar links hielden ze in de linkerrijstrook nauwelijks meer afstand tot de zijlijn dan in de rechterrijstrook. Ze overcompenseren als het ware de “centrifugale” kracht die de auto ondergaat naar de wand toe in de rijstrook nabij de wand als ze daar als bestuurder vlak langs rijden, meer dan als ze er als bestuurder al afstand van hebben, de wand dus langs de passagierskant loopt. Of, anders geïnterpreteerd, de bestuurders proberen de bocht af te snijden. Overigens bleek het rijgedrag in de gesimuleerde tunnel identieke patronen en effecten te vertonen als dat in de werkelijke tunnel, waaruit blijkt dat men een rijsimulator kan gebruiken om het rijgedrag in termen van positiekeuze en snelheid te onderzoeken.

6.3 Noorse inventarisatie

In Noorwegen is een analyse gemaakt van meningen over en gedrag in een aantal langere verkeerstunnels (Amundsen, 1992, 1994). Hierbij waren acht tunnels betrokken, waarvan er zes onder de zee door lopen. De tunnels zijn van 2,3 tot 11 km lang, en hebben allemaal een u- of v-vormig vertikaal lengte-profiel, dus met een daling en een stijging. De daling of stijging kan tot een helling van 10% leiden. Vaak zijn er ook horizontale bogen aanwezig. De tunneldoorsnede is in alle gevallen een omgekeerde u-vorm en het betreft enkele-buistunnels met tweerichtingsverkeer, kunstmatige verlichting en horizontale ventilatie. Wat verder opvalt is dat de technische staat van de tunnels vrij laag is: maar gegeven de lage verkeersintensiteiten is dat in principe kennelijk niet echt een probleem.

Bij de Vardø tunnel bleek 18,4% van de ondervraagden ongerust te zijn bij de eerste paar keer dat ze door de tunnel reden; 3,4% is ongerust gebleven; 0,5% wil de tunnel niet gebruiken. De tunnelgebruikers bleken vooral geïnteresseerd in het goed functioneren van de ventilatie (74%), verlichting (29%) en verkeersborden en –signalen die de veiligheid van de tunnel aangeven (18%).

Bij de Gudvanga tunnel werd op drie manieren gegevens verzameld: straatkant-interviews (respondenten waren vooral ervaren bestuurders), telefonische interviews (respondenten waren vooral minder ervaren en/of vrouwen) en enquêtes per post (met toeristen als voornamelijke respondenten). Van alle tunnelgebruikers meldden 4% niet van tunnels te houden, waarbij 3% zei liever een andere route te gebruiken. Hen werd gevraagd wat ze zouden doen als ze rook zouden zien, of een auto die bezig was in brand te geraken. De meeste respondenten van de

straatkant-interviews en de post-enquêtes zouden proberen de brand te vinden en te blussen. Van de respondenten van de telefonische interviews echter zou slechts 14% proberen de brand te blussen, terwijl 65,5% de brandweer zou bellen. Gevraagd was ze zouden doen als er in de tunnel een rood verkeerslicht zou branden zei 8% dat ze zouden omkeren en terug rijden, en 1% zou doorrijden. Ongeveer 70% van de respondenten in de straatkant-interviews en de post-enquêtes luistert altijd, vaak, of regelmatig naar de autoradio tijdens het rijden; van de telefonische interviews luistert echter maar 10% naar de autoradio. In het algemeen waren de weggebruikers redelijk tot goed op de hoogte van de voorzieningen in de Gudvanga tunnel; het feit dat ze in de tunnel toch naar de radio konden luisteren was nog het minst bekend. Bij de post-enquêtes werd ook nog gevraagd hoe lang tunnels zouden moeten zijn. 42% gaf aan dat er geen limiet nodig was, terwijl 2% vond dat 2 km een maximum zou moeten zijn. Tot slot moesten de weggebruikers de Gudvanga tunnel beschrijven. Het volgende werd gevonden: veilig (96%), ontspannend (86%), vervelend/saaï [boring] (67%), vermoeiend (55%).

De meningen over de onderzeetunnels van Hvaler, Flekkerøy en Ålesund werden met een post-enquête gepeild. Van de 3000 uitgezette enquêtes kwamen er ruim 1000 terug, waarvan 70% door mannen was ingevuld, en 45% door de bewoners van de via de tunnels bereikbare eilanden. Van de tripmotieven was 67%, 20% en 5% toeristisch voor respectievelijk de Hvaler, Flekkerøy en Ålesund tunnel. Het gebruik was ook verschillend: 58%, 81% en 90% van de respondenten maakte minstens 20 maal een tunneltrip. De Hvaler tunnel gaf de meest negatieve indruk; 12% was tegen de tunnel, versus 4% bij de twee andere tunnels. Dit bleek vooral door de (hoge) tol te komen, en de lage verlichtingswaarde. Tolbedragen en waterlekkage waren de meeste redenen voor een negatief oordeel. De positieve factoren betroffen veiligheid, gemak om te rijden, goed wegdek en goed alignement. Van de respondenten meldde respectievelijk ruim 40%, ruim 55% en bijna 60% meer te zijn gaan rijden dan voor de aanleg van de tunnels.

Over het rijgedrag kan samenvattend het volgende worden gezegd:

- de rijsnelheid is aan begin en einde van de tunnels 10-20 km/uur lager dan in het middendeel;
- de rijsnelheid stijgt in het stuk omlaag en daalt in het stuk omhoog;
- meer dan 50% van de bestuurders rijdt boven de limiet van 80 km/uur in de tunnels;
- de spreiding van de rijsnelheid is groot in tunnels met een helling van meer dan 5-6%;
- helling-op, met een stijging van meer van 3-4% rijdt het zware verkeer 5-15 km/uur trager dan de rest; helling-af is dit verschil kleiner;
- ongeladen zware voertuigen gedragen zich meer als lichte voertuigen bij hellingen tot 5%;
- in tunnels met hellingen van 5-7% in het verschil tussen helling-op en helling-af voor licht verkeer 5-10 km/uur;
- in tunnels met een steile helling (7% of meer) rijden volgeladen trailers met een snelheid van maar 15-30 km/uur helling-op én helling-af.

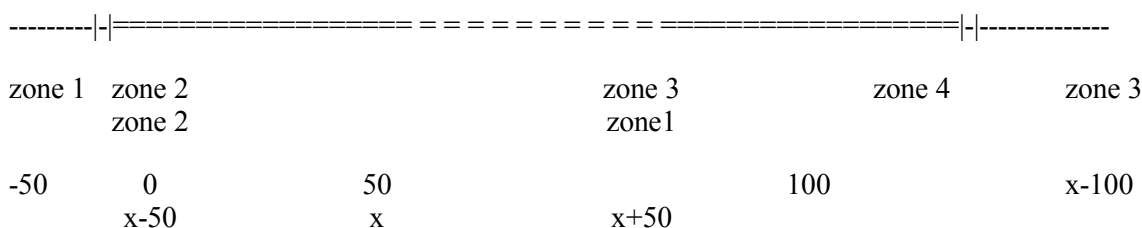
Wat betreft de veiligheid blijkt voor Noorse tunnels in het algemeen:

- de veiligheid van tunnels is vergelijkbaar met een stuk weg buiten de tunnel, zonder kruisingen.;
- de in- en uitgangen hebben een ongevalfrequentie met letsels van 0.5-0.8 per miljoen voertuig kilometers (Mvkm);
- binnenin de tunnel is deze frequentie 0.1-0.2 per Mvkm;
- tunnels met kunstlicht zijn veiliger dan onverlichte tunnels;
- tunnels met horizontale bogen met stralen > 250m zijn veiliger dan met kleinere stralen;
- tunnels met breder rijbaan of kantstrook zijn veiliger;
- de meest voorkomende soorten ongevallen in de enkel-buistunnels met tweerichtingsverkeer zijn: eenzijdige ongevallen (50%), frontale botsingen en schampingen (20%) en kop-staart botsingen (13%).

In de Oslo-tunnel (twee buizen, drie rijstroken per buis, meer dan 50000 voertuigen per dag) wordt het verkeer met een video-circuit bewaakt. De ongevallenfrequentie ligt (in 1994) op 0,08 per Mvkm, en dat is zo laag als op de veiligste buitenweg. De pechfrequentie ligt op 12 per Mvkm. In de Noorse tunnels varieert de frequentie van pech krijgen zeer; echter de meerderheid betreft het opraken van de brandstof. Amundsen concludeert dat de tunnels in Noorwegen in het algemeen zeer veilig zijn. Opvallend is het verschil in ongevals-frequentie tussen in- en uitgangsdelen van de tunnels en het middenstuk. Ook opvallend is de hoeveelheid pech die in tunnels optreedt, en het feit dat men in tunnels zo veel de maximum snelheid overschrijdt. Hij noemt echter het overtrederspercentage op allerlei buitenwegen niet, dus kan niet worden beoordeeld of dit werkelijk zo disproportioneel is. Het idee is om de snelheid te verminderen door een ander wand- en dakontwerp, dat verder niet wordt gespecificeerd.

Bij een verdere enquêtestudie onderzocht Amundsen (1995) drie andere tunnels, de Freifjordtunnel (5102 m), de Byfjordtunnel (5857 m) en de Mastrafjordtunnel (4400 m). Dit zijn allemaal een-buis tweerichtingstunnels. De laatste twee horen bij elkaar en liggen in elkaars verlengde met twee eilandjes en een stukje brug ertussen. Het gaat hier om een voor-nastudie. De respons was dat de meeste mensen de tunnels een forse reistijdbesparing vonden ten opzichte van de oude situatie met veerboten. 6% van de respondenten vonden het gebruik van de tunnels niet prettig, de rest had er geen moeite mee of vond het zelfs een prettige ervaring. Van de respondenten zou 7% meer informatie willen hebben over het rijden door tunnels, mede in verband met negatieve gevoelens. En 93% van de respondenten gaf aan bij pech en in/accidenten de tunneltelefoon te zullen gebruiken. In de vorige studies was dat 20-40%. Verdere uitkomsten: meer vrouwen dan mannen vinden het rijden in de tunnels onaangenaam; vrouwen gebruiken de radio minder dan mannen; oudere bestuurders zijn positiever over de nieuwe verbinding dan jongere; oudere bestuurders gebruiken de radio minder dan jongeren; ervaren bestuurders gebruiken de radio meer dan minder ervaren bestuurders. Oudere bestuurders zien de tunneltelefoons minder gauw dan jongere; incidentele tunnelgebruikers zijn negatiever dan frequente gebruikers. De conclusie is, dat met name het feit dat slechts 60-70% van de bestuurders radio in de tunnel gebruikt een probleem kan zijn, omdat een radiokanaal het enige middel is om bestuurders in deze tunnel te bereiken (!?)

Een verdere analyse van ongevallen en brand met voertuigen in wegverkeerstunnels in Noorwegen geeft Amundsen in 1998. Het aantal tunnels in Noorwegen groeit gestaag. In 1992/1993 waren het er 620, "nu" meldt Amundsen (1998) er 702. De meeste tunnels hebben wegen van maximaal 8 m breedte. 22% van de tunnels is horizontaal geventileerd, dat is 58% van de tunnelbuislengte. Alle tunnels langer dan 100 m moeten worden verlicht; op 73 na is dat inmiddels gerealiseerd, en van deze uitzonderingen zijn er 13 langer dan 500 m. Voor het aangeven van de ongevallen wordt een zoneringsstelsel gebruikt. Zone 1 is van 50 m tot 0 m voor of na de tunnelmond; zone 2 is de eerste 50 m in de tunnel, zone 3 de volgende 100 m in de tunnel en zone 4 het tussenliggende gedeelte. Zie figuur 6.1



Figuur 6.1: zonerings van tunnels volgens Amundsen.

Tunnels korter dan 300 m hebben dus geen zone 4, en tunnels korter dan 100 m zelfs geen zone 3. Het blijkt dat in zone 1 ruim 25% van de ongevallen met letsel plaats vinden, in zone 2 en 3 allebei 19%, en in zone 4 36%. Dus de meerderheid van de letselongevallen vindt plaats binnen een verkeersruimte van 200 m aan beide tunneleinden. Echter, veel tunnels zijn ook niet langer. Overigens is de afloop van tunnelongevallen ernstiger dan ongevallen buiten tunnels op nationale wegen: in tunnels wordt bij 3,6% van de ongevallen één of meer mensen gedood en bij 2,1% van de ongevallen één of meer mensen ernstig gewond. Op de “gewone weg” is dat respectievelijk 2,8% en 1,8%. De meerderheid van de ongevallen in tunnels betreft ongevallen in dezelfde rijrichting (43,3%), gevolgd door een ongeval ten gevolge van het van de weg af raken (29,8%) en tussen voertuigen in tegengestelde richting 17,2%; de resterende 9,7% zijn andere ongevallen. Voor het verkeer op “normale wegen” zijn de proporties respectievelijk 22,2%, 26,3% en 14,3%, en resterend 37,2%. In tunnels met eenrichtingsbuizen is het aantal ongevallen met voertuigen van dezelfde rijrichting 62%, gevolgd door eenzijdige ongevallen 23%. In tunnels met tweerichtingsbuizen zijn deze proporties 33% en 34%, terwijl frontale ongevallen 21% bedragen. Hoe smaller de tunnel, des te hoger het ongevals cijfer (ongevallen per miljoen voertuigkilometers): dat is 0,11 voor tunnels boven de 6 m (tweestrooks en meerstrookstunnels), en 0,26 voor tunnels eronder (éénstrookstunnels). Hoe langer de tunnel, des te minder ongevallen: het ongevals cijfer voor tunnels is als volgt: < 100m, 0,35; 100-500 m, 0,21; 500-1000 m, 0,15; 1001-3000 m, 0,11; en > 3000 m, 0,05. Ook is er een negatief verband tussen drukte en ongevallen: hoe drukker des te minder ongevallen, maar hierbij zal de ontwerpstandaard een grote rol spelen, omdat voor wegen met weinig verkeer minder hoge standaards worden aangehouden dan voor wegen met veel verkeer. Een relatie met weersomstandigheden is niet eenduidig, in die zin, dat het meestal droog en ijsvrij blijft in de wat langere tunnels, dus typische weersprobleem-ongevallen beperkt blijven tot zone 1 en 2. Lichtomstandigheden spelen wel een grote rol, met name in de overgangszone (zones 1 en 2). Tabel 6.1, overgenomen uit Amundsen 1998 licht dit duidelijk toe. Met name overdag spelen de meeste ongevallen zich af in deze overgangszone, terwijl ’s nachts zonder (tunnel)verlichting juist in de tunnel de meeste ongevallen plaatsvinden.

Als het gaat om branden blijken bij de verzekeringen ongeveer 3500 meldingen per jaar binnen te komen, waarvan 10% bij vrachtwagens. 60% van deze branden wordt gemeld bij in gebruik zijnde voertuigen. In totaal zijn er van deze branden 41 in tunnels geweest, waarvan 20% door een aanrijding werd veroorzaakt. 3 branden waren aangestoken. Slechts bij één brand bleek iemand door de rook te zijn vergiftigd, terwijl de aanrijding voor de brand de oorzaak was van de letsels bij vier andere gevallen. Bij zes van deze branden raakte de tunnelbekleding beschadigd.

6.4 Beleving van tunnels

Het veilige gebruik van een tunnel hangt, zoals in de paragraaf over de invloeden op de rijtaak al is betoogd, ook af, van de beleving, waardering en acceptatie van een tunnel. Het is mogelijk met moderne visualisatie-technieken een realistische simulatie van een nog te bouwen tunnel te maken en deze te presenteren aan proefpersonen. Dat kan in een rijsimulator, zoals door Törnros is gedaan, maar ook met projectie. Een voorbeeld hiervan is een onderzoek van Steyvers (1999) dat werd uitgevoerd om de mogelijke invloed op de beleving na te gaan van een nieuwe tunnelvorm, een ronde stalen buistunnel.

Tabel 6.1: overzicht van de ongevalspercentages uitgesplitst naar lichtconditie en tunnelzone.

lichtconditie	overgangszone	rest van de tunnel
daglicht	58,8%	16,5%
schemer	6,3%	2,9%
donker zonder verlichting	26,7%	68,7%

donker met verlichting	5,9%	4,7%
onbekend	2,3%	7,2%
totaal aantal ongevallen	221	278

Er is een plan om een dergelijke tunnel met een diameter van 5,5 m in Sneek onder de Houkesloot aan te leggen. Aan de hand van een aantal computeranimaties van tunnelvarianten, en beelden van twee bestaande situaties ter vergelijking werd het verwachte gebruik, de acceptatie en de beoordeling en beleving vastgesteld. Hiertoe werd aan twee groepen proefpersonen de animaties op video getoond, waarbij zij vragenlijsten moesten invullen. De ene groep bestond uit bestuurders in de regio Sneek, bekend met de situatie en belanghebbenden bij de tunnel. De andere groep bestond uit Groningers, die door de geografische afstand geen kennis van en belang bij de tunnel hadden. Het resultaat was, dat het verwachte gebruik als hoog werd opgegeven; slechts 11 procent verwachte de tunnel niet te gaan gebruiken. De acceptatie van de buistunnelvarianten was minder dan de bestaande tunnel, maar wel positief. Ook de beoordeling van de beleving in termen van Hedonische Waarde (plezierig-onplezierig), Activatiewaarde (activerend-slaapverwekkend) en Perceptuele Variatie (gevarieerd-monotoon) was minder gunstig dan de bestaande situaties, maar voldoende. De belanghebbenden in Sneek waren in het algemeen positiever dan de niet-betrokken Groningers, en bezitters van een rijbewijs voor vrachtwagen en/of bus waren positiever dan bezitters van alleen een rijbewijs voor personenauto's. De conclusie was, dat de aanleg van een dergelijke buistunnel op basis van dit onderzoek kan worden ondersteund. Aandachtspunten zijn wel de aanwezigheid van veiligheidsmiddelen, de aankleding van de tunnel en het concrete rijgedrag, dat in het huidige onderzoek niet werd gemeten.

