

Jell. Houtama

TNO-rapport / TNO report

TM-02-C034

Gedrag van automobilisten bij evacuatie van
een tunnel



Nederlandse Organisatie
voor toegepast-
natuurwetenschappelijk
onderzoek / Netherlands
Organisation for Applied
Scientific Research

INHOUD	Blz.
SAMENVATTING	5
SUMMARY	6
1 INLEIDING	7
1.1 Onderzoeksopzet	8
2 STUDIE 1: VEILIGHEIDS- EN EVACUATIEBESEF	9
2.1 Methode	10
2.2 Resultaten	11
2.3 Discussie	13
3 GEDRAGSSTUDIES IN DE BENELUXTUNNEL	14
4 STUDIE 2: WEGGEBRUIKERS INDIVIDUEEL	18
4.1 Methode	18
4.2 Resultaten	20
4.3 Discussie	22
5 STUDIE 3: WEGGEBRUIKERS IN DE FILE	24
5.1 Methode	26
5.2 Resultaten	28
5.3 Discussie	36
6 STUDIE 4: WEGGEBRUIKERS IN ROOK	40
6.1 Methode	40
6.2 Resultaten	44
6.3 Discussie	46
7 ALGEMENE DISCUSSIE	47
8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	48
9 EVACUATIEBELEID	53
REFERENTIES	55
BIJLAGE A Enquêtevragen Studie 1	57
BIJLAGE B Evaluation “SoundAlert” Sound Beacons	59
B.1 Introduction	59
B.2 Evaluation set-up	59
B.3 Evaluation methods	59
B.4 Evaluation results	59
B.5 Preliminary conclusions	61

Gedrag van automobilisten bij evacuatie van een tunnel

L.C. Boer

SAMENVATTING

Vraagstelling: De veiligheidsfilosofie voor tunnels voor het wegverkeer gaat uit van zelfredzaamheid en weggebruikers die de vluchtvoorzieningen adequaat benutten. De Bouwdienst van Rijkswaterstaat, Steunpunt Tunnelveiligheid, gaf TNO opdracht te onderzoeken of de vluchtvoorzieningen wel voldoende zijn afgestemd op het gedrag van weggebruikers.

Werkwijze: Vier veldstudies vonden plaats. Studie 1: per enquête gaven 115 automobilisten aan wat ze dachten te doen bij een ramp in een tunnel. In Studie 2 demonstreerden in totaal 69 weggebruikers in een tunnel individueel hun gedrag bij een ingebeelde ramp. In Studie 3 stopten automobilisten groepsgewijs in een tunnel achter een rokende vrachtauto. Het gedrag van in totaal negen groepen van 50 kwam op video. In Studie 4 kregen 99 deelnemers de opdracht zich te voet in veiligheid te brengen met de tunnel in dichte rook. Soms waren er geluidsbakens boven de vluchtdeuren.

Resultaten: Studie 1 liet zien dat de meesten over de rijbaan dachten te evacueren. Eenmaal in de tunnel (Studie 2) bleek slechts een kwart over de rijbaan te evacueren; de rest nam de vluchtdeur. In het middenkanaal achter de vluchtdeur wist men niet goed hoe nu verder. Passiviteit overheerste Studie 3. Men bleef in de auto zitten, zelfs als de eerste 10 auto's volledig in de rook kwamen te staan. In slechts één van de proeven kwam spontaan een evacuatie op gang. Deze verzandde uiteindelijk in praatgroepjes. Aanwijzingen van het bevoegd gezag "explosiegevaar" of "tunnel verlaten" brachten altijd de evacuatie op gang. Waren eenmaal enkelen door de vluchtdeur, dan volgde de rest. De deuren waren de *bottleneck* van de vluchtweg maar echte opstoppingen werden (net) niet geconstateerd. Bij Studie 4, rook, misten de meesten de deuren. Geluidsbakens hielpen alleen met de instructie "*er zijn geluidsbakens boven de vluchtdeuren*".

Conclusies en aanbevelingen (voor de volledige lijst zie einde rapport):

- De passiviteit van weggebruikers is te overwinnen met een oproep van de tunneloperator en/of van tevoren gegeven instructies *wat te doen bij tunnelbrand*. Deze instructies kunnen deel uitmaken van de rijopleiding.
- Weggebruikers die alleen of in de rook staan, lopen gerede kans de vluchtdeuren te missen. Betere markering van de vluchtdeuren wordt aanbevolen, ook met auditieve middelen voor evacueren in rook.
- Aanbevolen wordt te kijken naar mogelijke opstopping voor de vluchtdeur.
- Aanbevolen wordt beleidsmatig te bepalen hoe men de auto moet achterlaten (afsluiten, lichten aan?) en de richtlijnen in deze bekend te maken.
- De bewegwijzering in het middenkanaal moet duidelijk maken wat evacués moeten doen.
- Modelmatige beschrijving van evacuatie is te optimistisch als geen rekening gehouden wordt met het hier geconstateerde gedrag van evacués.
- Enkele beleidspunten inzake evacuatie van wegverkeerstunnels moeten helder worden om daarop vervolgens zowel voorzieningen als opleiding en training van de tunneloperators af te stemmen.

Behaviour of drivers when escaping from a tunnel

L.C. Boer

SUMMARY

Purpose: The safety philosophy concerning road tunnels assumes self-rescue and adequate use of the escape provisions. The Dutch Civil Engineering Division of the Department of Public Works and Water Management, Centre for Tunnel Safety, commissioned TNO to study whether the behaviour of drivers (evacuees) is tuned adequately with current evacuation provisions.

Methods: Four field studies were done. Study 1: in a questionnaire 115 drivers indicated what they thought they would do when involved in a disaster in a tunnel. In Study 2, 69 others demonstrated individually their emergency behaviour in a tunnel. In Study 3, groups of drivers came to a standstill behind a truck releasing smoke. The behaviour of a total of nine groups of about 50 drivers was recorded on video. In Study 4, 99 participants were instructed to walk to refuge with dense smoke in the tunnel, sometimes with sound beacons above the exit doors.

Results: Study 1 revealed that most drivers preferred to evacuate by road. Once in the tunnel (Study 2) only 25% evacuated by road; the others preferred the exit doors. In the escape channel behind the exit door, evacuees were unsure what to do. Passivity dominated Study 3. Drivers stayed in their cars, even when smoke obscured the first 10 cars. Spontaneous evacuation was seen in only one test, but eventually, this ended in loitering on the road. Official instructions "explosion danger" or "leave the tunnel please" started (or restarted) the evacuation in all trials. With only a few passing through the exit doors, others followed. The exit doors were the bottlenecks of the escape ways but congestion was not observed. Many missed the exit door in Study 4, smoke. Sound beacons were effective only with the instruction "*there are sound beacons above the exit doors*".

Conclusions (see end of report for the full list):

- Driver passivity can be overcome with an announcement of the tunnel operator or with proper driver knowledge *what to do in tunnel fires*. This knowledge can be included in driver training.
- When alone or in smoke, drivers are at risk missing the exit doors. Improved door marking is recommended, also with auditory means for evacuating in smoke.
- It is recommended to check for congestion in front of the exit doors.
- It is recommended to formulate official guidelines how to leave the car (locked, lights on?), and to make these guidelines known.
- The signs in the escape channel should make clear what evacuees are supposed to do.
- Evacuation models are overoptimistic if not accounting for the behaviours of evacuees observed in the current studies.
- Some details of the official policy concerning the evacuation of road tunnels should be specified and then be used to adapt both the evacuation provisions and training and education of tunnel operators.

1 INLEIDING

Tunnels voor het wegverkeer brengen risico met zich mee. Vooral hitte, rook, giftige dampen en explosies geven in tunnels veel meer gevaar dan op de open weg. In het verleden was daar minder aandacht voor. Zo werden geen vluchtwegen voorzien bij de eerste tunnel van Nederland, de Maastunnel in Rotterdam-Centrum. Wat daar momenteel als vluchtweg wordt aangemerkt was in feite een pad voor oom agent. Tegenwoordig is, waar het grotere objecten betreft, tunnelbouw zonder vluchtwegen ondenkbaar.

Na een brand in de Velsertunnel in 1978 en het besluit tunnels open te stellen voor het vervoer van bepaalde brandgevaarlijke vloeistoffen heeft Rijkswaterstaat in overleg met de brandweer richtlijnen voor wegtunnels opgesteld. Deze worden sinds 1981 gehanteerd en staan bekend als de WUT-richtlijnen (Werkgroep Uitrusting Tunnels). Een volgende ontwikkeling lijkt te liggen in de tweede helft van de negentiger jaren bij de discussie over het veiligheidsniveau van de nieuw ontworpen Westerscheldetunnel (Worm, 2002). “De stelling rees, dat een beschouwing over kansen dan wel iets mag zeggen over het te verwachten veiligheidsniveau, maar geen enkel uitsluitsel geeft over wat er nu echt gebeurt, resp. moet gebeuren, wanneer zich daadwerkelijk een calamiteit voordoet.” Inmiddels is een kaderwet tunnelveiligheid in zicht.

Preventieve maatregelen beperken het risico zoveel mogelijk. Zo hebben bijna alle tunnels in Nederland gescheiden buizen voor de twee rijrichtingen. Frontale botsingen zijn daardoor uiterst onwaarschijnlijk. En mocht zich toch een ramp voordoen, dan zijn vluchtvoorzieningen in de tunnel ingebouwd; bovendien is nagedacht over de hulpverlening. Belangrijk in de vluchtvoorzieningen zijn de deuren langs de wand. In zinktunnels geven die toegang tot een middenkanaal—een vluchtgang die beschermd is tegen hitte en rook. Of, in geboorde tunnels zoals die onder de Westerschelde, tot een dwarsverbinding naar de parallelbuis. Achter de vluchtdeuren is men veilig. Verder houdt het principe van zelfredzaamheid in dat weggebruikers de vluchtvoorzieningen ook goed zullen moeten gebruiken. Ook hier is weer zeer de vraag wat er nu echt gebeurt wanneer zich een calamiteit voordoet. Is het gedrag van weggebruikers die onverwacht bij een incident betrokken raken wel zelfredzaam?

Evacuaties en evacuatieberekeningen nemen gemakshalve aan van wel. In evacuatiemodellen laten weggebruikers onverwijd hun voertuig staan, lopen ordelijk naar de vluchtdeuren en verdwijnen in het middenkanaal. Werkelijke rampen laten wat anders zien: weggebruikers die nieuwsgierig naar de brand staan te kijken, of die zich in de auto verschansen en te lang blijven zitten (St.Gotthardtunnel, 2001). Studies uit de scheepvaart laten mensen zien die liever de gang verderop nemen en de vluchtdeuren voorbij lopen (Boer, 2001; Boer & Vredenveldt, 1999a,b). Kloppen risicoschattingen dan nog wel. Er is veel onderzoek gedaan naar probabilistische en deterministische schattingen van risico maar gegevens over het daadwerkelijke gedrag in reële omgevingen zijn schaars. De Bouwdienst van Rijkswaterstaat, Steunpunt Tunnelveiligheid, heeft daarom TNO gevraagd te onderzoeken hoe automobilisten-weggebruikers reageren op een (geënceneerde) ramp in een tunnel, en of de evacuatievoorzieningen daarop beter afgestemd moeten worden.

Daarmee is het algemene doel van het onderzoek geschetst: **afstemming van de vluchtvoorzieningen op het gedrag van de weggebruikers bij een ramp**. Dit werd gedaan door het gedrag van weggebruikers bij een in scène gezette ramp vast te leggen. Een dergelijk onderzoek moet niet verward worden met een *calamiteitenoefening* waar hulpverleners oefenen met autowrakken en lotusslachtoffers. Daar ligt het accent op de hulpverlenende diensten, hun situatiebesef, effectiviteit, communicatie en coördinatie—niet op het gedrag van de weggebruikers. Een calamiteitenoefening verdraagt zich slecht met een gedragsonderzoek omdat de hulptroepen sturend en dirigerend optreden zodat niet meer te achterhalen is wat de weggebruikers uit zichzelf zouden hebben gedaan. En toch is wat de weggebruikers uit zichzelf zouden doen belangrijk, juist in de eerste momenten van de ramp als de hulptroepen nog niet gealarmeerd, laat staan aanwezig zijn. Zullen de weggebruikers (effectief) gebruik maken van de vluchtvoorzieningen, zoals van hen verwacht wordt in o.a. analyses?

Gedragsonderzoek is geen doel op zich. Het gaat er niet om te kijken hoe slecht of goed het gaat maar (als dat nodig is) de situatie verbeteren met goede afstemming tussen gedrag enerzijds en evacuatievoorzieningen anderzijds. Aldus krijgt het beginsel van zelfredzaamheid meer en beter gestalte. Afstemming van gedrag op de evacuatievoorzieningen wordt bereikt met desbetreffende informatie in de rijopleiding en/of via een publiekscampagne verspreid. De weggebruiker krijgt dan te horen hoe men zich moet gedragen. De kosten van zo'n campagne zijn hoog. Gedragsonderzoek laat zien op welke punten verbetering nodig is en wat de baten van de campagne zullen zijn.

Afstemming van de evacuatievoorzieningen op het gedrag van de weggebruiker wordt ook bereikt met vluchtdeuren die door hun uitstraling mensen als het ware aanzuigen. Het op de passagiersvaart gerichte Europese project MEPdesign, evacuatie van schepen, is van deze benadering een voorbeeld. Met speciale markering nam vrijwel iedereen de vluchtdeur die eerder nog door 30% van de mensen gemist werd (Boer, 2001; Boer & Vredeveltdt, 1999a,b). Bij dichte rook kunnen geluidsbakens gebruikt worden om mensen aan te lokken.