6.5 Situaties met brand

Het groeiende aantal en de toenemende lengte van tunnels, gecombineerd met het toenemende aantal gebruikers, maakt dat maatregelen om vuur te voorkomen en/of te bestrijden overal op het programma staan, dan wel verschijnen. Dat is ook de reden dat allerlei maatregelen inconsistent lijken en slecht op elkaar afgestemd (Charters & Gardiner, 1999). De tunneleigenaren, beheerders, de autoriteiten, lokale brandweer, maar ook de autofabrikanten, ontwerpers van brandblusmiddelen etc. dragen allemaal een steentje bij aan het geheel van de ongecoördineerde vuurbestrijding. Daarnaast is ook het ontwerp van allerlei apparaten en maatregelen uit even zovele kokers gekomen, doorgaans ingenieurs van divers pluimage, die met goede bedoelingen maar zonder veel kennis van zaken met betrekking tot de menselijke factor in het geheel, verantwoordelijk zijn voor het ontwerp van tunnels. Zeker ook een probleem is de diversiteit van tunnelontwerp. Hoewel er zeker overeenkomsten in alle tunnels zijn, is het verschil tussen tunnels groot genoeg om te maken dat er niet één "safety standard" ontworpen kan worden (Charters & Gardiner, 1999). Bestaande standaard handleidingen als het Amerikaanse NFPA 130 en het Britse HMRI reiken desalniettemin een nuttig kader aan, van waaruit lokale voorzieningen kunnen worden ontworpen. Hierbij kan ook moderne computerprogrammatuur een helpende hand bieden.

6.5.1 Algemeen

Veel branden (in gebouwen, maar voor een groot deel is dit ook van toepassing op tunnels) leidden tot slachtoffers door een combinatie en opeenvolging van gebeurtenissen:

1) De brand wordt te laat ontdekt. Een beginnende brand is vrij vaak te blussen met ter plekke voorhanden middelen. Dat vereist wel krachtadig en kordaat handelen van individuen, mensen die in het algemeen geen adequate kennis van zaken hebben. Dat betekent weer dat de aanwezigheidsindicatie van- en de informatievoorziening bij de blusmiddelen zeer eenduidig en

eenvoudig dient te zijn. Immers, door de mogelijk emotionele druk van de omstandigheden zal de informatieverwerking dusdanig onder druk staan dat de perceptie van de omgeving vernauwd zal zijn en alleen de duidelijkste signalen worden verwerkt, ongeacht of die relevant of juist irrelevant zijn. Uit onderzoek in de St.Gotthardtunnel blijkt dat de aanwezige handblusmiddelen (die om de 125 m staan opgesteld) maar in ongeveer de helft van de gevallen van brand daadwerkelijk worden benut (Merz, Bertogg & Steiner, 1999).

2) Informatie over het bestaan van brand wordt te laat aan iedereen medegedeeld. Ongeloof, een laconieke houding, angst voor de (commerciële) gevolgen van exploitanten kan ertoe leiden dat men eerst een poosje afwacht. De (valse) hoop dat door te doen alsof er niets aan de hand is om “paniek te voorkomen” kan er voor zorgen dat de mogelijkheden om mensen snel en rustig te evacueren zodanig verkleind worden dat in feite daardoor juist de ramp ontstaat waar men zo bang voor is. Er zijn in oudere literatuur (Sime (1980) noemt een handleiding uit 1934) zelfs richtlijnen dat “het orkest moet doorspelen alsof er niets aan de hand is”.

3) De boodschap om de ruimte te ontruimen wordt niet meteen door alle aanwezigen geloofd. Er vindt soms een rolwisseling plaats, bijvoorbeeld de toiletjuffrouw wordt evacuatie-assistente terwijl dat niet wordt geaccepteerd of geloofd. In de metrobrand in London was dit een ernstig probleem. Men luisterde niet naar de metropersoneelsleden, maar pas toen politie over ontruimen begon werd het serieus genomen.

4) De aanwijzingen worden niet (meer) opgevolgd. Een probleem is vaak dat mensen totaal geen kennis hebben van alternatieve en goede vluchtwegen. Wie bekijkt bewust elke keer bij het theaterbezoek of een metrorit de vluchtroutes? “Eruit!” betekent dan voor veel mensen dat ze eruit willen volgens de weg die men is gekomen, in plaats van via de aangewezen nooduitgang. Hierbij zijn ook bezoekers die vaker ter plekke zijn geweest niet in het voordeel. Integendeel, want zij denken de situatie te kennen, terwijl dat helemaal niet het geval hoeft te zijn.

5) Men verzamelt eerst de verwanten en kennissen. Met name als er kinderen bij zijn willen mensen niet weg voordat het oorspronkelijke groepje weer compleet is. Zeker bij gelegenheden waarbij de groep is uiteengevallen kan dit voor problemen zorgen. In een tunnel kan dit vooral bij bussen problemen opleveren.

6) Men wil zijn eigendommen niet los- of achterlaten. In een tunnel kan het moeten achterlaten van de zo gekoesterde auto (met inhoud) een probleem vormen om inderdaad te evacueren – wellicht naast de onwetendheid dat een auto absoluut geen veilige plaats is bij een (tunnel) brand, integendeel. De recente Mont-Blanc tunnelbrand (24 maart 1999; zie Duffé & Marec, 1999) heeft laten zien dat het de particulieren waren die in de auto waren blijven zitten (34 van de 41 omgekomen tunnelgebruikers), terwijl alleen personeelsleden van de hulpdiensten gebruik hebben gemaakt van de schuilnissen, toen ook zij door de brand werden overvallen. Bij de brand in de Tauerntunnel in Oostenrijk, (29 mei 1999), bleken al veel mensen de les te hebben geleerd en zo snel mogelijk de auto te hebben verlaten.

6.5.2 Brand – meer technische aspecten

Hay (1993) geeft een grotendeels technisch rapport over branden in wegverkeerstunnels. Dit bevat evenwel belangrijke gegevens over de ontwikkeling van een dergelijke brand, zodat bespreking ervan waardevol is. In het rapport van Hay (1983) wordt een aantal markante tunnelbranden samengevat. Een deel van de lijst met branden komt overeen met die door Beech & Coombs worden besproken; deze zijn met *) gemarkeerd. Hay noemt: Wallacetunnelbrand, Mobile, Alabama, in de late 70-er jaren; Caldecott tunnelbrand, Oakland, California, 7 april 1982*); Baltimore Harbour Freeway tunnel, Baltimore Maryland, 23 maart 1978; Holland tunnel, New York City, New York, 13 mei 1949 *); Squirrel Hill tunnel, Pittsburgh,

Pennsylvania; Blue Mountain tunnel, Pennsylvania turnpike, Franklin County, Pennsylvania, ergens in 1965-1966; Chesapeake Bay Bridge / tunnel, Norfolk, Virginia, 3 april 1974; Nihonzaka tunnel, Shizuoka prefectuur, nabij Yaizu City, in Japan, 11 juli 1979 *); Moorfleet tunnel, Hamburg, Duitsland, 31 augustus 1969 *).

Opvallend is dat ook hierbij vaak een vrachtwagen of bus als oorzaak betrokken is: dit geldt voor 8 van de 9 genoemde branden; het kan zijn dat juist dit soort branden zijn uitkozen om te worden genoemd, maar het blijft opvallend. Ook opvallend is dat de branden soms door een volstrekt bizarre samenloop van omstandigheden ontstaan, en dat de ene keer een ramp kan worden voorkomen terwijl de andere keer in een vergelijkbare situatie wel een ramp ontstaat. Het verbieden van gevaarlijke goederen is niet voldoende, omdat brand ook aangewakkerd kan worden door goederen die normaal gesproken niet brandgevaarlijk zijn. Bovendien bestaat er de kans dat het verbod wordt genegeerd.

De onmiddellijke aanwezigheid van geoefende bestrijdingsdiensten blijkt bij het met succes bestrijden van een tunnelbrand van groot belang. Leken, hoezeer ze hun best ook doen, kunnen vaak niets uitrichten. Desondanks is de reactie van de bestuurders van belang: ze moeten in principe maken dat ze weggelopen, maar kunnen hierbij alarm slaan en andere automobilisten waarschuwen hun voorbeeld te volgen.

Wat betreft ventilatie en afzuiging van rook wordt opgemerkt dat, als het ventilatiesysteem aan staat, aan blijft staan en voldoende capaciteit heeft, de brandweer lang genoeg dichtbij de brandhaard kan komen om te blussen. Zonder (voldoende) ventilatie ontwikkelen zich al gauw dichte rook en toxische gassen. Sprinkler-systemen blijken vaak niet te werken. Als dat wel het geval is, blijkt de brand slechts onderdrukt te kunnen worden. Na enige tijd, als de sprinklervoorraad op is, ontbranden er weer vuurhaarden. Geblust kan de brand alleen maar door echte brandspuiten.

Het rapport van Hay vat de resultaten samen van een Zwitserse studie waarbij in twee tests 500 en 1000 liter dieselolie in een (trein)tunnel in brand werden gestoken. Bestudeerd werd het effect van semi-transversale en longitudinale ventilatie (zonder afzuiging), en de invloed van een sprinklerinstallatie. Bij de 500-l brand verminderde de semi-transversale ventilatie de brand niet, terwijl de longitudinale ventilatie de brand als een toorts de tunnel in blies / zoog. De bijdrage van een sprinklerinstallatie was zo goed als nihil. Er ontwikkelde zich een wolk van zeer hete stoom, die meer schade dan wat anders veroorzaakte. Het open vuur werd vervolgens met de hand geblust, wat gauw lukte, maar na 17 minuten gingen de dampen weer tot zelfontbranding over. De afstand waarop men had kunnen overleven werd bij ingeschakelde sprinkler-installatie dichter bij het vuur beoordeeld dan zonder sprinkler-installatie. Bij de 1000-l brand ontwikkelde zich een waarlijk gigantische hitte. De sprinkler koelde weliswaar deze hitte van 8000° tot 4500° C (!), maar de stoomwolk dreef brandbare dampen voor zich uit, die bleven branden in aangrenzende delen van de tunnel. Ook hier werd de brand gauw met de hand geblust, maar wederom kwam het tot een explosieve zelfontbranding kwam van de dampen, waarbij testapparatuur en zelfs onderzoekers werden "beschadigd". Samengevat blijkt er ernstige twijfel te zijn aan de effectiviteit van sprinkler-installaties.

Het rapport van Hay vat de resultaten van andere tests samen. De moraal hiervan is: bij een brand in een tunnel waarbij dieselolie of een andere brandstof vlam vat ontwikkelt de brand zich razendsnel. Alleen longitudinale ventilatie geeft aan de kant waar de brand wordt opgeblazen / gezogen omstandigheden die het mogelijk maken dat auto's tot ver van de brandhaard vlam vatten. Mensen daar weggelopen is zo goed als onmogelijk.

Commentaar van de auteurs: dit kan betekenen dat, gegeven een longitudinaal ventilatiesysteem, dit altijd in de rijrichting (= stroomafwaarts) moet werken, zodat mensen uit de opstopping achter de brand stroomopwaarts in de frisse luchtstroom tegen de wind in

weliswaar kunnen weggelopen. Het betekent ook, dat in zo'n geval mensen redden eerst komt, en brandbestrijding pas als alle mensen uit de tunnel weg zijn. Bij een tweebuistunnel is longitudinale ventilatie met de verkeersstroom mee daarom een optie. Bij een **één-buistunnel** met tweerichtingsverkeer zijn de consequenties van longitudinale ventilatie bij een brand dramatisch voor de voertuigen luchtstroomafwaarts; enige tijd niet ventileren zou mogelijk de enige oplossing zijn. Men kan dan hopen op stratificatie van de rook: een hete laag rook hoog in de tunnel, als het ware drijvend op een laag koelere schonere lucht onder in de tunnel, die een poosje adembaar blijft. Deze situatie duurt meestal niet zo lang, waarna vermening plaatsvindt en de tunnel over de gehele hoogte gevuld wordt met rook. De aanwezigheid van een natuurlijke longitudinale ventilatie kan leiden tot een ernstig probleem de ene of de andere kant uit (zie de Mont-Blanctunnelbrand). De rook wordt meteen door de hele tunnelhoogte verspreid en stroomt met de luchtstroom mee verder de tunnel door. Kortom: het effect van longitudinale ventilatie is erg afhankelijk van de situatie; wat voor de ene situatie gunstig is, kan voor een andere juist ongunstig zijn. Een krantenartikel (Van der Veen in het NRC-Handelsblad, 23-10-1999) meldt de uitvinding van een systeem waarbij stratificatie als het ware geforceerd wordt bereikt en in stand gehouden.

Het rapport van Hay beveelt aan om transversale luchtverversing en rookafzuiging te installeren. Omdat snelheid van het grootste belang is, moet er een goed en gevoelig branddetectiesysteem worden aangebracht, dat het mogelijk maakt een geschikt ventilatiepatroon in te schakelen. Alleen zo is er een kans dat in een tweerichtingsverkeertunnel brand lang genoeg onder controle kan worden gehouden om een effectieve evacuatie mogelijk te maken. Longitudinale luchtstromen moeten door deze transversale ventilatie zo snel mogelijk worden ondervangen.

Voor evaluatieve metingen is er een Referentietunnel gedefinieerd en gebouwd met een horizontale buis met een diameter van 33 voet (9,9 m), een plafondhoogte van 16 voet (4,8 m) en een lengte van één mijl (1609 m). De temperatuurontwikkeling in de Referentietunnel is zodanig dat een luchttemperatuur van 120° F (= 49° C) of meer gemeten werd op 630 voet (189 m) afstand bij een 20 MW-brand, 1850 voet (555 m) bij een 50MW-brand en 3100 voet (930 m) bij een 100 MW-brand. Blootstelling aan temperaturen van 50° C of meer veroorzaakt gauw tweedegraads brandwonden en wordt beschouwd als levensbedreigend. Daarnaast is er het gevaar van de diverse giftige gassen in de rook (met name koolmonoxide, CO). Rook ontwikkelt zich in de Referentietunnel in de richting van de (natuurlijke) luchtstroom met een snelheid van 238 voet per minuut (71 m/min = 1,20 m/s = 4,3 km/u) bij een brand van 3 MW, en 1225 voet per minuut (367,5 m/min = 6¼ m/s = 22 km/u) bij een brand van 100 MW. Een brand wordt gevoed door een luchtstroom, die onder de rook en vlammen door richting vuurhaard stroomt. In deze luchtstroom kunnen mensen weggelopen. Het is mogelijk dat de brand vanuit één kant wordt aangeblazen, terwijl rook en vlammen naar de andere richting worden afgevoerd (de genoemde getallen van temperatuur en rookverspreiding zijn hierop gebaseerd), maar soms wordt een brand aangeblazen via beide kanten. Een kleinere tunneldiameter dan de Referentietunnel geeft hogere temperaturen, snellere en verdere rook- en vlamverspreiding.

Hay noemt een mogelijkheid dat een ventilatiesysteem de tunnel koelt, maar vaak zal de tijd tussen het ontstaan van de brand en het functioneren van de ventilatie zo lang zijn dat de brand al tot volle ontwikkeling is gekomen en een groot deel van de tunnel onleefbaar heeft gemaakt.

Hay gaat dan in op de brandintensiteit, die afhangt van de beschikbare brandstof en zuurstof, en de mogelijkheid dat de rook weg kan. Door de warmte-uitzetting van de toetredende lucht (het volume zet bij een rooktemperatuur van 500° C een factor 2,62 uit) zal de uittrekking van rook sneller gaan dan de intredende lucht. Hoe lang een brand duurt hangt af van een groot aantal factoren: de toevoer van de brandstof en of deze brandstof ter plekke verbrandt of via de riolen brandend wegstroomt. In het laatste geval is de duur onvoorspelbaar.

6.5.3 Gedrag van mensen bij brand

Wood (1980) analyseerde het gedrag van mensen bij brand. Hij onderscheidde drie soorten reacties:

- men probeert de ruimte te verlaten, ofwel alleen ofwel samen met anderen;
- men probeert het vuur te bestrijden;
- men probeert anderen te waarschuwen, ofwel andere individuen, ofwel hulpdiensten.

In een analyse van 952 brandgevallen werd aan betrokken omstanders gevraagd wat ze als eerste actie hadden ondernomen. 15% zei te proberen op een of andere manier het vuur te bestrijden, 13% nam contact op met de brandweer, 12% ging het vuur op- of onderzoeken, 11% waarschuwden iemand anders, 10% deed wat om het gevaar te minimaliseren, 9,5% verliet de ruimte / het gebouw en 7% liet anderen de ruimte verlaten. In veruit de meeste gevallen was de eerste actie dus een passende activiteit, slechts ongeveer 5% deed iets dat Wood als gevaarverhogend karakteriseerde. Een aantal aspecten bepaalde mede de effectiviteit van de eerste acties:

- hoe ernstiger iemand de brand beoordeelt des te groter de kans dat hij of zij onmiddellijk probeert weg te komen, en de kleiner de kans dat hij/zij probeert de brand te bestrijden;
- bekendheid met de lay-out van de omgeving is niet van invloed of iemand al dan niet onmiddellijk probeert weg te komen;
- hoe vaker iemand een brandoefening of –instructies heeft meegemaakt, des te sneller gaat men evacuatie organiseren en/of het brandalarm aanzetten als eerste activiteit;
- mensen die eerder een brand hebben meegemaakt zullen niet eerder de brandweer roepen, maar wel eerder de brand bestrijden of de effecten minimaliseren, en ze zullen als eerste actie minder gauw meteen de ruimte verlaten;
- vrouwen blijken eerder dan mannen als eerste actie anderen waarschuwen, onmiddellijk proberen weg te komen, hulp vragen en hun familie evacueren, en ze zullen minder gauw als eerste actie het vuur gaan bestrijden of risico's minimaliseren;
- met toenemende leeftijd neemt de bereidheid om het vuur te bestrijden toe.

Wood vond dat de volgende aspecten de bereidheid om te evacueren deden toenemen (in volgorde van afnemende invloed): percentages geven aan hoeveel procent zegt de ruimte/het gebouw meteen te hebben verlaten:

- rookverspreiding: bij veel rook 65% meteen de ruimte, bij weinig rook slechts 40%;
- locatie: thuis verlaat 67% meteen het gebouw, op het werk 40%;
- ervaring: met eerdere ervaring verlaat 60% meteen de ruimte, bij een eerste ervaring 41%;
- geslacht: 60% van de vrouwen en 49% van de mannen verlaten meteen de ruimte;
- leeftijd: 59% van de “jongeren” en 49% van de ouderen;
- oefening: geen, 56%, enige 49%;
- bekendheid met het gebouw: goed bekend 56%, minder bekend 49%;
- rook: aanwezig 56%, afwezig, 48%.

Er blijken ook mensen weer terug te gaan in brandende gebouwen, en dit gebeurt vaker bij mannen dan vrouwen, overdag dan 's nachts, met dan zonder rook, en met dan zonder eerdere ervaring.