Het huidige onderzoek is onderdeel van een groter geheel waarvan ook de brandproeven en een beperkte calamiteitenoefening deel uitmaken. Bij de brandproeven is nagegaan hoe rook zich door de tunnel verspreidt, hoe snel mensen het zicht verliezen, en wat met geforceerde ventilatie te bereiken is. TNO Bouw heeft deze proeven in november 2001 uitgevoerd. Een belangrijke les daaruit is "blijf achter de brand" (bovenstrooms). De rook verplaatst zich namelijk in de rijrichting, en achter de brand (bovenstrooms) maakt men grote kans vrij van rook te blijven. Daarbij werd ook de zichtbaarheid van de vluchtdeuren getest na markering van de kozijnen. De calamiteitenoefening is gehouden op 13 april 2002. Over deze onderdelen wordt separaat gerapporteerd.

1.1 Onderzoeksoptzet

In in totaal vier studies werd het gedrag van weggebruikers bij een tunnelramp onderzocht: een enquête en drie gedragsstudies (aangekondigd door Boer, 2001a). De enquête, Studie 1, peilde bij 115 weggebruikers wat ze weten van noodvoorzieningen en hoe ze bij nood denken te

handelen. De resultaten werden eerder gerapporteerd door Krul & Boer (2002). Hun antwoorden zijn theorie.

Op de theorie volgt de praktijk: Studie 2—gedragsonderzoek in een tunnel. Weggebruikers stopten achter een hekje dat een brandende vrachtauto moest voorstellen en lieten zien hoe ze zouden handelen. Er werden 69 personen getest, steeds individueel; groepsprocessen speelden geen rol.

Studie 3 bracht groepsgedrag in beeld. Dit keer blokkeerde een echte vrachtauto met rookontwikkeling de rijbanen. Een groep van ongeveer 50 automobilisten reed de tunnel in onder het voorwendsel “kennismaken”. Daarna zouden—zo werd verteld—andere ritten volgen waarbij TNO het rijgedrag zou meten. Al op de eerste rit werden de deelnemers geconfronteerd met een langzaam rijdende vrachtauto die na verloop van tijd dwars over de weg stopte en begon rook uit te braken. Een ander teken van onraad was een gaslucht. Negen groepen deelnemers deden mee, in totaal 422 personen.

Deze studie had een balans nodig tussen de wens van een zo echt mogelijke situatie en de wens deelnemers fatsoenlijk te behandelen. Een gebalanceerde onderzoeksopzet werd voorgelegd aan de medisch-ethische toetsingscommissie (METC) van TNO die oordeelde dat het onderzoek niet viel onder de wet op het medisch-wetenschappelijk onderzoek (WMO). Op aanraden van de METC werd rekening gehouden met deelnemers die de ramp toch voor echt houdend zichzelf en anderen in gevaar zouden kunnen brengen en deelnemers die, reeds getraumatiseerd door hun verleden, psychisch totaal ontredderd van de proef zouden weggrijden.

Studie 4 ging over evacueren in dichte rook. De vraag was of weggebruikers bij beperkt zicht de vluchtdeuren nog kunnen vinden. In deze laatste studie waren er als hulpmiddel geluidsbakens boven de deuren. In totaal werden 99 personen individueel getest.

2 STUDIE 1: VEILIGHEIDS- EN EVACUATIEBESEF

Wat denkt de gemiddelde tunnelgebruiker te doen in geval van een incident of ramp in de tunnel? Om daar achter te komen werd een enquête gehouden op een benzinstation vlak voor de Westelijke ingang van de tunnel onder de Noord. Wie van het benzinstation wegreed ging meteen de tunnel in (zie Fig. 1).



Fig. 1 Tunnel onder de Noord gezien vanaf de Westzijde, september 2001. Boven de hulpposten witte bordjes; boven de vluchtdeuren groene bordjes. (De eerste vluchtdeur zit links, onder het derde bordje van links; de vluchtdeuren zijn vrijwel onzichtbaar.)

2.1 Methode

Deelnemers

127 Bestuurders van personenauto's met Nederlands kenteken die stopten om te tanken, werden benaderd¹. Acht personen hadden geen tijd; vier bleken geen Nederlands te spreken. De overige 115 deden mee.

Plaats, tijd, aankleding

De enquête werd afgenomen op verschillende werkdagen in oktober 2001, steeds tussen 10:00 en 15:30 uur op het benzinstation Ridderkerk, langs de A15, Rotterdam richting Gorinchem, net voor de tunnel onder de Noord. De onderzoeker droeg een rood vestje om herkenbaar te zijn als "personeel".

Enquête

De enquête bestond uit een gestructureerde lijst met als openingsvraag "Als u in de tunnel in een file staat en er blijkt een tankauto in brand te staan, wat doet u dan". Het antwoord werd op de lijst aangekruist of opgeschreven. Afhankelijk van het antwoord werd een volgende vraag uit de lijst geselecteerd, bijvoorbeeld "hoe zou u dat doen" als het antwoord "vluchten" was. Op het eind werd genoteerd hoe vaak men door de tunnel kwam en leeftijd en geslacht. Bijlage A geeft de hele gestructureerde lijst met vragen.

¹ Achteraf geschat werden hooguit vijf automobilisten overgeslagen vanwege een buitenlands kenteken.

Procedure

Weggebruikers werden benaderd met de vraag om medewerking. Naderhand ontvingen ze een waardebon te besteden bij het tankstation.

2.2 Resultaten

Typering deelnemers

De meeste deelnemers (83%) waren mannen. Leeftijden boven de 60 jaar kwamen weinig voor. Afgezien daarvan waren de leeftijden uniform verdeeld over de categorieën 18–30, 31–40 en 41–60 jaar. Figuur 2 geeft de hoofdkenmerken van de ondervraagde personen.

De meesten kwamen dagelijks door de tunnel (53%); 30% passeerde 2, 3 of 4 keer per week; 12% eens per week; en slechts 5% minder dan eens per week.

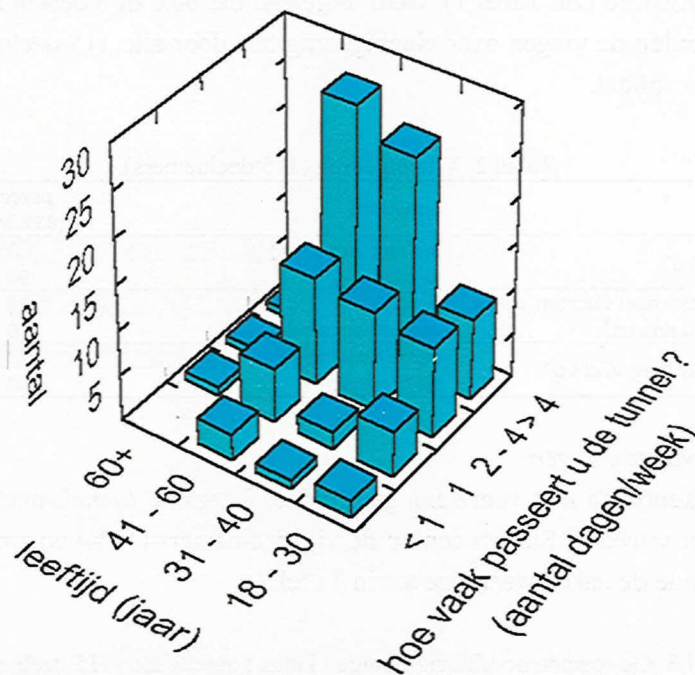


Fig. 2 Deelnemers aan de enquête kort getypeerd.