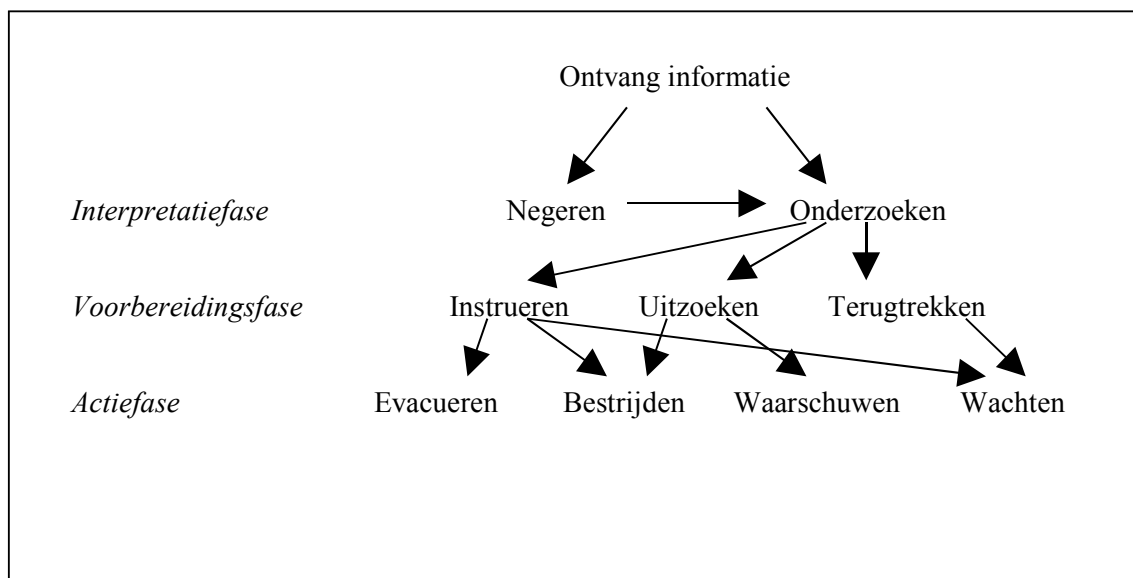
Als er rook aanwezig was blijkt dat 60% van de mensen daar doorheen gaat, en 50% zelfs meer dan 10 m. Hierbij is verder van invloed dat mannen er meer toe geneigd zijn om zich door rook te begeven dan vrouwen, dat men er meer toe bereid is als de rook fors is verspreid dan wanneer er minder rook is, thuis eerder dan op het werk, overdag eerder dan 's nachts, en bij goede bekendheid met de omgeving eerder dan bij onbekendheid.

Uit deze studie blijkt dat veel mensen bereid zijn om brand te bestrijden. Mogelijk is dit ook een verklaring voor het grote aantal mensen dat weer bereid is terug te gaan het brandende gebouw in (53% van de mannen en 34% van de vrouwen!). Vanuit het oogpunt van veiligheid is het verbijsterend dat er mensen zijn die terug gaan, maar kennelijk wil men niet niets doen. Daarnaast is het willen redden van persoonlijke bezittingen een bezigheid die mensen, eenmaal zelf buiten gevaar, toch willen proberen.

Samenvattend geeft Wood de volgende karakteristieken:

- iemand die bij het eerste teken van een brand meteen probeert weg te komen is (statistisch gesproken) een vrouw die het als een extreem gevaarlijke situatie beoordeelt en geen ervaring heeft met brand;
- iemand die probeert te gaan blussen is een man tussen 30 en 59 jaar oud, op zijn werk en met enige ervaring met brand;
- iemand die gaandeweg aan evacueren werkt is een vrouw, onbekend met nooduitgangen, zonder eerdere brandervaring en zonder training of instructie;
- iemand die teruggaat in het brandende gebouw is een man, tussen 20 en 39, goed bekend met het gebouw, met eerdere brandervaring, overdag, en er is rook aanwezig;
- iemand die zich door rook heeft begeven is een man, goed bekend met het gebouw, wel van oordeel dat de brand extreem gevaarlijk is, thuis, gedurende de nacht;
- binnen deze studie is door de vereenvoudiging van de vragenlijst-antwoorden het effect van onderlinge invloed van mensen op elkaar – sociale interactie – weggefallen. Een heranalyse toont dat een bestaande onderlinge samenwerking, thuis of op het werk, blijft bestaan als men elkaar help bij een brand. Van paniek is meestal geen sprake.

Ook Canter, Breaux en Sime (1980) maken een analyse van het gedrag bij brand, nu in een aantal gevallen van brand in woonhuizen, hotels en ziekenhuizen. Op basis van deze analyse stellen zij een soort algemeen model op van een sequentie van gedragingen zoals die blijkbaar optreedt (figuur 6.2). Na het ontvangen van de informatie dat er iets aan de hand is wordt deze informatie in de Interpretatiefase ofwel genegeerd ofwel onderzocht. In de Preparatiefase zijn er dan drie mogelijkheden: terugtrekking, verder uitzoeken en instrueren. Dit leidt in de Actiefase tot wachten, waarschuwen, bestrijden of evacueren. Dit model geldt voor binnenbranden. De informatie waar het om gaat is in eerste instantie soms olfactor (men ruikt een brandlucht), vaak akoestisch (men hoort knetterende geluiden), waarna bij onderzoek later



pas visuele informatie komt (men ziet rook, of zelfs vlammen). De ervaring leert dat vooral akoestische informatie vaak wordt genegeerd.

Figuur 6.2: algemeen model voor het gedrag bij brand in gebouwen (naar Canter, Breaux & Sime, 1980).

Dit algemene model kan worden uitgebreid voor het individuele rijgedrag van automobilisten bij een tunnelbrand. De initiële informatie is hierbij uitsluitend visueel (men ziet rook of vlammen), want in een auto kan men vooraleerst weinig horen of ruiken van buitenaf, in elk geval niet gauw het knetteren of loeien van vlammen. Probleem is, dat er een dynamische component bij zit. De brandhaard van een tunnelbrand is in de meeste gevallen een ander voertuig – heel erg vaak een vrachtwagen. Die staat stil en het niet tijdig waarnemen van een stilstaande voorligger of tegenligger kan als zodanig al leiden tot een gevaarlijke situatie of een ongeval, zeker bij enige rookontwikkeling. Gaan stilstaan om de situatie te onderzoeken is vervolgens bovendien zelf een actie die leidt tot een gevaarlijke situatie. Een tweede probleem van een tunnel is dat gewenst vluchtgedrag doorgaans maar ééndimensioneel kan zijn, namelijk langs de tunnelbuis. Alleen bij een dwarsverbinding met een andere tunnelbuis of een vluchtbuis kan men de eigen tunnelbuis verlaten, en dergelijke voorzieningen zijn lang niet bij alle tunnels aanwezig.

6.5.4 Problemen bij brand

Het probleem bij tunnels en brand (zie bijvoorbeeld Brauner & Heck, 1994) is dat de weg die vluchtende mensen moeten afleggen ook de weg is die de rook en de giftige gassen afleggen. Een rookfront vertrekt van een brand in een tunnel met een snelheid van zo'n 11 m/s richting de uitgangen. Soms wordt zo'n rookfront nog geholpen door een natuurlijke (of kunstmatig aangewakkerde) tochtstroom. In de Mont-Blanc tunnel bijvoorbeeld was het zo mogelijk dat vanuit Italië de brandhaard nog behoorlijk dicht benaderd kon worden, maar vanuit Frankrijk al gauw op kilometers afstand de hulpvoertuigen vast kwamen te zitten. Rookgasafzuiging kan weliswaar de uitbreiding van het rookfront verminderen, maar wel een kunstmatige aanvoer van zuurstof in stand houden of bevorderen. Ook een probleem is de hitte. Een forse brand, bijvoorbeeld vanuit een tankauto stromende benzine, aangewakkerd door tocht en/of een afzuigstelsel kan temperaturen doen oplopen tot boven de 1200° C. In Oostenrijk is het wettelijk vastgelegd dat in tunnels het ventilatiesysteem in geval van brandalarm automatisch wordt gecontroleerd door computerprogramma's (Pucher, 1999a). Deze programmatuur opereert automatisch totdat de brandweer arriveert. Dit voorkomt in ieder geval verkeerde ventilatie.

Haack (1992) meldt dat de kans op tunnelbranden is toegenomen door:

- toename van m.n. wegverkeer;
- toegenomen snelheid (met name railverkeer);
- toename aantal tunnels en hun lengte;
- toename vandalisme met een tendens zich te ontwikkelen tot terrorisme (gevallen van brandstichting).

De Elbetunnel bij Hamburg is onderzocht tussen 1975 en 1989. Vrachtauto's vormen 15% van het verkeer, maar ze veroorzaken 30% van de branden. Overigens vindt in die tunnel gemiddeld één voertuigbrand per maand plaats. Dankzij nabije brandweerkorpsen heeft dit meestal geen ernstige gevolgen.

Riley & Leland (1995) geven een korte analyse van problemen met het transport van gevaarlijke stoffen door tunnels. Dit transport wordt zeer afgeraden, maar soms zijn er geen alternatieven. Overigens bewijst de Mont-Blanc brand dat ook als niet-gevaarlijk geclassificeerde stoffen problemen kunnen opleveren. Riley & Leland beschouwen 22 incidenten met gevaarlijke-stoffentransport door weg- en spoortunnels. Twee wegtunnelbranden zijn hierbij van belang: de Holland-tunnelbrand (tussen New York en New Jersey, 13 mei 1949) en de Caldecott-tunnelbrand (7 april 1982). Het zijn allebei tunnels met twee buizen

en dus eenrichtingsverkeer. Tussen de buizen zijn dwars tunnels om mensen te evacueren en hulpdiensten aan te voeren. Riley & Lelland geven enkele problemen aan. Communicatie was een kwestie. Bij de Holland tunnel ging het brandalarm naar de brandweer van zowel New York als New Jersey, waardoor vanuit beide tunnelingangen snel hulp ter plaatse was. Verder bleken tunnelgebruikers al gauw via de dwarsgangen aan ontruiming te zijn begonnen. In de Caldecott tunnel werd de brandweer niet meteen eenduidig opgeroepen, want de berichten over de brand waren in eerste instantie te vaag. Bovendien bleef een aantal mensen bij of in hun stilstaande auto's: kennelijk hadden ze de niet als zodanig gemerkte vluchtweg via de dwarsbuizen niet opgemerkt of begrepen. De moraal is, volgens Riley & Lelland, dat er duidelijke aanwijzingen en duidelijke procedures moeten zijn, die met simulatie-oefeningen moeten worden getraind, en des te meer als een tunnel een bestuursgrens overschrijdt. De communicatie dient hierbij ook stevig te worden geoefend. Inmiddels heeft de Mont-Blanc tunnelramp laten zien hoe zeer deze aanbeveling noodzakelijk is. Aan tunnelgebruikers moet ondubbelzinnig worden duidelijk gemaakt wat ze moeten doen. Anders gaan er mensen langs de tunnelbuis lopend naar buiten, anderen gaan schuilen op allerlei plaatsen of gebruiken wel de dwarsgangen, en nog anderen blijven in hun auto, proberen eventueel rijdend de tunnel te verlaten. Deze variatie van gedrag kan veel problemen opleveren en mensenlevens kosten. Ook dient te worden overwogen om gevaarlijke stoffen op andere tijdstippen dan veel mensen, en gebundeld door de tunnel te vervoeren. Met treinen wordt dit al uitgevoerd in de UK in de 7 km lange Severn tunnel en in Denemarken, de 8 km lange tunnel onder het Oostelijke Kanaal van de Groene Gordel. Door effectieve ventilatie kan de brandbestrijding in een tunnel gauw en goed plaats vinden.

6.6 Individueel versus massagedrag

6.6.1 Analyses door Sime

Een bespreking door Sime (1995) is hier erg relevant. Rampen worden vaak gekarakteriseerd door slechte communicatie voorafgaand aan, gedurende en in de nasleep van een incident. Vaak krijgen dan de slachtoffers, en niet de ontwerpers en managers van de setting de schuld. Sime houdt een pleidooi voor integratie massa psychologie en techniek/ontwerp ("engineering"), en geeft vier factoren/relaties:

- ontwerp en techniek;
- communicatie technologie;
- management van massa's;
- gedrag en beweging van mensenmassa's.

Terugkerend feit bij rampen zijn de excessieve aantallen mensen die slachtoffer worden bij in/uitgangen. Ontwerpaspecten die hierbij een rol kunnen spelen zijn: aantal en lokatie van in (uit)gangen, ontwerp van de deuren, risico van concentratie mensenmassa, oriëntatie en richtingsaanwijzingen.

Fruin (1985, geciteerd in Sime, op. cit.) stelt dat verhoging van de kans op ongevallen kan plaatsvinden door 4 factoren:

- tijd – aankomst tijd / dichtheid mensenmassa → flessenhals effect;
- ruimte: bij dichtheid $> 0.15 \text{ m}^2$ per persoon wordt controle over beweging onmogelijk en kunnen er "schokgolven" ontstaan;
- informatie in relatie tot perceptie van mensen in de massa;
- energie: de druk uitgeoefend door de mensenmassa.

Incidenten met massa's leiden vaak aan "failure of front-to-back communication". De "achterhoede" verergert vaak onbewust de krachten die uitgeoefend worden.

Zoals eerder vermeld, vindt er een element van competitie plaats, in plaats van coöperatie, namelijk als mensen een schaars maar nuttig goed begeren, bijvoorbeeld, een plaats nabij het podium, een veilige plek in geval van brand). Er is voorts een verschil tussen technische studies, die hun aandacht richten op ontwerpaspecten (bijvoorbeeld de breedte van de ingang), versus psychologische studies, die zijn gericht op motivatie, en interpretatie, het vertoonde gedrag en hoe het wordt geïnterpreteerd.

“Paniek” en “massa” zijn woorden die vaak ten onrechte worden gebruikt bij beschrijving brand instructies en als zodanig worden opgeblazen in de media. Vaak is er geen sprake van irrationeel gedrag, maar van goed verklaarbaar gedrag vanuit het perspectief van een individu in de massa, logisch en doelgericht (bijvoorbeeld geen paniekgedrag maar gedrag veroorzaakt door gebrek aan informatie; niet weten dat er een alternatieve uitweg is).

Ondanks dat veel mensen anders vermoeden, blijkt dat egoïstisch gedrag bij noodsituaties eerder zeldzaam dan regel is. Gezinnen blijven zo lang mogelijk bij elkaar; elkaar kwijtgeraakte gezinsleden gaan eerst naar elkaar op zoek, alvorens de ruimte / het gebouw te verlaten. Er treedt zogenaamd *Affiliative behaviour* op: individuen kijken naar andere groepsleden om daar informatie van te verkrijgen in een ambigue situatie. Ook groeperen ze zich en bewegen richting bekende objecten (bijvoorbeeld de ingang), er is sprake van “preflight” en “flight”-gedrag in noodsituaties. Deze factoren spelen echter bij laboratoriumexperimenten allemaal geen rol, en daarom treden daar soms andere effecten op, bijvoorbeeld competitie.

Sime (1985) analyseerde het gedrag van mensen die bij een brand vast komen te zitten. Puur wiskundig-logisch is het als ervan zou worden uitgegaan dat mensen zich vanaf de brand naar de dichtst bijzijnde uitgang zouden begeven, maar dat blijken mensen niet te doen. Ze blijken in het algemeen zich te begeven naar andere mensen en naar bekende plaatsen – volgens bekende routes, terwijl ook de duidelijk zichtbare aanwezigheid van een (bekende?) uitgang ertoe leidt dat mensen juist daarheen gaan, ook al zou er een andere uitgang dichtbij zijn. Sime probeert dit te verklaren met een “affiliatie”-model, waarin centraal staat dat de richting waarin en de manier waarop mensen in een noodsituatie vluchten (mede) bepaald wordt door de mate van bekendheid met bereikbare mensen of plaatsen. Bij een noodsituatie zullen mensen, nog meer dan normaal het geval is, zich wenden tot bekende mensen of plaatsen. Dit kan een verklaring vormen voor 1) mensen nemen niet de beste maar de hun meest bekende uitgang en 2) mensen verspreiden zich niet over de beschikbare uitgangen maar kiezen allemaal dezelfde uitgang. Deze bevindingen werden (post-hoc) getoetst aan de hand van de gegevens over het gedrag van mensen in één bepaalde ruimte (de Marquee Showbar) bij een brand in Summerland, een groot recreatiecentrum op het Isle of Man op 2 augustus 1973 (zie ook Pym, 1977; Sime & Kimura, 1988). Hierbij brandde het centrum grotendeels af. Er lieten 50 mensen het leven. De ongelukkige keuze van de architecten voor nieuwe materialen (Galbestos, Oroglass, Decalin) van kunststof met nog weinig gekende eigenschappen bij brand mede de oorzaak was van de zeer snelle verspreiding van het vuur. Anderzijds werd een snelle evacuatie zeer bemoeilijkt door de plaatsing en vormgeving van (nood)uitgangen, die bovendien deels bleken te zijn afgesloten met een hangslot. De analyse hield in dat de situatie van een persoon beschreven werd aan de hand van een aantal karakteristieken, waarna berekend werd in welke mate deze karakteristieken zouden voorspellen of iemand de normale of de nooduitgang zou hebben gebruikt. In dit bijzondere geval van brand maakte het voor de kans op overleven niet uit welke uitgang men probeerde te gebruiken, die bleek achteraf even groot (eigenlijk: even klein) voor elk van beide uitgangen. Het bleek dat de voornaamste variabelen die verklaarden welke uitgang mensen kozen waren: de rol (staf of bezoeker), affiliatieve banden met iemand anders in het gebouw (wel of niet gescheiden van die ander), en dientengevolge de aanwezigheid in de ruimte en nabijheid van één of andere uitgang. Onbekende routes worden door niet-geaffilieerden niet of minder gemakkelijk gebruikt. Vaak bestaan nooduitgangsroutes uit routes die expliciet niet in het normale gebruik van een ruimte worden benut, zodat ze per definitie niet in de affiliatie van mensen (buiten enkele stafleden) komen. Een fysieke

nooduitgang hoeft dat sociaal-psychologisch niet te zijn; zelfs het bordje “nooduitgang” kan voor een aantal mensen emotioneel inhouden “onbekende route dus niet nemen”.