Eerste gedrag bij brand

De eerste enquêtevraag luidde: *Als u in de tunnel in een file staat en er blijkt een tankauto in brand te staan, wat doet u dan?* De meeste ondervraagden gaven één antwoord; drie personen gaven een tweede antwoord. Tabel 1 geeft een overzicht.

Tabel 1 "Wat zou u doen als u in een tunnel in een file terechtkomt en er staat een tankauto in brand" (115 deelnemers; het 95% betrouwbaarheidsinterval geeft de grenzen aan van het resultaat bij herhaling van de enquête).

actie	percentage (en 95% interval)
proberen te vluchten	81 (77-89)
snel erlangs proberen te gaan	1 (0-4)
in auto blijven / wachten op aanwijzingen / wachten op brandweer	6 (3-11)
proberen te helpen / te blussen	4 (2-4)
alarmnummer bellen	5 (2-9)
kijken wat anderen doen	3 (2-7)

Van de weinigen (vijf) die antwoordden dat ze zouden helpen of blussen, zouden vier eigen apparatuur gebruiken, terwijl één persoon blusmiddelen uit een hulpkast zou gebruiken.

Hoe vluchten

De volgende vragen gingen over het vluchtgedrag. Aan de 19% die de vorige vraag niet met *vluchten* had beantwoord (zie Tabel 1), werd uitgelegd dat ook zij moesten zien weg te komen. Op die manier werden de vragen over vluchtgedrag dus door alle 115 deelnemers beantwoord. Tabel 2 geeft het resultaat.

Tabel 2 Vluchtgedrag (115 deelnemers).

vraag	antwoord	percentage (95% interval)
hoe vlucht u?	per auto (achteruit)	5 (3-11)
	te voet	95 (90-97)
als u te voet moet vluchten, welke kant gaat u dan uit?	terug	100
	vooruit (langs calamiteit)	0
langs welke weg vlucht u?	via de hoofdrijbaan	60 (52-69)
	via nooddeur	40 (32-49)

Bekendheid vluchtvoorzieningen

De vraag over bekendheid met voorzieningen luidde: *Langs de tunnelwand zijn voorzieningen aangebracht. Weet u welke?* Slechts één op de vijf deelnemers (17%) wist niets te noemen. De overige 83% noemde de zaken weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 Genoemde noodvoorzieningen langs tunnelwand (115 deelnemers).

voorziening	aantal keren spontaan genoemd	percentage
nooddeuren	82	71
brandblussers	69	60
telefoons / hulpkasten	57	50
bordjes	6	5
lampen / noodverlichting	3	3
camera's	3	3
afzuiging / ventilatie	2	2
sprinklerinstallatie (<i>onjuist</i>)	2	2
brandmelders	1	1
speakers	1	1
rijbaansignalering	1	1
<i>geen voorziening genoemd</i>	20	17

Vluchtdeuren werden door 71% van de deelnemers spontaan genoemd en door 29% niet, ofwel 33 deelnemers. Van deze 33 zeiden er 18, desgevraagd, dat ze best wisten dat er vluchtdeuren waren. In totaal waren er dus $82+18 = 100$ deelnemers die bekend waren met het bestaan van de

vluchtdeuren. Aan deze deelnemers werd gevraagd of ze wisten aan welke kant de vluchtdeuren zitten. Het resultaat staat in Tabel 4 (het correcte antwoord is *langs de linkerwand*).

Tabel 4 Aan welke kant zitten de vluchtdeuren? (100 deelnemers).

antwoord	percentage	(95% interval)
links <i>(correcte antwoord)</i>	40	(32–50)
rechts	32	(24–42)
aan beide kanten	12	(8–20)
niet bekend	16	(11–24)

De (85) deelnemers die spontaan voorzieningen noemden zoals hulpkasten, brandblussers of telefoons moesten aangeven aan welke kant die voorzieningen waren aangebracht. Het goede antwoord is *aan beide kanten*. Het resultaat staat in Tabel 5.

Tabel 5 Aan welke kant zitten de hulpkasten / telefoons / brandblussers? (85 deelnemers).

antwoord	percentage	(95% interval)
links	18	(13–28)
rechts	48	(40–60)
aan beide kanten <i>(correcte antwoord)</i>	18	(13–28)
niet bekend	15	(10–42)

2.3 Discussie

Automobilisten-weggebruikers blijken goed te weten dat ze bij calamiteiten moeten vluchten (81%). Ze blijken ook te weten dat ze te voet moeten gaan (95%). Ook is de aanwezigheid van vluchtdeuren bekend; 71% wist de vluchtdeuren spontaan te noemen en bij gerichte navraag steeg dat tot 87%.

Het voorziene *gedrag* is slechter dan de kennis doet vermoeden. Hoewel de meesten van de vluchtdeuren weten zou toch slechts 40% via de vluchtdeuren evacueren; de rest (60%) heeft liever de rijbaan. Hoewel dat niet *altijd* verkeerd is (vooral niet vlak bij de in- of uitgang) is het meestal geen goede reactie. Bovendien is bekend dat weggebruikers loopafstanden onderschatten als ze het traject normaliter per auto afleggen waardoor het vluchten via de rijbaan sneller lijkt dan het is.

Verder wist men niet goed langs welke wand er vluchtdeuren zijn. Zeker, 40% gaf het goede antwoord “links” maar dat kan een gok zijn. Gokt men namelijk uit “links”, “rechts” of “aan beide kanten”, dan maakt het goede antwoord al 33% kans; gokt men alleen uit “links” en “rechts”, dan maakt het goede antwoord zelfs 50% kans. Bij een ramp is het dus maar afwachten langs welke wand weggebruikers de vluchtdeuren gaan zoeken. Klemmend wordt dit als rook het zicht beneemt. Het is zaak de vluchtdeuren goed aan te geven!

Dat de tunnel hulpkasten heeft is redelijk bekend, 50 tot 60% noemde spontaan voorzieningen als *brandblussers*, *telefoon* of *hulpkasten*. Ten dele zal dat een gokje zijn waar de vraag wel toe uitnodigt (“*langs de wand zijn noodvoorzieningen aangebracht—weet u welke*”). Dat blijkt ook de slechts 18% die het goede antwoord gaf (“*aan beide kanten*”). Een eerdere proef van TNO liet zien dat de weggebruiker ten onrechte de voorkeur geeft aan de zware rode brandblusser en de in feite veel geschiktere *brandslang* laat hangen (Weitenberg, 2001). Dit probleem is met

nadere informatie en uitleg aan te pakken, bijvoorbeeld een publiekscampagne en ook met een goede vormgevingsergonomie (de “vanzelfsprekende” brandslang).