6.6.2 Analyse door Canter et al.

Ook relevant is een analyse van Canter et al. (1992), over het gedrag van voetgangers in ondergrondse noodsituaties. Menselijk gedrag kan ervoor zorgen dat een noodsituatie een ramp wordt. Maar de omgeving is belangrijk: als men zich ondergronds bevindt is dit een bijzondere situatie. Canter et al. baseren hun analyse voornamelijk op de grote ramp in het Londonse metrostation King's Cross, op 18 november 1987. Zij vonden dat, hoewel geen bewijs, mensen een “natuurlijke aandring of wens” hadden om zich bovengronds te begeven. Verschil met een warenhuisbrand op een hogere etage is er echter in principe niet, doel blijft: veilig evacueren naar de straat. Wat betreft mensenmassa's en paniek zouden er twee verklaringen zijn voor vermeend panisch gedrag;

- 1) Besmettelijkheid van paniek. Eén persoon raakt in paniek, velen volgen.
- 2) Competitie bij massa-gedrag: beperkte bronnen: ieder wordt zelfzuchtig en probeert zijn/haar hachje te redden.

Bewijs voor beide perspectieven is er niet. In tegendeel zelfs: er zijn aanwijzingen dat mensen alles behalve irrationeel handelen, maar logische en zinvolle acties uitvoeren, al kan het zijn dat deze acties ongepast zijn of misleidend. Bovendien kan menselijk gedrag beter begrepen worden als het gezien wordt als een reeks van acties van individuen die in een sociale context opereren, en dus ook op elkaar reageren (in tegenstelling tot beschouwingen over het gedrag van een amorphe, mysterieuze groep op aggregaat niveau).

Problemen die *wel* samenhangen met het feit dat het een grote groep mensen betreft zijn:

- toename kans op een gevaarlijk voorval (omdat er meer mensen zijn);
- toename aantal potentiële slachtoffers (idem);
- communicatie gaat langzamer en moeizamer;
- tragere en moeizamere veranderingen in acties;
- spreiding van verantwoordelijkheid;
- anonimiteit (hoewel dit meer iets voor rellen lijkt te zijn [ddw]).

Canter et al. rapporteren het volgende over gedrag in noodsituaties:

- gedrag is altijd actie of doel-georiënteerd. Men moet rekening houden met de redenen waarom mensen op een bepaalde plaats aanwezig zijn en hun intenties onder normale omstandigheden;
- gedrag vindt normaliter plaats binnen bestaande rollen. Invloed van die rol is ook van belang bij noodsituaties (denk ook aan de rol van geüniformeerd personeel);
- rol-gerelateerde regels leiden gedrag. Mensen hebben duidelijker verwachtingspatronen omtrent het gedrag van anderen al gelang de rol van die anderen herkenbaar en bekend is. Zij richten hun gedrag vervolgens conform in. Als kanttekening moet hierbij geplaatst worden dat er hier sprake is van “gemiddeld gedrag”, uitzonderingen en afwijkingen kunnen negatief, of soms positief, uitpakken;
- mensen interpreteren hun omgeving actief. Ze kijken en interpreteren, in plaats van dat ze passief reageren;
- gedrag wordt gedefinieerd door de setting waar het plaatsvindt;
- script- en plaats-schemata leiden gedrag. Bij een gebeurtenis heeft men begrip van het normale gedrag in die omgeving. Dit begrip is meestal correct, soms echter niet, bijvoorbeeld iemand die voor een brand wegrent op een metrostation kan worden geïnterpreteerd als iemand die een trein wil halen;
- organisatie context is belangrijk. Indien communicatie normaal al slecht is, zal dat zeker zo zijn bij een noodgeval;

- gedrag wordt geleid door historische context. Ervaring uit verleden bepaalt actie en interactie met anderen.

Er worden drie fasen onderscheiden (zie ook het model van Canter, Breaux en Sime, 1980), elk met hun eigen typische gedragspatronen:

- 1) *Interpretatie fase*. Hierin ontvangen de omstanders aanwijzingen/bewijs van mogelijk onraad/gevaar (rook, remgeluiden of rennende mensen). De zeldzaamheid van dergelijke gebeurtenissen maakt vertraging in interpretatie cruciaal, er treedt zelfs vaak een eerst foutieve interpretatie op, of de aanwijzingen worden genegeerd.
- 2) *Voorbereidingsfase*. Hierin moet worden beslist wat men gaat doen bij noodsituaties. Dit is cruciaal om te overleven. Echter, informatie kan ambiguë zijn, dus in deze fase zou men informatie moeten toevoegen die helpt bij het nemen van beslissingen.
- 3) *Actiefase*. Hierin wordt gehandeld. Belangrijk is dat mensen niet gauw dingen doen die ze normaal ook niet zouden kunnen of willen doen.

6.6.4 Overige analyses

Ashe (1999) hanteert een vergelijkbare indeling in de tijd die nodig om uit de bedreigde ruimte te evacueren:

- *Recognition time*, de tijd tussen het begin van het “signaal” en het moment dat de beslissing wordt genomen dat de beweging wordt geïnitieerd;
- *Response time*, de tijd die nodig is om de evacuatie te prepareren, i.e. onderzoeken, informeren, voertuig verlaten, spullen pakken, enzovoort;
- *Movement time*, de tijd die nodig is om een directe verplaatsing naar een uitgang of veilige plaats te voltooien.

Elk van deze onderdelen wordt vervolgens door de auteurs geanalyseerd en uitgewerkt in het model QRAM (Quantified Risk Assessment Methodology), ontworpen voor de OECD. Het model kan gebruikt worden om diverse evacuatietijden te berekenen voor voorkomend situaties en omstandigheden.

6.6.5 Tijd om te ontsnappen

Cruciaal is de tijd die het duurt *voordat* mensen beginnen met vluchten. In een metro-experiment (oefening) duurde dat 1 tot 9 minuten, afhankelijk van hoe gewaarschuwd werd (alleen een bel vs. directieve aanwijzingen van het controlecentrum). Hier is in termen van optimalisatie van procedures veel winst te behalen. $T = t_1 + t_2$, waarin T = Tijd om te ontsnappen, t_1 = Tijd voordat mensen beginnen te bewegen (psychologie-standpunt) t_2 = tijd die nodig is om uitgang te bereiken en passeren (ontwerp-standpunt), en $T \neq t_2$. Onder t_2 vallen ook nog routezoek- en onderzoekstijd (= tijd nodig om te ontdekken wat er aan de hand is). Effectief en tijdig waarschuwen geeft mensen meer tijd en maken verplaatstijden minder belangrijk. Het maakt een georganiseerde, rustiger verlopende ontruiming beter mogelijk. Overigens wordt het nut van oefeningen voor de berekeningen van benodigde tijd voor deze onderdelen van evacuatie betwijfeld (Marsden, 1999), hoewel oefeningen zeker nuttig zijn voor het personeel. Meer heil wordt gezien in geavanceerde computerprogrammatuur waarmee de diverse onderdelen in de ontsnapping in detail kunnen worden geanalyseerd (Marsden, 1999, Ashe, 1999).

Samengevat: mensen die vanwege brand snel een plaats moeten verlaten neigen ertoe:

- een bekende richting te kiezen (namelijk zoals ze binnen waren gekomen);
- in groepen het gebouw te verlaten;
 - waarbij de nabijheid van de uitgang belangrijk is (maar afhankelijk van bekendheid);

- waarbij gezinsleden belangrijk zijn: indien die elders in de ruimte verblijven gaat men vaak eerst op zoek;
- waarbij snelheid van verlaten een belangrijke factor voor overleven vormt.

6.7 Paniek

Als er één begrip is dat bij voortduring wordt misbruikt om het gedrag van mensen en de gevolgen van probleemsituaties te beschrijven dan is het wel het begrip “paniek”. Onder paniek verstaan we hier “Plotselinge hevige schrik of angst voor gevaar” (Van Dale), leidend tot redeloos gedrag. Sime (1980) geeft een overzicht van allerlei brandsituaties waarbij de media de verklaring voor de (soms vele) slachtoffers al klaar hebben staan door over de paniek bij de menigte te spreken. Bovendien is impliciet het begrip paniek een post-hoc verwijt aan de slachtoffers – als ze zich niet in paniek waren geraakt was het allemaal zo erg niet geworden is veelal de ondertoon in allerlei krantenartikelen die dergelijke grote branden verslaan. Sime en ook Canter et al. (1992) maken duidelijk dat het begrip door dit misbruik eigenlijk onbruikbaar is geworden om nog wat te beschrijven. Nadere analyses van een aantal brandsituaties laten zien dat er vaak helemaal geen sprake was van paniek (in de betekenis van immense emotionaliteit en redeloos gedrag), laat staan dat paniek tot de slachtoffers zou hebben geleid. Wat uiteindelijk als paniekgedrag wordt geïnterpreteerd door buitenstaanders kan voor individuen vanuit de subjectieve situatie van het moment behoorlijk redelijk zijn.

Sime (1980, zie ook 1985) beweert dan ook dat hooguit een nadere analyse van de individuele motieven van mensen voor hun gedrag kan aantonen dat er sprake was van redelijk handelen dan wel onredelijke acties. Bijvoorbeeld, de keuze zeker en gruwelijk in de vlammen om te komen versus een poging te wagen het te overleven, dan wel te kiezen voor een snelle dood door uit een raam te springen, min of meer ongeacht de hoogte, mag dan paniek lijken, maar is in die situatie mogelijk zelfs redelijk. Of, als bij een evacuatie mensen worden doodgetrapt in de drukte voor één uitgang, terwijl een aantal andere uitgangen ongebruikt blijven kan dat paniek lijken, maar als later blijkt dat niemand weet had van de andere nog goed functionerende uitgangen, ook dan is het “maken dat je hier weg komt door die ene deur” een redelijke handeling in het vluchtgedrag.

De conclusie van het betoog van Sime (1980) is dat paniek voor een goede analyse van situaties geen bruikbaar concept is. Er wordt niks mee beschreven, noch mee verklaard laat staan voorspeld, zodat het in de huidige analyse niet zinnig meer is om er verder op in te gaan. Ook in de studie van Wood (1980) blijkt voor paniek geen plaats. Als er al plaats zou zijn voor het etiket “paniek”, dan kan dat pas achteraf worden toegekend op basis van een grondige analyse van de cognitieve processen die hebben geleid tot de uiteindelijke gedragingen.

6.8 Gedrag in noodsituaties

Men kan beter spreken van gedrag in noodsituaties. De algemene kermerken hiervoor zijn geldig voor alle participanten, dus behalve de tunnel(weg)gebruikers ook voor de controlekamer-operatoren en het personeel van de ingeschakelde hulpdiensten (zie bijvoorbeeld Wickens, 1984/1992; Danielsson & Ohlsson, 1999). Gegeven de zeldzaamheid van ernstige in/accidenten betreft het gedrag waar de betrokkenen geen of weinig ervaring mee hebben. De hulpdiensten zijn hierbij een uitzondering, maar de factoren waarmee ze te maken hebben zijn dezelfde. Het gaat om informatieverwerking, het nemen van beslissingen en het uitvoeren van (deel)taken onder 1) tijdsdruk; 2) emotionele druk; 3) onbekendheid met de situatie; 4) onvolledige en/of onjuiste en/of tegenstrijdige signalen. In dat soort situaties zullen mensen geen of alleen de krachtigste externe signalen gebruiken en niet of slechts oppervlakkig op hun juistheid controleren, gauw tevreden zijn met informatie en tot handelen overgaan en hierbij teruggrijpen naar bekend gedrag.

Men kan zich voorstellen, dat een potentieel levensbedreigende situatie voor een mens oeroude overlevingsmechanismen aan het werk zet, die evolutionair hun waarde hebben (gehad), maar minder of zelfs contraproductief kunnen werken in een kunstmatige omgeving zoals het verkeerssysteem of een tunnel. In de jungle is min of meer reflexief vechten of vluchten adequaat, in een tunnel is een meer cognitieve evaluatie van de situatie mogelijk adequater. Echter uit het bovenstaande mag blijken dat mensen daartoe slecht zijn uitgerust. De beperkingen van de menselijke informatieverwerking in dergelijke omstandigheden – nog eens afgezien van externe verslechterende factoren, zoals zichtbeperkingen door rook – betekenen dat maatregelen een extra evaluatie dienen te ondergaan die bij uitstek erop gericht is om hun effect in het licht van deze beperkende omstandigheden te beoordelen.

7 Sturing van gedrag bij incidenten en accidenten; voorzieningen

7.1 Zelfredzaamheid en bevordering ervan: hulpmiddelen

Thurston (1992) meldt dat veiligheidsvoorzieningen bestaan uit:

- voorzorgsmaatregelen: veilig ontwerp;
- preventie: materiaal, voorzieningen (voorkomen incidentie);
- bescherming: apparatuur en faciliteiten om effecten van incidenten te beperken (verhogen detecteerbaarheid);
- voorbereiding: verantwoordelijkheid van de exploitant;
- plannen: scenario's, noodprocedures;
- personeel: trainingen, oefeningen.

De ontwerper is verantwoordelijk voor de volgende aspecten van de veiligheid in een tunnel:

- tunnelstructuur: de fysieke kwaliteit van de tunnel;
- (bij treintunnels: spanningsrail liever dan spanningsdraad);
- thermodynamische en aërodynamische effecten;
- branddetectie;
- drainage (riool, afvoer);
- passagiers-evacuatie;
- verlichting en veiligheid;
- verkeerssignalering;
- diverse andere diensten;
- controle-centrum met bewakingsfaciliteiten voor signalering en positie voertuigen, ventilatie, CCTV, communicatiesystemen, status van de diensten (drainage, pijpleidingen, electriciteit, brandalarms), database voor het verkeer (intensiteit, snelheid, op stukken van de tunnel).

De ontwerper en de gebruiker van voertuigen (treinen maar ook wegvoertuigen) is verantwoordelijk voor de maximale voertuigveiligheid: onderhoudsbewaking en -keuring, brandverminderende materialen en systemen (automatische treinbeveiliging bij treinen).

7.2 Veiligheidssystemen en meer technische aspecten

Keller (1992) maakt een vergelijking tussen de open weg en tunnels. Slecht weer vormt hét risico op de weg, maar niet in tunnel. In tunnels zijn echter veel beperkingen. Ieder incident in een tunnel is in potentie gevaarlijk, de ruimte is er beperkt, dus er moet alles aan gedaan worden om incidenten niet alleen te voorkomen, maar ook voorzorgsmaatregelen te treffen voor die situaties. Brand in een tunnel is het grootste gevaar van alle. Keller voorziet de volgende veiligheidsmaatregelen, waarbij de lengte van de tunnel van belang is, alsmede de verkeersintensiteit, het type tunnel (urbaan, landelijk): zie tabel 7.1.

Tabel 7.1: Veiligheidssystemen (Keller 1992)

Type Communicatie	Apparatuur	Informatie / functie / betekenis
Bestuurder naar operator	Alarm knop Voertuig detectie Verwijdering van brandblusser	Noodsignaal Verkeersintensiteit Brand alarm
Operator naar bestuurder	Matrix-verkeersborden VMS Radio-uitzending	Tunnel gesloten Snelheid verlagen Informatie naar bestuurders
Twee weg communicatie	SOS telefoon	Noodoproepen
Monitoren		
Brand	Branddetectoren	Brand
Luchtkwaliteit	CO sensoren Zicht-sensoren Windsnelheid	Excessieve CO niveaus Slecht zicht excessieve windsnelheid
Verkeer	Congestie detectoren Hoogte detectoren Bezettingsdetectoren voor - nissen - reddingsruimtes CCTV	stilstaand verkeer Sluit tunnel voor voertuig Voertuig gestrand Veilig gebied Voertuigstroom [maar ook situatie en aard in/accident]
Ontwerp en constructie	nissen, reddingsonderkomens, dwarsverbindingen, veiligheidstunnel, drainage systeem, vluchtroutes, brandblussers, “branddeuren”, brandkranen	
Automatisch geactiveerde Veiligheidssystemen	Tunnel ventilatie systeem Verkeerscontrole systeem Verlichting CCTV Stroomvoorziening	“brand modus” “brand programma” backup systeem
Personeel - operator - reddingsteams	Controle centrum reddingsuitrusting	24 uren bezetting 24 uren bezetting
Regulering - Verkeer - Onderhoud	Snelheidslimiet Borden verboden in te halen Borden verboden te keren Beperking gevaarlijke stoffen Handboeken, checklists	

NB: veel automatisch geactiveerde systemen moeten, vanwege het hoge percentage valse alarms eerst door de operator geverifieerd worden

Brandventilatie-procedures zijn tegenwoordig complex met als gevolg dat het heel moeilijk is voor de operator om een snel, correct en compleet te krijgen van de situatie en de juiste acties

te ondernemen. Voorgeprogrammeerde acties moeten op basis van goed geprogrammeerde algoritmen ervoor zorgen dat het systeem correct reageert. Geavanceerde ventilatiesystemen bestaan uit mechanische en elektrische onderdelen die computergestuurd zijn wat het geheel fout-gevoeliger maakt dan een simpel systeem.

Betrouwbaarheid hangt af van 1) kwaliteitscontrole en 2) redundantie. De volgende aspecten moeten in de gaten worden gehouden bij het ontwerpen van veiligheidssystemen:

- operationeel concept; definitie verantwoordelijkheden en waar die liggen. Taken operator, politie, reddingsteams, onderhoudsploeg;
- veiligheidsplan; definiëring van incidenten met vereiste actie (automatisch of door tussenkomst operator): –passieve veiligheidsmaatregelen, –automatisch geactiveerde apparatuur, en –beslissingsproces van de operator. Feilen van apparatuur en de consequenties voor het veiligheidsplan met mogelijke oplossingen moeten in kaart worden gebracht;
- controle en communicatie richtlijnen;
- ontwerpaspecten, onder andere: voorkeur simpele en betrouwbare oplossingen, kritieke elementen vergroot weergeven, backup/spare capacity;
- kwaliteitsbewaking: begint bij ontwerp, potentiële probleemanalyse
- ontwerp review (checks);
- periodiek testen (apparatuur, maar ook de mensen en de procedures, hetgeen oefeningen kan inhouden);
- inspecties.

Het bevorderen van het correcte gebruik van hulpmiddelen in tunnels is een vraag apart. In Japan heeft de Japanese Highway Public Corporation een tentoonstelling opgesteld nabij de ingang van de 11 km lange Kan-Etsu tunnel (Yoshimori et al., 1995). In deze tentoonstelling worden de hulp- en blusmiddelen getoond en het gebruik ervan uitgelegd met diverse media. Ruim 70% van de bezoekers zegt desgevraagd de informatie van belang te achten voor de veiligheid in de tunnel, er door bewust te zijn geworden van de mogelijkheden deze middelen te gebruiken.