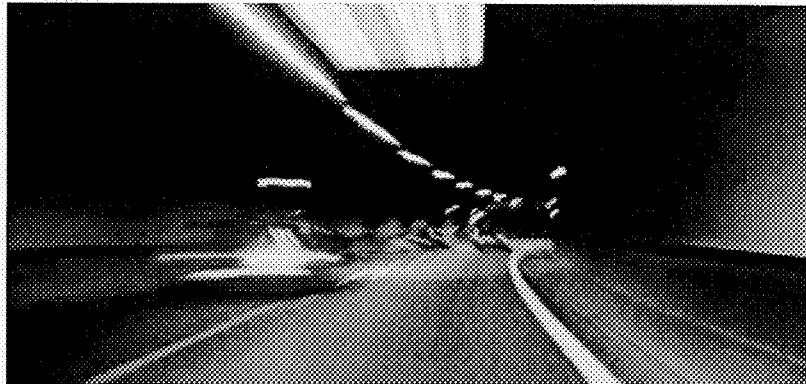


Fig. 3 Het normale perspectief van de tunnelgebruiker (foto van www.tunnelveiligheid.nl).

Merkwaardig van deze eerste studie is dat men beter *weet* dan dat men *doet*. Men weet (ongeveer) van de vluchtdeuren en toch evacueert men over de rijbaan. Zou dat nu werkelijk zo gaan? Is de studie niet een beetje theorie, “*wat zou u doen als...*”. De praktijk, het daadwerkelijk als voetganger in een tunnel staan, is heel anders. Figuur 3 legt iets vast van het perspectief van de tunnelgebruiker-automobilist die met normale snelheid door de tunnel gaat; toch wel heel anders dan het voetgangersperspectief van Figuur 1 of 8. In de nu volgende studies zullen we het gedrag van de tunnelgebruiker als automobilist maar vooral als voetganger zien.

3 GEDRAGSSTUDIES IN DE BENELUXTUNNEL

De nu volgende studies gingen over het gedrag in de praktijk. Automobilisten reden een tunnel in en moesten zich in veiligheid brengen. Hun daadwerkelijke gedrag werd vastgelegd.

Als inleiding op de drie gedragsstudies wordt de tunnel beschreven waar het onderzoek plaatsvond.

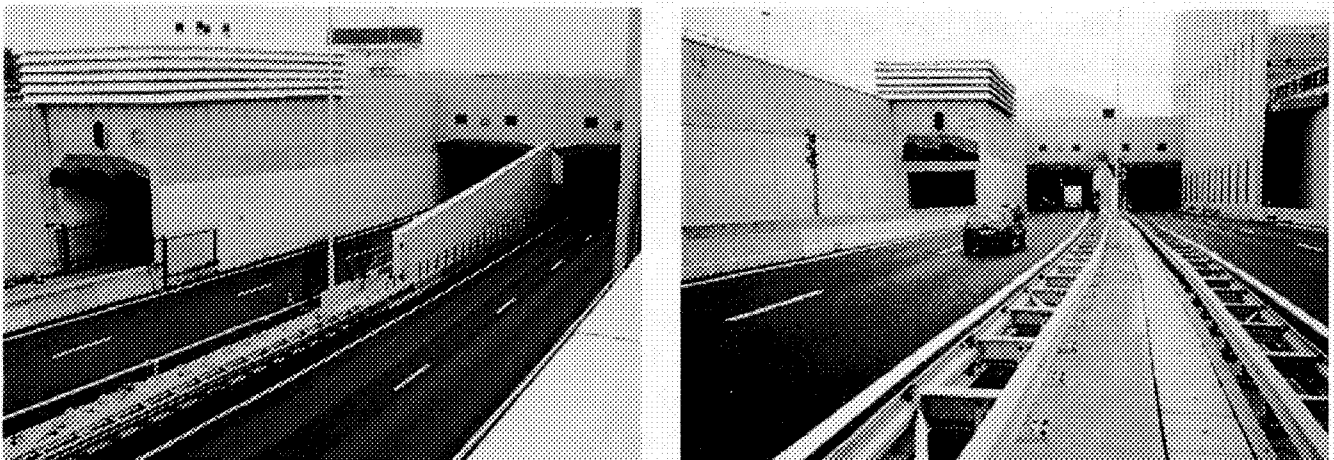


Fig. 4 Van links naar rechts de C-, D- en E-buis van de Beneluxtunnel, gezien vanaf de Zuidoever. (De proeven vonden plaats in de D-buis. Deze figuur sluit aan bij Fig. 6.)

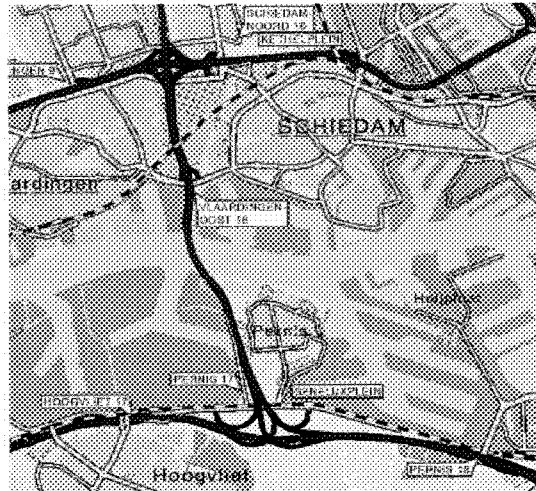


Fig. 5 De tunnel onder de Nieuwe Maas in het rijkswegennet (A15 op de linkeroever, A20 op de rechteroever).

De gedragsstudies werden gedaan in de Beneluxtunnel te Rotterdam. Deze ruim 1 km lange tunnel loopt onder de Nieuwe Maas tussen Schiedam en Vlaardingen aan de Noordzijde en Pernis en Hoogvliet aan de Zuidzijde (zie Figuur 5). Rijdend in Noordelijke richting buigt de tunnel naar rechts met een boog van ongeveer $1\frac{1}{4}$ km.

De tunnel heeft vijf verschillende buizen voor het wegverkeer, aangeduid met de letters A t/m E. Het onderzoek vond plaats in de D-buis. Deze is, evenals de naburige E-buis bijna 10 m breed met twee rijstroken van 3.5 m breed en aan weerszijden een vluchtstrook van 1.5 m.

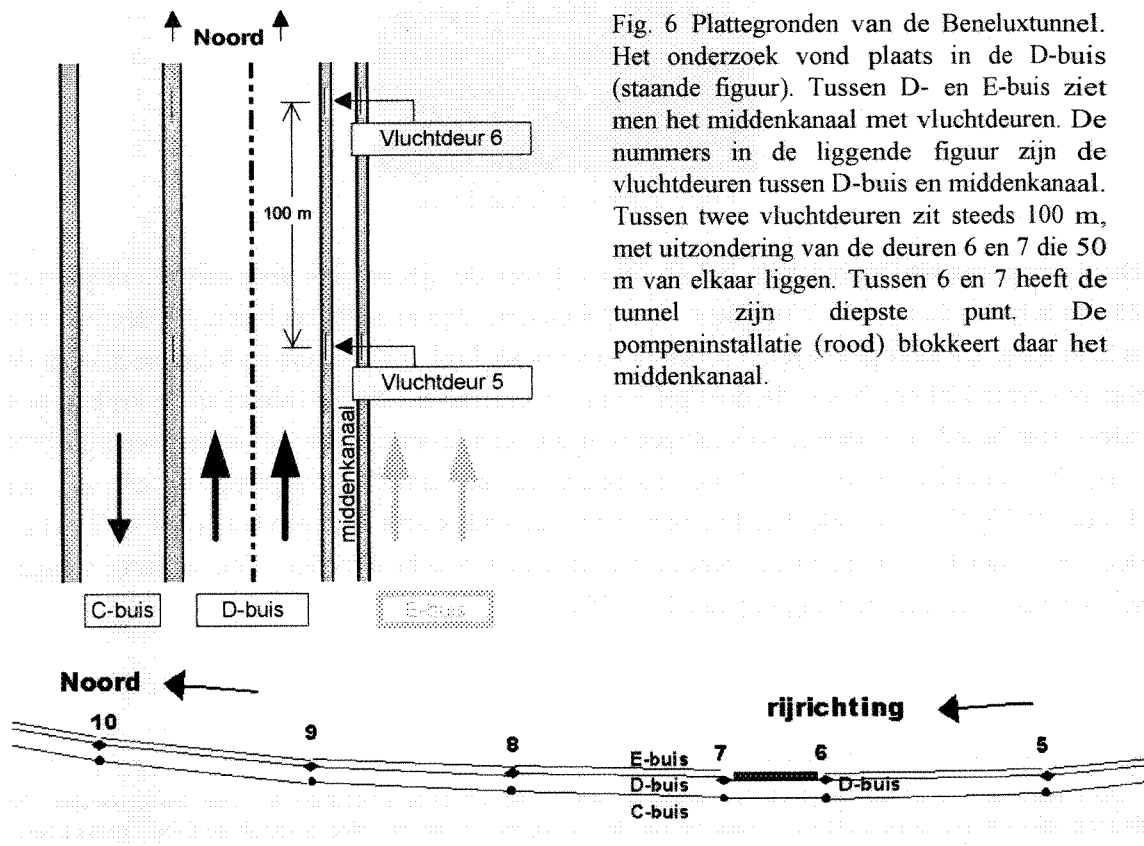


Fig. 6 Plattegronden van de Beneluxtunnel. Het onderzoek vond plaats in de D-buis (staande figuur). Tussen D- en E-buis ziet men het middenkanaal met vluchtdeuren. De nummers in de liggende figuur zijn de vluchtdeuren tussen D-buis en middenkanaal. Tussen twee vluchtdeuren zit steeds 100 m, met uitzondering van de deuren 6 en 7 die 50 m van elkaar liggen. Tussen 6 en 7 heeft de tunnel zijn diepste punt. De pompeninstallatie (rood) blokkeert daar het middenkanaal.

De D-buis heeft vluchtdeuren langs de rechterwand². Deze zelfsluitende schuifdeuren³ geven toegang tot het middenkanaal, een 1.35 m brede vluchtgang tussen D- en E-buis (zie Fig. 6). De foto van Figuur 20 geeft een indruk van het middenkanaal. De deuren zijn vanaf de Zuidzijde, dat is in de rijrichting, 1 t/m 12 genummerd, en zitten op onderlinge afstand van 100 m. Midden in de tunnel is de afstand tussen deur 6 en 7 slechts 50 m. De tunnel is hier op zijn diepst, 25 m onder NAP, en een pompinstallatie blokkeert het middenkanaal. Wie bij deur 6 instapt, kan alleen in Zuidelijke richting de tunnel verlaten (tegen de rijrichting in: deur 5, 4, 3, 2, 1); wie bij deur 7 instapt, kan alleen in Noordelijke richting de tunnel verlaten (met de rijrichting mee: deur 8, 9, 10, 11, 12). De deuren 1 t/m 6 schuiven in Noordelijke richting open; de deuren 7 t/m 12 in Zuidelijke richting. In het middenkanaal geven verlichte vluchtbordjes de looprichting aan. De bordjes zijn schuin tegenover de deur aangebracht (in Fig. 8 is het bordje door de open deur goed te zien.) Direct tegenover de deur zit een spiegelbeelddeur voor evacuatie van de E-buis. Kort voor aanvang van de huidige studie was midden op de E-deur een A4'tje aangebracht met de tekst GEVAAR !!!, VERBODEN TOEGANG, BUIS IN GEBRUIK (letterhoogte 17 mm). Ook waren de deuren naar de E-buis vergrendeld.

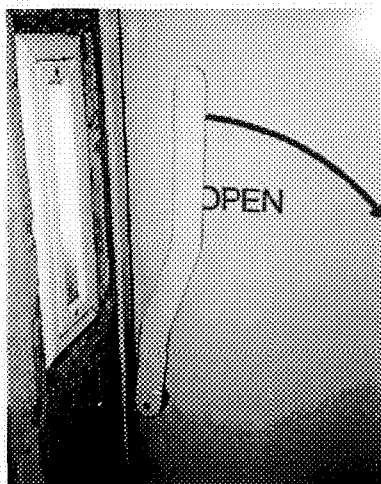


Fig. 7 Kruk van de vluchtdeur.

De drempel van de vluchtdeuren ligt 40–50 cm boven de rijbaan. Een trede met een diepte van 25 cm helpt bij de opstap. Vluchtdeur, drempel en trede zijn alle 108 cm breed. De deuropening is 2 m hoog. De deur gaat open met een bijna verticale kruk (64 cm lang en 4 cm breed) met de top ongeveer 120 cm boven de drempel en op 18 cm van het kozijn. Men kan de kruk in een boog naar beneden draaien, zoals aangegeven met een kromme rode pijl en het woord OPEN (Fig. 7). Normaal zal men de kruk iets onder de top aanvatten, ongeveer 40 cm van het draaipunt. Vijftien cm onder het draaipunt oefent de kruk kracht uit tegen het kozijn en duwt de deur weg van het kozijn in de richting waarlin men kracht uitoefent. Een volledig weggeschoven deur liet een opening vrij van 2×0.95 m.

² De meeste tunnels hebben de vluchtdeuren aan de linkerwand. De D-buis heeft deuren langs beide wanden. De deuren links zijn echter bedoeld voor evacuatie van de C-buis, en zijn dan ook slechts vanuit de C-buis gemarkeerd. Tijdens de proeven waren ze afgedekt.

³ Type vluchtdeur BSD/4K/705.

Op ruim 4 m hoogte is, boven de deur, een dubbel vluchtbordje aangebracht met, van links naar rechts, een rechthoekje (=deur), een pijl en een rennend mannetje (naar links wijzend bord) en een rennend mannetje, een pijl en een rechthoekje (naar rechts wijzend bord). De symbolen zijn vet uitgevoerd en onregelmatig verlicht (hoeveelheid afstralend licht 200 cd/m^2 bij de schouder van het mannetje aflopend naar 50 cd/m^2 bij het rechthoekje). De deur zelf is gemarkeerd met het nummer van de deur en de van de buis (bijv. **2E** of **7D**). Er is geen vluchtwegaanduiding op de deur. Figuur 8 geeft een indruk van de situatie.