Ranzo & Domenichi (1995) geven een overzicht van de mogelijkheden in enkelbuis-tweerichtinstunnels. Zij vinden dat de aanwezigheid van longitudinale ventilatie geen veiligheidvergroterend effect heeft. Bij een typische tunnelbrand zal de temperatuur boven de brandhaard al gauw tot 1500° C oplopen. De limiet voor overleefbaarheid is 180° C, een zuurstofgehalte van 12% en een koolmonoxidegehalte van 3000 ppm. Uit een analyse blijkt dat binnen 10 minuten de rook tot bijna een kilometer van de brandhaard het zicht verder zo goed als geheel beneemt. Longitudinale ventilatie of natuurlijke trek kan de rookwolken aanzienlijk sneller verspreiden. Daarom is voor een tunnel in feite alleen een parallelle buis met dwarsgangen een veilige manier om mensen te evacueren. Als dat niet kan zouden er schuilplaatsen gemaakt kunnen worden nabij noodparkeerplaatsen, die minstens 3 uur lang beveiliging moeten –bieden tegen vuur, hitte, rook en toxische gassen en een afzonderlijke luchtverversingstoevoer moeten hebben. Naast deze schuilplaatsen dienen bewegwijzering en noodverlichting aanwezig te zijn, automatische branddetectie-apparatuur, en automatische supervisie voor alle noodgevallen. Ranzo & Domenichi stellen dat bij een noodsituatie zo'n systeem:

- de longitudinale ventilatie moet uitschakelen, om rookverspreiding en aanwakkeren van het vuur door verse lucht te voorkomen;
- de noodverlichting en ventilatie voor de schuilplaatsen moet inschakelen;
- de noodverlichting en veiligheidssignalen in de tunnel moet inschakelen;

- brandblussers moet aanzetten en een “akoestisch diffusiesysteem” (waarbij niet duidelijk wordt uitgelegd in het rapport wat hiermee wordt bedoeld) om de acties van de tunnelgebruikers die bij het noodgeval betrokken zijn te geleiden;
- na verloop van tijd de ventilatie weer moet inschakelen om de rook te verspreiden en hulpverleners toegang te verlenen.

Het ironische is dat deze (Italiaanse) aanbevelingen een deel van de problemen in de Mont-Blanctunnel hadden kunnen voorkomen, maar zeker niet allemaal. Omdat die brand 50 uur duurde, zou een schuilplaats volgens de specificaties van de auteurs niet veel nut kunnen hebben.

7.3 Risico en evacuatie

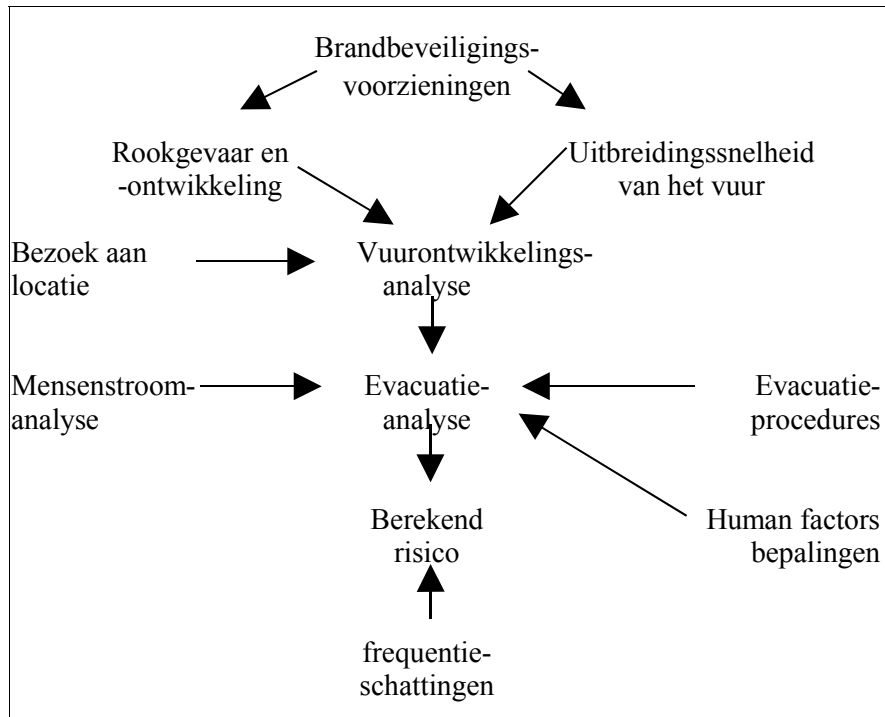
Dray, Harris & Proctor (1995) maakten een analyse van de persoonlijke risico's die mensen in tunnels lopen. Hierbij gebruikten zij een specifiek systeem, “Simulation of personnel evacuation from complex spaces (SPECS)”. Wat betreft risico's die mensen in tunnels lopen vinden zij de volgende factoren van belang:

- het optreden van de staf;
- passagiers/gebruikers van verschillende mogelijkheden (onder andere gehandicapten);
- invloed van bestrijdings- en probleemverminderingssystemen (brandalarm, sprenkelinstallaties);
- topografie en geometrie van de omgeving, layout van het gebouw of de tunnel, route die de rook neemt, knelpunten;
- tijd-afhankelijke aspecten, zoals de ontwikkeling van het vuur, hitte, rook, gassen;
- communicatiesystemen, zoals signaleringen, luidsprekers, radiokanalen;
- aantal en verdeling van mensen in de locatie.

Het SPECS systeem van evaluatie houdt hiermee in principe wel rekening. Een evaluatie bestaat dan uit de volgende stappen:

- verdeling van de locatie in evacuatie-gebieden;
- evacuatie-analyse, waarbij routes en methoden worden bepaald per evacuatiegebied, ervan uitgaande dat in elk evacuatiegebied een brand kan uitbreken. De analyse wordt uitgevoerd afzonderlijk voor regelmatige gebruikers, incidentele gebruikers, gehandicapten;
- passagiersstroom-analyse, een dynamische analyse over de tijd van het verloop van de passagiers, waarbij knelpunten in de evacuatie-routes zichtbaar worden;
- vuurontwikkelings-analyse: per gebied wordt bepaald wat de verwachte ontwikkeling van een brand zal zijn, gegeven de aanwezigheid van bepaalde materialen, waarmee een schatting van de overlevingstijd van dat gebied kan worden gemaakt;
- brandbeveiliging: de invloed van eventueel aanwezige brandbestrijdingsmiddelen wordt in de vuurontwikkelings-analyse betrokken;
- risico-analyse: de gegevens van diverse bovenstaande stappen worden gecombineerd tot een schatting van de kans op het optreden van doden en gewonden en het aantal betrokkenen hierbij;
- human factors: het gedrag van passagiers en staf ten aanzien van ontruiming en/of brandbestrijding en/of hulpverlening wordt geanalyseerd.

Deze analyse levert een boomdiagram op, zoals in figuur 7.1 staat afgebeeld.



Figuur 7.1: boomdiagram van de basiselementen voor een evaluatieve analyse van evacuatie-risico's

Voor het maken van een dergelijke analyse zijn de volgende gegevens nodig:

- verdeling van mensen over gebieden van de locatie (bezoekers en staf);
- mogelijke routes die mensen zullen nemen bij een poging tot evacuatie, gebaseerd op borden, signalisatie en mededelingen (maar: ook niet-verwachte routes dienen te worden beschouwd [f.s.]);
- beoordeling van de mate van vertrouwdheid met de omgeving en het vermogen de aanwijzingen op te volgen;
- analyse van de tijd die het kost om een gebied te evacueren, en de tijd die het kost voor een gevaar om zich te ontwikkelen of uit te breiden;
- de mogelijke hulpverlening of brandbestrijding van de staf en/of passagiers;
- succeskans van aanwezige bestrijdingssystemen.

Om dit goed te laten gaan is informatie van branddeskundigen en gedragswetenschappers noodzakelijk.

Voor een evaluatieve analyse lijken bovenstaande stappen uitgebreid en volledig, maar het systeem wordt naar ons idee nog te normatief benaderd. Hoe mensen zich gedragen in een bepaalde omgeving blijkt steeds toch weer enige tot veel verrassingen te bevatten. Het lijkt ons in elk geval naïef te veronderstellen dat mensen zich meteen via voorheen onbekende wegen in veiligheid willen stellen; de analyses van Sime en Canter tonen het tegendeel aan. Dit systeem behoeft dus aanvulling vanuit de praktijk.

7.4 Human factors bij veiligheidsmiddelen en evacuaties

Human factors worden dus als essentieel gezien. Ook Chan & McCleery (1995) ondersteunen dit, maar hun artikel laat zien dat ze er een vage en naïeve notie over hebben. Hun aanbevelingen zijn incompleet en deels wellicht contraproductief. Het lijkt enerzijds nuttig twee uitgangen te bewegwijzeren, maar in noodsituaties hebben mensen volstrekt eenduidige informatie nodig. Hoewel het zin kan hebben naast de dichtstbijzijnde uitgang ook een andere

te verwijzen is het niet verstandig dit op permanente basis te doen, maar alleen als het nodig is, dus met een of ander systeem van VMS. Ook het opschrift op niet-uitgangsdeuren “not an exit” bevat het woord “exit”, wat in noodsituaties mogelijk als enige wordt gezien. Een andere boodschap zou moeten worden bedacht om niet-uitgangsdeuren te markeren (“engine room” of zoiets, dus duidelijk iets zonder eigen uitgang). Chan & McCleery beweren verder dat bij een brand de eerste tijd het vuur hitte nodig heeft om de omliggende materialen te verhitten totdat die ook vanzelf gaan branden. Hun schatting is dat dit proces ongeveer 20 tot 30 minuten duurt (in een metrotunnel), zodat die tijd voor een snelle evacuatie kan worden gebruikt. Daarna wordt de hitte ondraaglijk. Misschien dat een metrotrein kan worden vervaardigd van materiaal dat weinig brandbaar is, in een autotunnel zullen alle voertuigen op zijn minst brandstof bij zich hebben, naast andere stoffen (rubbers, bekleding, vracht) die brandbaar of explosief zijn. De tunnelbranden in autotunnels laten dan ook zien dat de tijdsschatting van 20-30 minuten volstrekt over-optimistisch is: al binnen enkele minuten kan de hitte- en met name rookontwikkeling de omstandigheden in een omgeving van honderd tot tweehonderd meter van de brandhaard dodelijk maken. Dus een combinatie van vuur bestrijden door enkele doortastende personen en onmiddellijke evacuatie door alle anderen dient te worden aanbevolen. Ook worden door Chan & McCleery brandoefeningen, aangekondigde maar ook onverwachte, ten zeerste aanbevolen. Marsden (1999) stelt dat oefeningen met gesimuleerde deelnemers geen enkel nut hebben, behalve als oefening van de betrokken beambten in hun rol. Men leert echter weinig van dergelijke oefeningen in de zin van hoe het verloop van een evacuatie zal zijn. Aanbevolen wordt gebruik te maken van recente, geavanceerde computersimulaties waar observeerbaar en voorspelbaar gedrag is verenigd tot een toetsbaar model.

Een van de tunnels – weliswaar een spoortunnel – waarbij een geïntegreerde veiligheids- en human-factors-aanpak is uitgevoerd vanaf de tekentafel is de kanaaltunnel tussen Calais en Folkstone. Een artikel van Berman & Ody (1995) beschrijft wat er preventief is gedaan om deze tunnel zo veilig mogelijk te maken. Voor autotunnels is dit verhaal interessant omdat er een voorbeeld-procedure mee wordt gegeven die opgevolgd zou kunnen worden. De kanaaltunnel bestaat uit twee hoofdbuizen met een derde buis ertussen, als service- en evacuatiebuis, dus met verbindingen vanuit de hoofdbuizen naar de servicebuis. Het weghalen van tunnelgebruikers en het bestrijden van problemen is vanaf het begin een van de basis-elementen geweest bij het ontwerp van de tunnel. Gezien de lengte (35 km) en het belang van acceptatie van de tunnel – zonder acceptatie geen passagiers, dus een faillissement – was dat ook wel noodzakelijk. De volgende aspecten werden beschouwd:

- het gewenste gedrag van de tunnelgebruikers / passagiers;
- de manieren om dat gedrag te bewerkstelligen en te controleren;
- acties van de staf als reactie op een noodgeval;
- acties van de staf voor het “uitlokken” van het gewenste gedrag van de passagiers;
- materiaal, apparatuur en systemen waarmee staf en passagiers van doen hebben;
- gebreken in de interactie tussen staf en passagiers, en de factoren die deze gebreken kunnen beïnvloeden;
- de noodzakelijke tegenmaatregelen tegen deze gebreken, hun beschikbaarheid en effectiviteit;
- de faciliteiten van het controlecentrum, gedrag van de staf, en interacties met de staf in de treinen.

Voor de Kanaaltunnel zijn er allerlei scenario’s bedacht van “typische” noodsituaties, en de bijbehorende reacties. Hierbij speelden twee soorten scenario’s een hoofdrol: brand en ontsporing / vastlopen. De scenario’s betroffen de te nemen maatregelen bij in toenemende mate ernstige noodsituaties:

- evacuatie van een enkele wagon naar een aangrenzende wagon terwijl de trein blijft rijden;

- stilstand van de trein, evacuatie uit de wagons en het weghalen van de trein in twee delen naar tegengestelde richtingen;
- gecontroleerde stilstand van een gehele trein, en evacuatie van de passagiers te voet naar de service-tunnel;
- ongecontroleerde stilstand, zodat de treindeuren niet tegenover deuren van de dwarsverbindingen zouden staan, en evacuatie te voet naar de servicetunnel.

Daarnaast werden ook nog andere situaties beschouwd:

- evacuatie van alle passagiers tegelijk op een noodplatform;
- evacuatie van een trein ergens in de buurt van de terminal, zonder platform;
- evacuatie bij een brand tijdens het auto's laden of lossen van een trein.

Hoe dan ook betekent een noodsituatie een of andere vorm van evacuatie, waarbij passagiers ervan moeten worden overtuigd dat ze te voet eruit moeten, en hun voertuig (vaak vol spullen) moeten achterlaten. Communicatie werd in deze analyse daarbij als allervoornaamste aspect beoordeeld. Dat betreft de communicatie tussen de “Chef de train” en de stafleden aan boord van een trein, de machinist en het controlecentrum. Voornamer nog, betekent het communicatie tussen personeel en passagiers. Hierbij is het cruciaal dat passagiers zo goed als permanent kunnen worden geïnformeerd, voor en tijdens een noodsituatie. Een uitgebreide taakanalyse werd uitgevoerd voor de taken van elk lid van de staf, gevolgd door “time-line analyse”, waarbij de tijdgerelateerde aspecten en het tijdsverloop van de taken en deeltaken aan bod kwamen. Vervolgens werd van elke taak en elk staflid een Human Factors HAZard and Operability Study (HF HAZOP) uitgevoerd, waarbij werd nagegaan welke informatie een staflid nodig heeft om een taak te kunnen beginnen en uitvoeren, en wat er gebeurt als er te veel, te weinig, verkeerde, geen of te late informatie komt. Ook voor de acties werd nagegaan wat er zou gebeuren als deze te vroeg, te laat, te veel, te weinig, niet of verkeerd (en hoe dan wel) werden uitgevoerd. De consequenties van deze mogelijkheden voor vervolgacties van hetzelfde of andere stafleden werd op deze manier in kaart gebracht. Hiermee kon vervolgens worden beschouwd wat er zou gebeuren en wanneer een taak compleet zou mislukken. Dit werd gevolgd door een barrière-analyse: ontwerpaspecten, inclusief procedures, werden beschouwd in hoeverre deze een barrière zouden kunnen opwerpen tegen problemen. Vanuit de HF HAZOP werden taakmislukkingen aangedragen, en met de barrière-analyse werden mogelijke barrières tegen dergelijke mislukkingen vastgesteld. Hoe uitgebreid de analyse was blijkt uit het feit dat de barrières zelf ook aan een mislukkingen-analyse werden onderworpen. Te zwakke barrières konden zo worden opgespoord. Tot slot werd alle materiaal, apparatuur en procedures aan een ergonomische analyse onderworpen om te zien of onder allerlei omstandigheden met succes het gewenste gebruik ervan kon worden gemaakt. Het artikel maakt er melding van dat dit eigenlijk te laat in het hele proces was, maar dat dit door omstandigheden niet anders kon.

Deze analyse betrof vooral de acties van de staf. Voor de passagiers is het moeilijker, omdat hun gedrag niet vanaf het begin van een rit geprotocolleerd is. Daarom werd getracht het gedrag vast te stellen dat stafleden in noodgevallen zouden willen bevorderen. Met name de adequaatheid van de informatievoorziening aan passagiers bleek hierbij van cruciaal belang te zijn. Informatie wordt constant gegeven via een letterkrant aan elke kant van de wagon boven de deuren, en via een intercom. Daarnaast is er een radiokanaal beschikbaar. Door zeer vroegtijdig de passagiers van informatie te voorzien kan een evacuatie zo snel mogelijk beginnen. Het niet informeren om paniek te voorkomen is kennelijk expliciet uitgesloten – de lessen van rampen als King's Cross station zijn hier duidelijk geleerd. Door deze gedetailleerde analyse is er ook voor de vrachtwagenshuttels een iets andere procedure ontwikkeld dan voor de personenauto-shuttles. De interdisciplinaire samenwerking tussen de Human Factors-experts en de Kanaaltunnelontwerpers en –bouwers in alle stadia van ontwikkeling en bouw bleek hierbij van essentieel belang.

Voor autotunnels is het van belang dat het scenario van een ongecontroleerde stilstand (4e gedachtenstreepje) lijkt op wat er in een autotunnel kan gebeuren. Bij een autotunnel echter is er geen staf in de buurt, dus passagiers moeten zelf diagnosticeren wat er aan de hand is en hun reactie formuleren.