Fig. 8 Een vluchtdeur.

Voor het onderzoek was de D-buis gereserveerd en, voor terugrijden, de naastliggende C-buis. De E-buis was beschikbaar voor het normale wegverkeer, vandaar de vergrendeling van de vluchtdeuren van E-buis naar middenkanaal en de verbodsbordjes.

De onderzoekslocatie lag tussen de deuren 5 t/m 10. Om de onderzoekslocatie te bereiken passeerden de deelnemers dus eerst de deuren 1 t/m 4. Het onderzoek werd in januari 2002 bij nachtelijk duister uitgevoerd bij temperaturen tussen de 2 en 7°C en een geringe Noordenwind⁴. De tunnelverlichting stond op de nachtstand. Het op de rijbaan vallend licht was 90–110 lux gemeten direct onder de lampen afnemend naar ongeveer 20 lux tussen twee lampen in, gemeten aan de wand. De wanden waren bijna drie maal lichter getint dan de rijbaan; de verhouding tussen de luminanties rijbaan en wand was $= 1 : 2.8$. De vluchtdeuren waren weer donkerder dan de wanden, de luminantieverhouding t.o.v. de wanden was $1 : 0.69$. Vanaf deur 8 was de normale verlichting verwijderd in verband met de eerdere brandproeven. Deze brandproeven hadden bovendien dit deel van de tunnel zwart geblakerd. Ondanks enkele bouwlampen langs

⁴ De wind in de tunnel ("natuurlijke ventilatie") werd zonodig afgeremd door een ventilator ter hoogte van deur 2.

de linkerwand werd toch de indruk gewekt dat de tunnel kort na deur 8 buiten in de nachtlucht eindigde.

4 STUDIE 2: WEGGEBRUIKERS INDIVIDUEEL

Doel van de studie was het gedrag vast te leggen van weggebruikers die alleen in de tunnel waren. Op de stoplocatie stond, zogenaamd, een tankauto in brand, en terugrijden was onmogelijk vanwege de file. De deelnemers moesten zich in veiligheid brengen. Ze waren alleen en kregen geen voorbeeld van anderen. Ze moesten het volledig hebben van wat de tunnel bood en van wat zij wisten of meenden te weten.

De ergonomie van de tunnel wordt met deze methode op zware proef gesteld. Is de ergonomie goed dan zal de vluchtweg meteen duidelijk zijn en zal de deelnemer zich zonder tijdverlies in veiligheid brengen. Vertoont de ergonomie gebreken, dan zal de deelnemer aarzelen of een verkeerde weg inslaan.

Deze aanpak was succesvol in het Europese project MEPdesign, evacuatie van schepen. In groepen maakten deelnemers veel minder fouten dan individueel omdat ze elkaar corrigeerden. Een groep overwon zijn "deurvrees" sneller een individuele deelnemer (Boer & Vredevelt, 1999a,b). De conclusie is dat de beste test op ergonomie van bijvoorbeeld een deur, een test is met individuen.

De vraag in hoeverre kennis over de aanwezigheid van vluchtdeuren de evacuatie versnelt werd beantwoord door een bepaald deel van de deelnemers direct voor de proef de extra informatie te geven "u moet uzelf in veiligheid brengen *via de vluchtdeuren*". De andere deelnemers kregen de kortere opdracht: "breng uzelf in veiligheid".

4.1 Methode

Deelnemers

69 Deelnemers werden geworven via een extern bureau met de tekst "Veiligheid Autotunnels":

Er komen steeds meer tunnels. Hoe veilig die zijn, hangt o.a. af van hoe de automobilist zich gedraagt, bijv. te snel rijden om gauw de tunnel uit te zijn, of te snel helling af (tunnel in) of te langzaam als je omhoog gaat (tunnel uit), of te veel naar het midden om afstand te houden van de muren. In opdracht van Rijkswaterstaat doet TNO in januari proeven in de Beneluxtunnel. TNO zoekt automobilisten (lichamelijk goed gezond) om tegen vergoeding ongeveer 3 kwartier mee te doen. De proeven zijn in de avonduren.

De meesten, 70%, waren mannen. De leeftijd van de deelnemers lag tussen 20 en 70 jaar met een gemiddelde van 42 jaar en een standaarddeviatie van 14.

Aangekomen op de testlocatie werd schriftelijk nadere informatie verstrekt:

Instructie "Veiligheid Autotunnels"

Europa krijgt steeds meer tunnels. De veiligheid van die tunnels is de laatste tijd nogal negatief in het nieuws geweest, denk bijvoorbeeld aan de St.Gotthardtunnel in Zwitserland.

In opdracht van Rijkswaterstaat onderzoekt TNO hoe snel autotunnels geëvacueerd kunnen worden.

Zometeen rijdt u de tunnel in; de proefleider van TNO zit bij u in de auto. In de tunnel moet u stoppen bij het hekje. Het spel is dat daar een tankauto in brand staat, en dat u in de file zit, u kunt geen kant uit. Er komt giftige rook vrij en er is explosiegevaar. U moet uw auto uit en uzelf in veiligheid brengen [...]!

De proefleider geeft geen aanwijzingen. U moet doen wat u het beste lijkt. De proefleider blijft in de auto. U krijgt een signaal wanneer de proef afgelopen is. De proefleider komt u dan ophalen.

Een variant op deze instructie was "u moet uzelf in veiligheid brengen via de vluchtdeuren". Behalve de instructie werd ook een deelnemersverklaring doorgelezen. Deze bevatte een vraag over hoe vaak men de (andere buizen van de) Beneluxtunnel gebruikte.

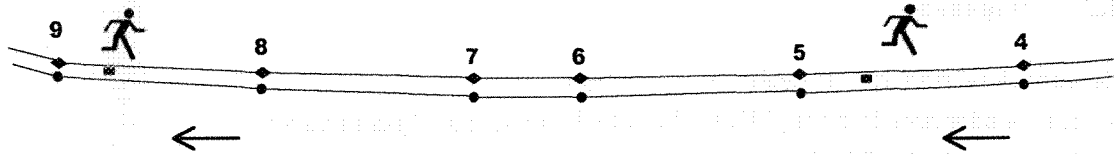


Fig. 9 Deelnemers komen aanrijden volgens de pijl, stoppen op aanwijzing van TNO tussen deur 8 en 9 (links) of tussen deur 4 en 5 (rechts) en moeten zich te voet in veiligheid brengen. Het beste is teruglopen naar een vluchtdeur (8 of 4). Doorlopen naar de dichtstbijzijnde vluchtdeur (9 of 5) is niet goed omdat de deelnemer dan langs de "ramp" moet.