In het artikel worden de volgende meer generieke bevindingen uit de analyse gemeld:

- informatie voor vertrek om de gewenste acties bij noodsituaties uit te leggen;
- informatie voor vertrek om aan te geven hoe nadere informatie onderweg zal worden verstrekt;
- alle informatiebronnen moeten onderweg routinematig worden gebruikt om de passagiers aan deze bronnen te laten wennen (bijvoorbeeld door te vertellen hoe ver de rit is gevorderd, en hoe hard de trein rijdt);
- adequate middelen om de aandacht te verkrijgen in geval “routine” over gaat in “noodsituatie”;
- tijdens een noodsituatie heldere en eenduidige indicatie van de acties die men moet uitvoeren;
- tijdens een noodsituatie heldere en eenduidige indicatie wanneer men die acties moet uitvoeren;
- het bevestigen van de gewenste acties door verschillende informatiemiddelen (redundantie);
- gebruik spontane en directe boodschappen om de vooraf geplande informatie te verstrekken.

Ook voor een geplande nieuwe lijn van de Metro van Hong Kong wordt van meet af aan menselijk gedrag meegenomen in het ontwerp van de veiligheids- en reddingsmaatregelen (Lo, 1998). De Hong-Kong metro heeft een gigantisch aanbod aan passagiers (750 miljoen per jaar in 1994; zie Kynaston & Marsden, 1995), zodat voor normale situaties al een cursus voor het personeel om de massa's te sturen is bedacht. Wat betreft een calamiteit: men zal proberen bij een treinbrand eerst de trein naar een station of een vluchtplatform te krijgen, waarna in 4½ minuut alle passagiers eruit zouden moeten kunnen zijn. Ook in geval dat de trein in een tunnel blijft stilstaan is het de bedoeling meteen met een evacuatie te beginnen. Cruciaal hierbij is de communicatie tussen het controlecentrum en de “passenger train operator” (= machinist?), want evacuatie wordt beslist in het controlecentrum. Als dat strikt wordt door- en uitgevoerd, is dit in principe levensgevaarlijk, want plichtsgetrouwe en initiatiefloze trainoperators zouden wel eens tevergeefs op deze instructie zitten te wachten, terwijl “een blind paard” zou kunnen zien dat de passagiers eruit moeten (zie ook Vardy & Wright, 1998).

De evacuatieprocedures worden afgestemd op wat er bekend is van menselijk gedrag in branden; het artikel citeert Bryan en Withey, waarbij een conceptueel model genoemd wordt van de respons op brand; deze bestaat uit de volgende fasen: herkenning (recognition), validatie (validation), definitie (definition), evaluatie (evaluation), toevertrouwing (commitment) en herschatten (reassessment) van vuur en rook. Deze processen zijn dynamisch en moeten wellicht in zeer korte tijd gebeuren. Lo rekent erop dat er geen wilde paniek uit breekt, maar dat passagiers elkaar zullen ondersteunen en helpen bij een geordende en snelle evacuatie. Individuen zijn in het model van Withey alert op de activiteiten en communicatie van de overige leden van de zich in risico bevindende groep. Het gevaar scheidt een band. Dat betekent dat adequaat gedrag snel door een groep kan worden overgenomen, maar inadequaat gedrag eveneens. Om angst te verlichten en non-adequaat gedrag te onderdrukken is het van het grootste belang dat de passagiers worden geïnformeerd over de ontwikkeling van de toestand en geïnstrueerd worden over de acties die ze moeten ondernemen. Daartoe worden luidsprekers geïnstalleerd, die Chinese en Engelse berichten zullen uitspreken.

Omdat er tot 2500 passagiers in één trein kunnen zitten is besloten bij een evacuatie al die mensen niet door de zijdeuren te laten weggaan; als de trein in een tunnel staat raken de mensen tussen de trein- en tunnelwand gevangen. Men wil de mensen longitudinaal uit de trein halen, dus aan de einden van de trein. Dat betekent dat er mensen zijn die maximaal de halve trein moeten doorlopen voordat ze eruit kunnen. Evacuatie-oefeningen zouden hebben aangetoond dat het mogelijk is alle mensen in korte tijd zo uit een trein te halen. In principe zouden de mensen via de staart van de trein worden geëvacueerd, omdat de rook door de ventilatie en het zuiger-effect van de trein naar de kop wordt gevoerd. Na een beschrijving van de procedures – minder van belang voor wegverkeer-tunnels – wordt de controlecentrale kort besproken. Hieruit blijkt dat de normale acties van de diverse systemen (ventilatie en energietoevoer) automatisch gaan, en dat de controlekamer-bemanning supervisetaken heeft, en alleen bij uitzonderlijk situaties beslissingen hoeft te nemen. De vraag is in hoeverre de beslissingsvaardigheden worden aangebracht en onderhouden door training en oefeningen, maar ook door (zelfgegeven) opdrachten tijdens de normale routinewerkzaamheden, als het ware in een soort simulatie-stand van de apparatuur, naast de normale functionaliteit. Dit kan het monotone karakter van de normale vigilantietaak verminderen, de alertheid en de motivatie verhogen en zo een kwaliteitsverbetering van de controlekamertaak bewerkstelligen. Er is een uitgebreid noodplan opgesteld, waarmee ook het uitvallen van centrale en decentrale controle over ventilatie en energie kan worden opgevangen; in dat geval zullen personeelsleden lokaal de machines gaan bedienen in een vooraf opgegeven prioriteitsvolgorde.

In Noorwegen wordt momenteel hard gewerkt aan de Laerdal Tunnel, een 24,5 km lange tunnel die de verbinding tussen Oslo en Bergen via de E16 aanzienlijk zal gaan verbeteren in de winter. De tunnel zal in 2001 gereed zijn, maar voor die tijd wordt er veel werk gemaakt om de tunnel veilig te maken in het normale gebruik en eveneens alle mogelijke voorzieningen te treffen voor calamiteiten. De opzet is om van de 20 minuten durende reis door de tunnel een prettige ervaring te maken. Dat moet dan gebeuren door een flinke variatie onderweg aan te brengen om het risico van concentratieverlies te reduceren en ervoor te zorgen dat mensen niet snelheidsblind worden. Dit wordt gerealiseerd door flauwe bochten af te wisselen met korte rechte stukken, waarbij er te allen tijde 1000 meter zicht blijft. Variërende verlichting en afwisselende wanddecoratie zijn uitgetest in simulatoren om het rijcomfort en veiligheid te optimaliseren. Verder is er op basis van de kennis uit rampen in diverse andere tunnels een scala aan maatregelen genomen, zoals continue camerabewaking, veel brandblussers en telefoons, keerpunten van verschillende omvang, noodruimtes, en natuurlijk afvoer van gassen. Aan dit laatste punt is zeer veel aandacht geschonken, met uitgebreide tests (in Nederland) van nieuwe ventilatorsystemen. Bij overschrijding van bepaalde gasnormen sluit de tunnel automatisch.

Duidelijk is dat het bij een treinbrand in een tunnel nog moeilijker is de passagiers weg te krijgen. Echter de mensen zitten in hetzelfde schuitje en zullen eerder geneigd zijn om weg te gaan (ze laten geen eigendom, hun auto achter), en anderen te helpen (groeps-effect). Echter de wachttijd bij het verlaten van de trein kan zo lang worden dat er daardoor problemen ontstaan, en de looppaden zijn smaller; ofwel platforms langs de tunnelbuis waar men vanaf kan vallen, ofwel loopvlakken tussen de rails. Open vraag: staan die rails dan nog onder stroom? Bij wegverkeerstunnels zijn deze problemen er niet, of in mindere mate (evacuatie uit bussen). Maar de tunnelgebruikers daar vormen in eerste instantie geen groep maar een verzameling individuen, waarvan de respons aanzienlijk heterogener kan zijn dan van treinpassagiers. Dit kan betekenen dat er nog nadrukkelijker en duidelijker gedragsinstructies moeten worden gegeven – bevelen dus, en dan is het nog maar de vraag in hoeverre die snel en goed worden opgevolgd. In hoeverre de aan Nederlanders toegeschreven eigenschap van koppigheid en eigengereidheid hierbij een storende factor kan vormen kan niet worden beoordeeld.

Sixsmith et al. (1988) sluiten met hun opmerkingen over ontsnappingsroutes aan bij de perceptietheorie van Gibson. Gibson's (1979) "theory of affordances" houdt in dat in de

omgeving de kwaliteit van objecten niet abstract, maar betekenisvol is. Voor iemand die wil zitten geeft een stoel een onmiddellijke waarneming van “zitbaarheid”, maar bij gebrek aan een stoet een traptrede of een tafeltje ook. Iemand die een spijker in het plafond moet slaan, neemt bij diezelfde stoel een kwaliteit van opstapbaarheid waar. In hoeverre de omgeving onmiddellijke perceptie van dergelijke gebruikskwaliteiten (“affordances”) werkelijk mogelijk maakt is onderwerp van debat, maar de praktische moraal is duidelijk: een nooduitgang moet eruitzien als een nooduitgang. Ook moet duidelijk zijn waar je tegenaan moet duwen. Daarnaast moet een nis of een andere deur die niet kan dienen als nooduitgang er zo min mogelijk uitzien als iets dat de kwaliteit “vluchtmogelijkheid” zou kunnen doen waarnemen. In het artikel van is te zien dat zelfs met de beste bedoelingen hier onder de kop “human factors” nog vergissingen tegen worden gemaakt.

Uit een beschrijving van een brand in een metro-treintunnel in Zürich (Fermaud, Jenne & Müller, 1995) blijkt dat het standaard-pictogram voor nooduitgangen mogelijk misleidend werkt. Mensen interpreteerden het als de aanwezigheid van een nooduitgang, terwijl het de richting van de evacuatie-route aangaf. Voor gebruik in tunnels, waarbij mensen naar een tunneluitgang moeten lopen, dient dus een nieuw pictogram te worden ontworpen. Ook het aangeven van de afstand tot de uitgang is van belang. De aanwezige lampen op kniehoogte waren alleen behulpzaam zolang de tunnel niet vol rook stond, daarna kon niemand er meer iets mee. Voor metro’s en treinen betekent dat dat er aan boord zaklampen zouden moeten zijn die groepjes mensen zouden kunnen gebruiken. Voor automobilisten is het hebben van een zaklamp aan boord natuurlijk altijd handig. Vaak hebben ze echter een lamp die op de sigarettenaansteker moet worden aangesloten. Tot slot bleek dat er veel tijd door miscommunicatie verloren was gegaan: de brand kon door een radiostoring niet meteen worden gemeld, zodat er nog een tegenliggende trein het tunnelsegment binnen reed waar de brandende trein in stilstand (noodrem-actie van een passagier – verder rijden was waarschijnlijk veiliger geweest). Verder werden de passagiers eerst onnodig aan boord van de trein gehouden; de passagiers hadden meteen geëvacueerd kunnen worden. Nu moesten ze de 700 m naar het volgende station vaak door de dichte rook lopen, hetgeen bij sommige mensen tot behoorlijke uitputting en hevige angst leidde. Van paniek was (ook hier) in het geheel geen sprake.

Krokeide (1988) beweert dat de meerderheid der dodelijke slachtoffers door rook ontstaat. Fotoluminescent materiaal kan mogelijk de tijd en moeite verminderen tot het bereiken van een uitgang en kan de kans op ongevallen verkleinen tijdens het verplaatsen. Het kan een hulp zijn bij het “wayfinding”. Een voordeel is, dat het werkt tot 8 uren na uitval elektriciteit, goede zichtbaarheid heeft en ook hulp-, blusmiddelen en bewegwijzing zichtbaar kan maken (ook belijning, ook te volgen kruipend over grond). Het is economisch aantrekkelijk, en men kan er een goede herkenning mee bereiken van hoeken, schakelaars en dergelijke. Een nadeel is dat evacuatie-routes van tijd tot tijd verlicht moeten worden om het materiaal “op te laden”.

7.5 Enige meer algemene en theoretische beschouwingen

Jönsson & Lundin (1998) bespreken het ontwerp van veiligheidsmiddelen in hoogbouw. Wat betreft evacuaties melden zij uit te gaan van het escape-time margin begrip. In een vergelijking:

$$\text{Life safety} = \text{Evacuation margin } M$$

$$\text{Evacuation margin } M = t_{\text{critical}} - t_{\text{evacuation}}$$

$$t_{\text{critical}} = \text{time available (until critical)}$$

$$t_{\text{evacuation}} = \text{time required} = t_{\text{detection}} + t_{\text{reaction}} + t_{\text{travel}}$$

Verder melden zij wat algemene aspecten, zoals: persoonlijke veiligheid neemt toe als in verzamelruimtes de grondoppervlakte en de hoogte van het plafond groter resp. hoger zijn. Voor specifieke gevallen stellen zij risicoprofielen op aan de hand van een gebeurtenissen-

boom. Dit lijkt veel op een soort taakanalyse, men zou het een gebeurtenissenanalyse kunnen noemen. Zij meldden een aantal reactietijden op het uitbreken van brand: zie tabel 7.2.

Tabel 7.2: Te verwachte reactietijden bij diverse brand-actiesystemen.

sprinkler-systeem	230s (bijna 4 minuten)
rookdetectie-systeem	185s (ruim 3 minuten)
handmatige activatietijd	300s (5 minuten)
reactietijd zonder alarm	300s (5 minuten)
reactietijd met alarmbel	240s (4 minuten)
reactietijd met luidsprekerbericht	180s (3 minuten)

Enkele tijden zijn berekend uit specificaties (1 en 2), enkele zijn geschat (3 en 4), enkele komen uit een gebouwen-normeringengids (5 en 6). Voor geen der getallen is gedegen empirische evidentie. Op zich zou een aanpak met deeltijden zinnig kunnen zijn, maar deze puur technische benadering zonder aanknopng bij gedragsonderzoek werkt wellicht alleen voor het redden van het gebouw. Men zou met voldoende kennis over brandontwikkeling de kritische tijd (= tijd totdat de omgevingsomstandigheden niet meer leefbaar zijn) kunnen bepalen; echter zonder aanvullend onderzoek is de werkelijke evacuatie-tijd niet vast te stellen. Dat is ook wel gebleken uit de analyses van Sime en Canter.

Vardy & Wright (1998) tonen in hun artikel de meer generieke problemen die er zijn bij het bedenken, opstellen en ontwerpen van veiligheidsmaatregelen en –middelen voor tunnels. Het is nodig simpele, eenduidige, doorzichtige en foutbestendige procedures en middelen te maken. Veel kennis over hoe dat moet is im- en expliciet in de (cognitieve) ergonomie te vinden. Ook is het van belang beslissingsbevoegdheid over uit te voeren procedures te decentraliseren. Zie het voorbeeld (in dezelfde procedingsbundel nota bene) van de nieuwe Hong-Kong metro, waarbij machinisten op een bevel van een controlekamer schijnen te moeten wachten voordat ze tot evacuatie kunnen overgaan. Dat moeten ze zelf kunnen beslissen. Bij autotunnels moet hulppersoneel dat snel ter plekke zou moeten kunnen zijn, zelf beslissen of blussen dan wel evacueren en hoe dan wel prioriteit heeft. Twee richtlijnen worden genoemd voor het opstellen van procedures voor de reactie op in/accidenten. Deze procedures:

- moeten gelegenheid tot onwetendheid of onbekendheid (ignorance), en de mogelijkheid tot het afbreken of verstoren van voornemens (intended plans);
- moeten gelegenheid tot fouten en de mogelijkheid tot het niet ontdekken van gemaakte fouten minimaliseren.

Vardy & Wright onderscheiden hierbij incident-specifieke acties en universele acties op in/accidenten. De hoeveelheid informatie die bij een in/accident moet worden verzameld voordat gerichte maatregelen kunnen worden genomen dient zo klein mogelijk te zijn. Ook dient het aantal acties dat haastig moet worden genomen zo klein mogelijk te zijn. Haastig te nemen acties – dus gebaseerd op haastig genomen beslissingen – zijn veel minder foutbestendig dan dat ze bij het bedenken ervan “in de leunstoel van de veiligheidsontwerper” eruit zien. Dat betekent dat er veel vooraf duidelijk moet zijn. Een nadeel is dat nooit alles vooraf te bedenken is. Een voordeel is, dat er vooraf de betrekkelijke rust is (= dient te zijn) voor zorgvuldige controle en herziening van de plannen, en tests tot realistische computersimulaties toe. In veel geavanceerde computersimulatie-software is tegenwoordig de ervaring van voorgaande fouten op de een of andere manier verwerkt. Ook trainingen horen te worden gegeven, zodat bij een in/accident er een deel van het gedrag bekend is, niet alleen cognitief maar ook executief.

Het vertrouwen op universele reacties (= vooraf vastgelegde en goed getrainde acties) heeft zo vele voordelen boven incident-afhankelijke (= we doen bij elk incident wat dan precies nodig is) omdat onwetendheid en fouten worden verminderd. Het nadeel is, dat niet alles vooraf kan

worden voorzien, zodat er desondanks ruimte moet blijven voor de mogelijkheid om de procedures overboord te kiepen en ad-hoc het probleem te bestrijden.

Vardy & Wright bespreken dan het (ethische) dilemma dat rampenbestijders plaagt, namelijk de keuze voor universele responsen, die theoretisch nooit 100% van de problemen dekken, maar in de praktijk mogelijk tot 70 % succes komen, of incident-afhankelijke responsen, die theoretisch een maximaal succes kunnen hebben, maar in de praktijk maar tot bijvoorbeeld 50% komen, door de gevoeligheid van onkunde en fouten. Zij wijzen op de twee soorten ethische principes die er zijn: deontologische ethiek en situationele ethiek. De eerste soort is absoluut, de tweede relatief. Het moeten kiezen uit het minste van twee kwaden, en dat dan niet kunnen of willen (situationele ethiek) betekent in de praktijk dat er veel levens verloren gaan. In de analyse van Sime bijvoorbeeld blijkt dat vaak mensen eerder op zoek gaan naar verwanten dan dat ze zichzelf in veiligheid brengen. De voorspelbaarheid van de reacties van mensen is wat dat betreft een groot probleem voor veiligheidsontwerpers, waarbij stom toeval de ene keer de juiste reactieketen op gang brengt en een andere keer de verkeerde. In termen van reacties komt het erop neer dat het kiezen voor universele reacties overeen komt met situationele ethiek: men ontwerpt een veiligheidsplan dat in de meeste gevallen het beste is, hoewel theoretisch vaststaat dat het af en toe fout gaat. Incident-afhankelijke responsen komen overeen met deontologische ethiek: theoretisch is een op puur de omstandigheden gebaseerde en dus ad-hoc veiligheidsrespons het beste, ofschoon dat in de praktijk met zoveel onkunde en fouten gepaard gaat dat het uiteindelijke succespercentage lager zou kunnen uitvallen. Op metaniveau is het goed rekening te houden met deze twee soorten ethische kwesties bij het ontwerpen van veiligheidsprocedures, en deskundigheid te bevorderen op het gebied van omgaan ermee; immers voor het maken van plannen moeten hoe dan ook keuzes worden gemaakt, en die kunnen trekken van dilemma's vertonen. Als het kan is het maken van dilemma-vrije procedures beter, maar wie weet wanneer zich iets onvoorziens afspeelt en waarvoor er dan gekozen moet worden?

Worm & Hoeksma (1998) geven een overzicht van algemene veiligheidsmaatregelen die worden genomen ten behoeve van de te bouwen Westerscheldetunnel. Zij definiëren een aantal belangrijke concepten. Risico is de combinatie van de waarschijnlijkheid van een serieus ongeval en de effecten. Hierbij onderscheiden zij de volgende factoren:

- verwachte waarde (= aantal): het aantal te verwachten slachtoffers en/of materiële rechtstreekse of indirecte schade per jaar voor een gegeven locatie;
- sociaal risico (de F-N-curve): het aantal slachtoffers binnen twee weken door een ongeval ten gevolge van een bepaalde activiteit, vergeleken met de kans dat dit aantal wordt overschreden. Hierbij wordt interne veiligheid omschreven als de veiligheid van weggebruikers, en de externe veiligheid als die van omwonenden. Bij de berekeningen worden alle verminderende factoren meegeteld;
- individueel risico: de kans per jaar dat iemand die permanent bij een activiteit aanwezig is zal overlijden in een periode binnen twee weken na een ongeval ten gevolge van deze activiteit;

Voor de Westerscheldetunnel worden de volgende standaarden gekozen:

individueel risico: $p = 10^{-6}$ per jaar, waarbij de 10^{-6} -contour de bebouwingsvrije zone aangeeft;
sociaal risico: 10 slachtoffers in één ongeval: $p = 10^{-4}$ per km, en 100 slachtoffers: $p = 10^{-6}$ per km.

Er wordt vier stadia in de veiligheidsketen onderscheiden:

- 1) De pro-actieve fase. Een tunnel is veiliger dan de veerponten die er nu varen; er is gekozen voor twee éénrichtingsverkeersbuizen met dwarsverbindingen; gevaarlijke stoffen mogen er niet doorheen.
- 2) De preventieve fase. Een automatisch verlichtingssysteem voor de overgangszone; omkeerbare longitudinale ventilatie; CO- en zichtsensoren; verkeersgeleiding en –bewaking

(waarbij sluitstroken, het verkeer wordt buiten de tunnel gestopt, detectie van een trage verkeersstroom, camera's, noodstations met intercom en brandblussers); detectie van voertuighoogte; continue bewaking en controle; 27 mm dikke thermische beschermende bekleding; kabels gescheiden van de verkeerstunnel; drainage en pompen; elektrische stroomtoevoer met een no-break systeem; geprogrammeerde, automatische controle van de systemen; intercom, luidsprekers, HF systeem, telefoonaansluitingen; variabele snelheidslimieten (80 tot 100 km/uur, afhankelijk van de verkeersdruk); inhaalverbod voor vrachtwagens.

- 3) De voorbereidingsfase. Branddetectie in alle machinekamers (plant rooms); dwarsverbindingen tussen de buizen om de 250 m; bebording van de dwarsverbindingen; brandbestrijdingssystemen; nooduitgangen met 1,5 m brede deuren; een ventilatiesysteem dat automatisch start zodra er een in/accident wordt gedetecteerd; instructies bij het gebruik van de brandblussers; brochures met ontsnappingsinstructies; afzonderlijke toegangswegen naar tunnelingangen voor hulpverleningsvoertuigen; rampenplannen; heldere en eenvoudige operator instructies.
- 4) De onderdrukingsfase. De betreft het voorzien van hulp door hulpverleningsdiensten, waaronder samenwerking met industriële (particuliere) brandweerkorpsen.

Een aantal opmerkingen is hierbij op zijn plaats:

- waarom wordt een termijn van twee weken gehanteerd? In het wegverkeer wordt al lange tijd als standaard genomen dat een overlijden ten gevolge van een (verborgen) letsel door een ongeval wordt toegeschreven aan dat ongeval als dan binnen 30 dagen plaats vindt (dus ruim 4 weken);
- daarnaast kan er een probleem ontstaan door een ongeval waarbij de gevolgen zich pas later openbaren: denk aan stralingsschade bij blootstelling aan radioactiviteit;
- slachtoffers ontstaan ook door louter blootstelling aan een levensbedreigende situatie; het posttraumatisch stress syndroom is een erkend ziektebeeld;
- het is helder als gewoon gebruikersrisico en omstanders/omwonenden risico wordt gezegd als dat wordt bedoeld: intern en extern risico is minder communicatief;

Wat betreft de opgenoemde veiligheidsmaatregelen:

- werken mobiele telefoons in de tunnel?
- een maximumsnelheid van 60 km/uur en “keep-your-lane”-rijden bij normaal verkeer is wellicht veel veiliger. Bovendien zal men, gegeven de hellingen in de tunnel op plaatsen de voorgeschreven maximumsnelheid hoe dan ook gaan overschrijden (zie de ervaringen in Noorwegen), zodat die wellicht beter naar beneden kan worden bijgesteld;
- in hoeverre de beloofde aanpak tot positieve resultaten kan leiden dient op termijn te worden gezien; dat er 30% van de bouwkosten aan veiligheidsmaatregelen wordt gependend geeft hiervoor geen garantie, misschien zelfs een vals gevoel van tevredenheid. Zoals een bespreking van de diverse brandgevallen al heeft laten zien kan een peperduur afzuigstelsel letterlijk roet in het eten gooien als er (de verkeerde kant op) wordt geblazen in plaats van gezogen. Een geautomatiseerd systeem zoals verplicht in Oostenrijk en in de nieuwe Laerdaltunnel in Noorwegen zal worden aangebracht, dient eveneens overwogen te worden. Gelukkig is bekend dat er ook aandacht is voor de gedragsaspecten van in/accidenten in de tunnel (Martens, Koster & Lourens, 1998; Lourens & Jager, 1998).

8 Hulpdiensten en reddingsoperaties

8.1 Planning en ontwerp

Behalve allerlei maatregelen om problemen te vermijden en te verkleinen moet er ook zo veel mogelijk vooraf rekening gehouden worden met reddingsoperaties. Immers, je kunt nooit alles voorzien en uitsluiten. Krook (1998) geeft, naar aanleiding van de bouw van de brug-en-tunnelverbinding tussen Zweden en Denemarken, hiervan een analyse. Bij het plannen en construeren van veiligheidsmaatregelen moeten de condities voor reddingsoperaties worden meegewogen, waarbij aandacht dient te zijn voor de praktische functionaliteit bij het bedienen en in werking zijn van technische systemen. Factoren van belang:

- analyse van ongevalsscenario's, maar ook sabotage, misdaad en mislukkingen;
- consequenties van deze gebeurtenissen;
- betrouwbaarheid en van veiligheidsinstallaties en apparatuur, en de mogelijkheid deze apparatuur ook daadwerkelijk te onderhouden;
- schade bij de constructie;
- behoefte aan reddingsoperaties;
- toegang voor een reddingsteam tot ongevalslocaties;
- werkomstandigheden voor een reddingsteam;
- behoefte aan voorzieningen en installaties ondanks feilen en gebreken;
- veiligheidsreglementen voor reddingswerkers.

In het geval van de verbinding tussen Zweden en Denemarken kwam hierbij het binationale karakter van de hele veiligheids- en reddingsmaatregelen. Belangrijke steekwoorden bij het opstellen ervan:

- risico-analyse;
- commando en controle;
- noodplan;
- responstijd;
- normale uitrusting;
- standaard-procedures;
- veiligheid voor het personeel.

Voor de volgende deelgebieden zijn de behoeftes ten aanzien van constructies en installaties vastgesteld:

- ontsnappings- en toegangsroutes;
- elektrische installatie;
- brandbescherming;
- controle en alarminstallaties;
- communicatie- en bewakingssystemen;
- ventilatie;
- drainage;
- brandbestrijding;
- in/accidenten met gevaarlijke stoffen.

Het artikel geeft enkele details, waaruit blijkt dat er toch vooral in technische termen over veiligheid wordt gedacht. Positief is dat er oefeningen worden gehouden om de twee verschillende reddingsteams aan alles te laten wennen, vooral ook aan elkaar.

8.2 Alarmeren

Wynn (1992) onderscheidt drie typen “alarm”:

- 1) Urgent alarm. Gevaar voor lijf en leden. Soms politie-alarm genoemd (want daar komt de melding veelal terecht).
- 2) Attentie-alarm. Fout vaststelling waarbij herstel noodzakelijk is.
- 3) Registratie-alarm. Eigenlijk geen alarm, maar veranderingen in status die gelogd moeten worden (voor lange termijn en preventief onderhoud).

Tabel 8.1 uit Wynn (1992) is opgenomen om de reactie op de diverse soorten alarm te bepalen.

Tabel 8.1: Reacties en contacten op alarmsituaties.

Oorzaak:	Te ondernemen actie:	Contact opnemen met:
(Lucht)vervuiling	Tunnel bekijken met CCTV Als brand: bel brandweer Volg dan scenario voor opstopping	brandweer
Stroomuitval	Tunnel bekijken met CCTV (op noodstroomvoorziening) Als druk: gebruik VMS om de tunnel af te sluiten en omleiding aan te geven Als niet druk: zaak blijven volgen op CCTV	locale politiepatrouille onderhoudsdienst locale radio voor verkeersinformatie onderhoudsdienst
Communicatieuitval	Controleer via CCTV	onderhoudsdienst
Forse opstopping	Tunnel bekijken met CCTV Patrouillewagen erheen sturen Gebruik VMS om de tunnel af te sluiten en een omleiding aan te geven Vraag aanvullende assistentie	(afhankelijk van oorzaak) politiepatrouille brandweer ambulance onderhoudsdienst locale radio voor verkeersinformatie
Kleine opstopping	Tunnel bekijken met CCTV Als slechts één rijstrook verstopt: gebruik VMS om bestuurders te waarschuwen	politiepatrouille brandweer? ambulance? onderhoudsdienst locale radio
SOS-telefoonoproep	Bekijk SOS via CCTV bepaal probleem Waarschuw via VMS als nodig	politiepatrouille wegenwacht

Bij een controlekamer waar meerdere tunnels worden bewaakt is het voornamelijk om de tunnel foutloos te identificeren van waaruit een alarm ontstaat. Door ruimte- en geldgebrek kan het voorkomen dat één terminal alle tunnels moet weergeven. Problemen in het vermogen van mensen om in dergelijke hoge informatie-stromen te functioneren kunnen door intelligente alarmsystemen en hoge alarmdrempels worden verminderd.

8.3 Oefeningen en simulaties

Vaak wordt gesteld dat de brandbestrijding en hulpverlening moet worden geoefend, ook om te zien wat er gebeurt met de brand zelf. Perard (1992) geeft een pragmatische benadering van een oefening voor het brandveiligheidssysteem in een tunnel. Men neme een auto, steke deze aan en dan kan men onderzoeken wat er gebeurt met ventilatie en andere processen. Door Perard wordt beschreven hoe dergelijke oefeningen zijn verlopen in de Des-Monts-tunnel, de Nogent-sur-Marne-tunnel, Défence-tunnel in Parijs, de FFF-tunnel, de Monaco-tak van een tunnel bij Nice, Fréjus-tunnel. Het blijkt dat het gedrag van hete rook niet goed door koude rook kan worden gesimuleerd, reden om realistische simulaties met hete rook te doen. Verder worden de effecten van de diverse ventilatiesystemen op de rook beschreven.

Evans & Lowndes (1992) beschrijven voor de Tyne tunnel een oefenprogramma waarin twee ongevallen met meerdere voertuigen realistisch gesimuleerd zijn, met warme rook. De Tyne tunnel is een wegverkeerstunnel van bijna 1700 m lengte, gereed gekomen in 1967. Het is een éénbuis-tweerichtingstunnel met een weg van 7,3 m breedte. Evans & Lowndes melden samengevat dat:

- oefeningen nuttig zijn: ze brengen probleempunten onder de aandacht;
- trainings- en lokatieverkenningprogramma's noodzakelijk zijn voor alle deelnemende partijen (ambulance, brandweer, politie, etc);
- ventilatie essentieel is om rook te verwijderen.

9 Implicaties van al het bovenstaande voor tunnelveiligheid: waar op te letten

9.1 Lessen geleerd uit de King's Cross metrobrand

Canter et al., 1992; Donald & Canter, 1992 concludeerden als volgt:

- vroege aanwijzingen voor een potentiële noodsituatie zijn heel belangrijk;
- in het publiek zagen vele de situatie niet als bedreigend, en dus werd de noodzaak tot handelen niet (tijdig) onderkend;
- na zien van rook waren de belangrijkste aanwijzingen: gedrag van anderen (rennen, is belangrijk, zie verkeerde interpretatie), wat anderen zeggen, aanwezigheid van staf (bijv. politie), verandering in de omgeving niet direct gerelateerd aan de brand (bijv. afzetting met tape), fysieke producten van de brand (hitte, vlammen, brekend glas), tenslotte: instructies van autoriteiten;
- in een noodsituatie, met name als er veel mensen bij betrokken zijn, is het van het allergrootste belang dat mensen hun gedrag snel aanpassen, anders vergroot het de kans op een ramp;
- er werd naar politie beter geluisterd dan naar London Underground staff of medeburgers;
- verschillen tussen de overlevenden en hen die niet overleefden zijn niet groot, hooguit de snelheid waarmee besloten werd tot evacuatie of in ieder geval het staken van het normale gedrag.

Vijf principes die helpen bij ontwerp, management en training:

- 1) Lokatie-gerelateerde actie regels. Mensen gaan door met zich te gedragen op een manier die zij zien als passend in de omgeving. Sociale rollen en regels blijft men volgen, ook in noodsituaties. Bij planning dient dus rekening gehouden te worden met normaal gebruik.
- 2) Verschil in evacuatiesnelheid. Rekening houden met verplaatsingspatronen door ruimtes. Mensen kiezen bekende routes, zelfs als deze naar het gevaar toe, in plaats van ervan af leiden. Ze gebruiken zo lang mogelijk de (bekende) route die ze wilden gebruiken om binnen te komen, in plaats van een onbekende, maar meer nabij gelegen (nood)uitgang. Ook zijn er verschillen tussen groepen mensen, onder andere in fysieke fitheid. Hier dient men rekening mee te houden. Mensen zullen zich niet gelijkmatig over uitgangen verspreiden, zoals vaak verondersteld is.
- 3) Vaak problemen met het herkennen van gevaar. Mensen doen dat pas als het past bij hun interpretatie. Dus niet alleen vroegtijdig informeren, ook genoeg *details* verschaffen zodat mensen hun originele gedragsschemata afbreken en adequaat naar een noodscenario gaan handelen, en ook naar alternatieve vluchtroutes kijken. Informatie moet snel worden gegeven, en die informatie moet informatief zijn. Het vroegtijdige karakter van de actie moet worden benadrukt.

- 4) Sociale validatie. Mensen kijken naar anderen voor informatie als de situatie ambigu is. Rol en verantwoordelijkheid van autoriteiten is belangrijk hier.
- 5) Hiërarchische communicatie-structuur. Als de organisatiestructuur erg hiërarchisch is, kan er erg veel kostbare tijd verloren gaan met communicatie. (“de ramp is pas een ramp als de chef het zegt”). De historische context is ook van belang. De verantwoordelijkheid van verschillende mensen moet goed gedefinieerd zijn. Verantwoordelijkheid moet overeenkomen met de rol van mensen in normale omstandigheden. Communicatielijnen moeten kort en open, en direct met mensen met gezag zijn.

Eigenlijk zou men regelmatig evacuatie-oefeningen moeten houden om het personeel alert te houden.

9.2 Te leren van de Mont-Blanc-ramp

Het gevaarlijkste is de rook, waardoor mensen stikken, eerder dan dat ze verbranden. De rook zal in een tunnel de ene of de andere kant op gaan. Welke kant dat is, staat vooraf niet vast. Daarom moeten alle maatregelen en aanwijzingen zodanig worden aangebracht en voorzien dat ze evacuatie de ene maar ook de andere kant op mogelijk maken.

Begin **nooit** aan een gedeelde verantwoordelijkheid. Mocht er bijvoorbeeld ooit een Eemstunnel van Delfzijl naar Emden komen, dan moet die onder supervisie komen van één instantie, desnoods met vertegenwoordiging van beide landen, maar met grensoverschrijdende bevoegdheden waaraan allerlei lokale autoriteiten in geval van een calamiteit ondergeschikt aan worden gemaakt.

Er moeten fouttolerante procedures en voorzieningen komen. Bij brandalarm zou bijvoorbeeld de afzuiging nooit in blaasstand gezet moeten kunnen worden, tenzij via een zeer bewuste omschakelprocedure.

Er moet aan beide uiteinden van een langere tunnel brandbestrijdingsuitrusting beschikbaar zijn, waarbij gesloten-systeem ademhalingsapparatuur bij hoort, en getraind personeel.

9.3 Verder

Ventilatie is een groot probleem. Er zijn tegengestelde meningen. Enerzijds kan ventilatie de rook afvoeren en de brand koelen. Dit gaat dan om transversale ventilatie. Anderzijds kan ventilatie de brand aanwakkeren en een deel van de tunnel – met de luchtstroom mee – volstrekt onleefbaar maken. Dit geldt vooral bij longitudinale ventilatie. De aard van de ventilatie en van de tunnel bepaalt wat er moet gebeuren.

Rookontwikkeling gaat snel en levert gauw problemen op. Ergens werd gesteld dat men binnen 10 minuten moet zijn begonnen met evacueren, omdat anders nabij de brand dodelijke condities gaan ontstaan. Passagiers van een bus moeten hoe dan ook uit voorzorg die bus altijd verlaten. Dat betekent ook dat men niet moet aanmoedigen dat mensen zelf een brand gaan bestrijden, dat kost teveel tijd. Anderzijds blijkt dat simpele brandjes juist goed door de omstanders kunnen worden geblust. Misschien moet er een (vuist)regel komen, dat bij branden waar (weglekkende) brandbare vloeistoffen (benzine, diesel, olie en dergelijke) zijn betrokken en/of branden aan een vrachtwagen men het niet meer aan de omstanders moet overlaten maar een onmiddellijke evacuatie moet starten.

9.4 Maatregelen en betrokkenen

Alvorens men begint bij een analyse van een specifieke situatie allerlei maatregelen te treffen is het zinnig de volgende indeling te hanteren. Maatregelen kunnen in drie soorten worden ingedeeld, preventief, anticipatoir en mitigerend (of curatief). Deze hebben betrekking op vier groepen betrokkene tunnelgebruikers, controlekamer-operatoren, wegbeheerders en hulpdienstmedewerkers.

- 1) Preventieve maatregelen betreffen maatregelen om in/accidenten te voorkomen. Ze bestaan uit maatregelen die de normale pré-accident-taakvervulling van alle betrokkenen ondersteunen en verbeteren. Dat betreft voor de tunnelgebruikers van een wegtunnel de gewone rijtaak; voor controlekamer-operatoren gaat het om de supervisie- en communicatietaak; voor wegbeheerders de beheerderstaak. Zaak is het totale tunnelsysteem met alle componenten zo fouttolerant mogelijk te maken. Immers, waar mensen werken worden fouten en overtredingen gemaakt. Als die tot op zekere hoogte door het systeem kunnen worden opgevangen, kan het ontstaan van een in/accident worden voorkomen.
- 2) Anticipatoire maatregelen betreffen maatregelen die kunnen worden genomen om ervoor te zorgen dat de curatieve maatregelen bij het onverhoopt optreden van een in/accident optimaal functioneren: de voorbereiding op het handelen tijdens een in/accident door participanten uit de diverse groepen, terwijl een dergelijke gebeurtenis (nog) niet aan de orde is. Het betreft maatregelen in de organisatorische sfeer: protocollisatie van afspraken, bevoegdheden en gedragslijnen, training van procedures en controle van alle benodigde hulpmiddelen, zowel voor de gewone als de buitengewone taakuitvoering.
- 3) Mitigerende of curatieve maatregelen zijn de maatregelen die genomen moeten worden om ervoor te zorgen dat bij een in/accident de gebeurtenissen onder controle blijven en de gevolgen zo gering en zo beperkt mogelijk blijven. Het gaat erom alle groepen betrokkenen in een staat van uitzonderlijke taakuitoefening te krijgen en de vier acties – waarschuwen, helpen, bestrijden en vluchten – optimaal te ondersteunen. Deze maatregelen staan in het verlengde van de anticipatoire maatregelen; beide soorten maatregelen betreffen immers het uitvoeren van buitengewone taken. De hulpdiensten kunnen in dit opzicht als een uitzondering worden beschouwd, want hun gewone taak is het juist om curatief op te treden bij buitengewone omstandigheden. Desalniettemin dienen mitigerende en ook anticipatoire maatregelen ertoe ook hun – gewone – taakuitoefening in de buitengewone omstandigheden van in/accidenten te ondersteunen.

Door nu bij een mogelijke maatregel na te gaan welk soort maatregel het betreft en voor wie deze maatregel wordt getroffen, zal het eerder duidelijk zijn of het om een maatregel gaat die voor normaal of voor buitengewoon taakfunctioneren gaat. Het opstellen van een meer-dimensionele matrix kan hierbij dienstig zijn. Hierbij kunnen dan de volgende assen worden onderscheiden: 1) soorten betrokkenen; 2) taken en gedragingen; 3) soort maatregel.

9.5 Slotconclusie

De in dit rapport gepresenteerde bevindingen uit de geraadpleegde literatuur zijn te omvangrijk om in enkele korte alinea's samen te vatten. De naar het inzicht van de auteurs twee voornaamste conclusies zijn:

- 1) Een veilige tunnel bestaat niet. Het gaat om de combinatie van tunnelinfrastructuur – aangebrachte hulpmiddelen – tunnelgebruikers en hun gedrag – tunnelomgeving. Hierbij horen niet alleen de voertuiggebruikers maar ook de verantwoordelijke wegbeheerders, controlekamer-operatoren en hulpdienstpersoneel en al deze actoren bepalen mede hoe de tunnel uiteindelijk gebruikt zal worden, in normale maar ook in buitengewone omstandigheden.
- 2) Bij het ontstaan van een in/accident is er een overgang: de overgang van normaal functioneren naar buitengewoon functioneren. Om die te bereiken is een grote omschakeling nodig bij alle betrokkenen, als het ware het uitschakelen van het normale “mentale model”, en het inschakelen van een “mentaal model voor noodsituaties”. Deze overgang is kritisch en moeilijk, en het slagen ervan bepaalt uiteindelijk of alle genomen maatregelen en beschikbare middelen en procedures voor rampvoorkoming en -bestrijding goed dan wel averrechts zullen uitwerken. Ook hierbij gaat het weer om alle betrokkenen.

Literatuur

- Amundsen, F.H. (1992). Driver Behaviour in Norwegian Road Tunnels. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels I* (pp 315-323). Kempston: ITC.
- Amundsen, F.H. (1994). Studies of driver behaviour in Norwegian road tunnels. *Tunneling and underground space technology*, 9, 9-17.
- Amundsen, F.H. (1995). Driver opinions of new subsea tunnels in Norway. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 2* (pp. 225-233). Kempston: ITC.
- Amundsen, F.H., & Ranæs, G. (1998). Traffic accidents and carfires in Norwegian road tunnels. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 3* (pp 3-13). Kempston: ITC.
- Anderl, H. (1998). A personal experience of being present in a road tunnel during a fire in a bus. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 3* (pp. 549-559). Kempston: ITC.
- Ashe, B. (1999). Prediction of evacuation from road tunnels. In: *Tunnel Fires and Escape from Tunnels, Proceedings of the International Conference* (pp. 503-511). 5-7 May 1999, Lyon.
- Beech, J. & Coombs, P. (1992). Response to incidents in road and rail tunnels. In A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels* (pp 113-119). Kempston: ITC.
- Berman, J., & Ody, K. (1995). Human factors and emergency response: the assessment of an integrated system. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 2* (pp. 173-180). Kempston: ITC.
- Bötticher, A.M.T., & Van der Molen, H.H. (1989). Risicomodellen van verkeersdeelnemers. In: C.W.F. van Knippenberg, J.A. Rothengatter, & J.A. Michon (Red.), *Handboek Sociale Verkeerskunde* (H. 17, pp. 255-272). Assen: Van Gorcum.
- Brauner, C., & Heck, H.-D. (1994). 300 meter bis zum Notausgang. *Bild der Wissenschaft*, 1994/3, 24-27.
- Canter, D. (Ed.) (1980). *Fires and human behaviour*. Chichester: John Wiley & sons. (er is een 2e druk: 1990, London: David Fulton Publ.)
- Canter, D., Breaux, J., & Sime, J. (1980). Domestic, multiple occupancy, and hospital fires. In: D.Canter (Ed.), *Fires and human behaviour* (pp.117-136). Chichester: John Wiley & sons.
- Canter, D., Donald, I., & Chalk, J. (1992). Pedestrian behaviour during emergencies underground: the psychology of crowd control under life threatening circumstances. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels* (pp. 135-150). Kempston: ITC.
- Carmody, J. (1995). Impact of interior design on road tunnel safety and driver perception. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 2* (pp. 209-216). Kempston: ITC.
- Chan, R., & McCleery, J.E. (1995). Human factors. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 2* (pp. 163-168). Kempston: ITC.
- Charters, D., & Gardiner, A. (1999). Which Tunnel fire precautions are really necessary. In: *Tunnel Fires and Escape from Tunnels, Proceedings of the International Conference* (pp. 147-156). 5-7 May 1999, Lyon.
- Coward, D. (1998). Safety in road and rail tunnels operational management – reactive. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 3* (pp 359-366). Kempston: ITC.
- Danielsson, M., & Ohlsson, K. (1999). Decision making in emergency management: a survey study. *International journal of cognitive ergonomics*, 3, 91-99.
- Donald, I., & Canter, D. (1992). Intentionality and fatality during the King's Cross underground fire. *European journal of social psychology*, 22, 203-218.

- Dray, P., Harris, D., & Proctor, P. (1995). Evaluating personal risks associated with tunnels. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 2* (pp. 137-144). Kempston: ITC.
- Duffé, P., & Marec, M. (1999a). Task force for technical investigation of the 24 march 1999 fire in the Mont Blanc vehicular tunnel - Status Report of April 13, 1999. Engelse vertaling via internetsite <http://joenet.com/mrtunnel/frame3.htm>
- Duffé, P., & Marec, M. (1999b). Task force for technical investigation of the 24 march 1999 fire in the Mont Blanc vehicular tunnel – Report of 30 june 1999. Engelse vertaling via internetsite <http://joenet.com/mrtunnel/frame3.htm>
- Encyclopaedia Britannica Online (1999). Tunnels and underground excavations. Diverse artikelen via internetsite <http://www.brittanica.com>
- Evans, K., & Lowndes, J.F.L. (1992) Testing and developing emergency procedures at the Tyne tunnel using full scale exercises. In A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels* (pp. 183-196). Kempston: ITC.
- Fermaud, C., Jenne, P., & Müller, W. (1995). Fire in a commuter train – rescue procedures as perceived by passengers. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 2* (pp. 181-188). Kempston: ITC.
- Festinger, L. (1957). *A theory of cognitive dissonance*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Fishbein, M. (1967). Attitude and prediction of behaviour. In: M. Fishbein (Ed.), *Readings in attitude theory and measurement* (pp. -). New York: Wiley.
- Gray, D.J., & Varkevisser, J. (1995). The huguenot toll tunnel fire. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 2* (pp. 57-66). Kempston: ITC.
- Green, C.H. (1980). Risk: beleifs and attitudes. In: D.Canter (Ed.), *Fires and human behaviour* (pp.277-291). Chichester: John Wiley & sons.
- Haack, A. (1992). Fire protection in traffic Tunnels–initial recognitions from large-scale tests. In A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels* (pp 213-226). Kempston: ITC. (pp. 349-362)
- Hay, R.E. (1983?). *Prevention and control of highway tunnel fires*. Washington: Federal Highway Agency. Rapport FHWA-RD-83-032 van de US federale overheid, verspreid via <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/prevent1.htm>, met figuren in afzonderlijke bestanden.
- Henke, A. (1999). Learning from real events - dealing with truck fire in St. Gotthard road tunnel. In: *Tunnel Fires and Escape from Tunnels, Proceedings of the International Conference* (pp. 369-378). 5-7 May 1999, Lyon.
- Jessurun, M. (1997). *Driving though a road environment – effects on visual perception, state of activation and subjective appraisal*. Proefschrift. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.
- Jönsson, R., & Lundin, J. (1998). *The Swedish case study – different fire safety design methods applied on a high rise building*. Lund: Department of fire safety engineering, Lund university.
- Keller, E. (1992). Reliability of Road Tunnel Safety Systems. In A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels* (pp 213-226). Kempston: ITC. (pp. 303-313).
- Krokeide, G. (1988). An introduction to luminous escape systems. In J.D. Sime (Ed.), *Safety in the built environment* (pp134-146). London: E. & F.N. Spon.
- Krook, S. (1998). Rescue operation planning – Oresund link. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 3* (pp 485-494). Kempston: ITC.
- Kynaston, R.T., & Marsden, A. (1995). Crowd behaviour – practical applications from theories. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 2* (pp. 197-208). Kempston: ITC.
- Lacroix, D. (1999). Fire in the Mont-Blanc tunnel: facts and lessons. In: *International tunnel fire and safety conference, Rotterdam 1-2 december 1999* (H. 9). Leusden: Brisk Events.
- Lo, M.N. (1998). Managing passenger safety and evacuation requirements in the design of emergency tunnel ventilation systems for HK mass transit railway extensions. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 3* (pp. 665-676). Kempston: ITC.
- Lourens, P.F., & Jager, W. (1998). *Een evacuatieplan voor de Westerscheldetunnel*. Groningen: Centrum voor Omgevings- en Verkeerspsychologie, Rijksuniversiteit Groningen.

- Marsden, A. (1999). Escape from tunnels - human behaviour; are evacuation exercises realistic. In: *Tunnel Fires and Escape from Tunnels, Proceedings of the International Conference* (pp. 551-555). 5-7 May 1999, Lyon.
- Martens, M.H., Koster, E.R., & Lourens, P.F. (1998). *Westerscheldetunnel: verkeersveiligheid tijdens calamiteiten met evacuatie*. Soesterberg: TNO Technische Menskunde. TM-98-C033.
- Merz, H., Bertogg, M., & Steiner, W. (1999). Methodology and tools for risk based evaluation of risks and safety measures for an existing road tunnel. In: *Tunnel Fires and Escape from Tunnels, Proceedings of the International Conference* (pp 3-12). 5-7 May 1999, Lyon.
- Michon, J.A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In: L. Evans & R.C. Schwing (Eds.), *Human behavior and traffic safety* (pp. 485-524). New York: Plenum Press.
- Michon, J.A. (1987). Modellen van bestuurdersgedrag. In: C.W.F. van Knippenberg, J.A. Rothengatter, & J.A. Michon (Red.), *Handboek Sociale Verkeerskunde* (H. 15, pp. 207-231). Assen: Van Gorcum.
- Molag, M., & Jansen, C.M.A. (1998). Risk analysis to optimise safety during basic tunnel design. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 3* (pp 283-290). Kempston: ITC.
- OECD (1990). *Behavioural adaptations to changes in the road transport system*. Parijs: Organisation of Economic co-operation and development OECD.
- Perard, M. (1992). Organization of fire trials in an operated road tunnel. In A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels* (pp.161-170). Kempston: ITC.
- Pucher, K. (1999a). A fire in the 8.3 km long Glenalm tunnel (fire safety approval and reality). In: *Tunnel Fires and Escape from Tunnels, Proceedings of the International Conference* (pp. 379-384). 5-7 May 1999, Lyon.
- Pucher, K. (1999b). Fire in the Tauerntunnel. In: *International tunnel fire and safety conference, Rotterdam 1-2 december 1999* (H. 8). Leusden: Brisk Events.
- Pym, C. (1977). Case study 3 – The Summerland Fire Disaster. In: V. Bignell, G. Peters, & C. Pym (eds.), *Catastrophic failures* (pp. 67-103). Milton Keynes – New York: The Open University Press.
- Ranzo, A., & Domenichi, L. (1995). Rescue facilities inside tunnels. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 2* (pp. 535-542). Kempston: ITC.
- Riley, N., & Lelland, A. (1995). A review of incidents involving hazardous materials in road and rail tunnels. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 2* (pp. 75-82). Kempston: ITC.
- Rhodes, N. (1999). Combining smoke simulation and evacuation modelling; an attempt to clarify the first actions in an emergency. In: *Tunnel Fires and Escape from Tunnels, Proceedings of the International Conference* (pp. 513-518). 5-7 May 1999, Lyon.
- Sanders, A.F. (1980). Stage analysis of reaction processes. In: G. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior* (pp. 331-354). Amsterdam: North Holland.
- Sime, J.D. (1980). The concept of panic. In: D.Canter (Ed.), *Fires and human behaviour* (pp. 63-81). Chichester: John Wiley & sons.
- Sime, J.D. (1985). Movement toward the familiar – person and place affiliation in a fire entrapment setting. *Environment and behavior*, 17/6, 697-724.
- Sime, J.D. (1995). Crowd psychology and engineering. *Safety Science*, 21, 1-14.
- Sime, J.D. and Kimura, M. (1988). The timing of escape: exit choice behaviour in fires and building evacuations. In: J.D. Sime (Ed.), *Safety in the Built Environment* (pp. 48-61). London: E. & F.N. Spon.
- Sixsmith, A.J., Sixsmith, J.A., & Canter, D.V. (1988). When a door is not a door. A study of evacuation route identification in a large shopping mall. In J.D. Sime (Ed.), *Safety in the built environment* (pp 62-74). London: E. & F.N. Spon.

- Steyvers, F.J.J.M. (1999). *De beleving en acceptatie van ontwerpvarianten van een computergevisualiseerde stalen buistunnel te Sneek*. Groningen: Centrum voor omgevings- en verkeerspsychologie, Rijksuniversiteit Groningen. COV 99-02.
- Steyvers, F.J.J.M. & Brookhuis, K.A. (1989). *Esthetische beleving van de weg - een empirische benadering. Theoretische achtergronden*. Haren: Verkeerskundig studiecentrum, Rijksuniversiteit Groningen. VK-89-27.
- Steyvers, F.J.J.M., & Gaillard, A.W.K. (1992). Slaapgebrek en taakverrichtingen. In P.J.G. Keuss, G. ten Hoopen, & A.A.J. Mannaerts (Red.), *Stress* (pp. 141-154). Lisse: Swetz & Zeitlinger.
- Steyvers, F.J.J.M., Horst, R. van der, & Staas, A. (1994). Snelheidsbeperkende maatregelen op 80-km wegen in Drenthe succesvol. *Verkeerskunde*, 1994/3, 16-20.
- Thurston, J.W. (1992). Hazards of multi-modal railway tunnel transport and assessment of design features. In A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels* (pp 213-226). Kempston: ITC.
- Törnros, J. (1998). Driving behaviour in a real and a simulated road tunnel – a validation study. *Accident analysis and prevention*, 30, 497-503.
- Van der Veen, R. (1999). Rookvrije tunnel – afzuigsysteem verwijdert rook in tunnels. *NRC Handelsblad*, 23 oktober 1999, bijlage Wetenschap en Onderwijs.
- Vardy, A.E., & Wright, K. (1998). Emergency procedures and moral dilemmas. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 3* (pp. 725-734). Kempston: ITC.
- Verkeerskunde (1999). Verkeer 't snelst als stollend gas. *Verkeerskunde*, 1999/5, 35.
- Waard, D. de (1996). *The Measurement of drivers' mental workload*. Proefschrift. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen.
- Wickens, C.D. (1984/1992). *Engineering psychology and human performance (2nd ed.)*. New York: Harper Collins.
- Winsum, W. van (1996). *From adaptive control to adaptive driver behaviour*. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen. Proefschrift.
- Wood, P.G. (1980). A survey of behaviour in fires. In: D.Canter (Ed.), *Fires and human behaviour* (pp.83-95). Chichester: John Wiley & sons.
- Wynn, S.C.W. (1992) Alarm handling for road tunnels. In A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels* (pp 37-53). Kempston: ITC.
- Yoshimori, T., Azuma, T., & Azuma, S. (1995). JH tunnel exhibition hall. In: A.E. Vardy (Ed.), *Safety in road and rail tunnels 2* (pp. 189-196). Kempston: ITC.