Testlocaties

De deelnemers kwamen vanaf het Zuiden aanrijden, rechts in Figuur 9. Er waren twee testlocaties: één 21 m voor deur 5 en een andere 350 m verderop, 22 m voor deur 9. Ze werden simultaan gebruikt maar deelnemers zagen elkaar niet vanwege de horizontale kromming van de tunnel. De kenmerken van de locaties waren:

- Minder licht bij deur 9. Even na deur 8 was de normale verlichting buiten bedrijf als gevolg van de brandproeven. Het was daardoor donker ondanks een aantal bouwlampen die de linkerwand van de tunnel verlichtte waardoor het leek of de tunnel ophield.
- Geen vluchtbordjes boven deur 9 (wel boven deur 8). Wel vluchtbordjes boven deur 4 en 5.
- Bij deur 5 loopt de tunnel naar beneden; bij deur 9 weer naar boven; het diepste punt van de tunnel ligt immers tussen deur 6 en 7.

Registratie

De proefleiders hadden een palmtop computer om het gedrag van de deelnemer vast te leggen. Bij de eerste toetsaanslag werd de tijd automatisch genoteerd tot op de seconde; een RETURN beëindigde de notitie. De proefleider legde in elk geval vast (a) het moment dat de auto stilstond, (b) het moment dat de deelnemer de auto verliet, (c) het moment dat de deelnemer door een vluchtdeur ging. Daarnaast waren in het middenkanaal sensoren aangebracht: voor en achter de deuren was op ongeveer 2 m afstand van het kozijn een dunne draad gespannen op 70 cm hoogte. Bij het langslopen werd die verbroken. Achteraf was te constateren of de deelnemer zowel naar links als naar rechts gelopen was. Langs de wand in het middenkanaal waren met

potlood onopvallend afstands aanduidingen aangebracht (op kniehoogte, klein, weinig contrast) beginnend bij de deur en in de rijrichting oplopend.

Procedure

Bij aankomst nam de deelnemer één van de schriftelijke instructies door. Een proefleider van TNO nam de procedure nog eens kort door en beantwoordde eventuele vragen. Met de proefleider op de achterbank reed de deelnemer de tunnel in tot aan het hekje⁵.

De deelnemer stopte en stapte uit. De proefleider beëindigde de proef als de deelnemer langs de vluchtdeur liep en zijn weg vervolgde ruim 20m na de deur. De proefleider beëindigde de proef van deelnemers die door een vluchtdeur verdwenen als volgt. Ongeveer 30 s na hun verdwijnen ging de proefleider hen achterna het middenkanaal in, riep de deelnemer aan "stop, blijft u wachten", liep naar de deelnemer toe en noteerde de afgelegde afstand in het middenkanaal. Na beëindiging van de proef gingen beiden terug naar de auto. Op de parkeerplaats volgde een exit-interview van 10 minuten waarbij de deelnemer naar gedachten en motivaties werd gevraagd.

4.2 Resultaten

De tunnelervaring van de deelnemers was als volgt:

- Iets minder dan de helft (43%) gebruikte de tunnel dagelijks of vaker
- Bijna een derde (29%) gebruikte de tunnel 2-4 keren per week
- 6% gebruikte de tunnel ongeveer eens per week
- Bijna een kwart (22%) gebruikte de tunnel nog minder vaak.

Bij de enquête Noordtunnel waren die cijfers resp. 53%, 30%, 12% en 5%. Vooral de categorie "minder dan eens per week" was groot ten opzichte van de enquête, maar ook in de andere categorieën waren verschillen. Kortom, de huidige deelnemers hadden minder tunnelervaring dan de deelnemers aan de enquête⁶.

De objectieve registraties gaven het volgende beeld. De uitstaptijd, vastgelegd voor 49 deelnemers⁷, was gemiddeld 6½ s. De instructie "via de vluchtdeur" had daar geen effect op⁸. Wel stapten deelnemers op de testlocatie dichtbij (deur 5) sneller uit dan deelnemers op de testlocatie verderop (deur 9): 4½ s tegenover 9 s⁹.

Van de 69 deelnemers gingen 27 uit de auto het hekje voorbij; de rest liep weg van het hekje naar achteren. De instructie "via de vluchtdeur" had daar geen effect op. Voor de twee testlocaties was er evenmin verschil¹⁰.

⁵ Deelnemers bestemd voor deur 9 reden eerst op aanwijzing van de proefleider op de linkerrijstrook langs deur 5 en daarna rechts tot het hekje voor deur 9.

⁶ Statistische test: Pearson $\chi^2(3)=11.78$; $p<0.01$.

⁷ Door technische problemen, slordigheden of misverstanden waren geen uitstaptijden beschikbaar voor de overige 20.

⁸ Statistische test: $t(47)=1.42$; $p>0.15$.

⁹ Statistische test: $t(47)=1.79$; $p<0.08$.

¹⁰ resp. $t(67)=1.07$; $p>0.25$; $t(67)<1$.

Of de deelnemers de rijbaan bleven volgen dan wel de vluchtdoer kozen staat in Tabel 6. Zonder instructie over de vluchtdoeren koos een kwart de rijbaan om zich in veiligheid te brengen. De rest zocht een vluchtdoer op. Met instructie over de vluchtdoeren kozen slechts twee deelnemers de rijbaan—de grote meerderheid zocht een vluchtdoer op. Het resultaat was ongeveer gelijk voor de twee testlocaties.

Tabel 6 Evacuatie: over de rijbaan of door de vluchtdoer (aantallen en percentages, n=69).

instructie:	testlocatie bij deur 9		testlocatie bij deur 5		samen	
	rijbaan	deur	rijbaan	deur	rijbaan	deur
evacuëren	3 (24%)	10 (77%)	4 (25%)	12 (75%)	7 (24%)	22 (76%)
"evac. via vluchtdoer"	1 (4%)	25 (96%)	1 (8%)	11 (92%)	2 (5%)	36 (95%)

De nu volgende resultaten over deuren en middenkanaal slaan op de 60 deelnemers die door een vluchtdoer gingen—niet meer op de volledige groep van 69 deelnemers. Van auto naar vluchtdoer lag hun gemiddelde snelheid op 2.2 m/s, bijna 8 km/h, flink doorlopen of rennen. De hoogste snelheid werd genoteerd bij teruglopen naar deur 8: 3.1 m/s; de laagste snelheid bij verder lopen naar deur 9: 1.1 m/s. Gemiddelde snelheden werden genoteerd bij deur 4 en 5 (2.3 en 2.3 m/s)¹¹.

Zeven deelnemers die door een vluchtdoer gingen bleven achter de deur wachten. De rest ging verder in het middenkanaal, gemiddeld bijna 60 m ver. Aarzeling welke kant men uit moest was er niet; nooit werden beide draadsensoren verbroken. De meesten van de 53 lopers volgden de pijl van het vluchtbordje, maar een minderheid (11 van de 53) ging tegen de pijl in. In Tabel 7 is te zien dat dit vooral gebeurde bij de testlocatie bij deur 9. Bij de andere testlocatie, deur 5, gebeurde dat maar 1 keer¹². Snelheid werd voor slechts 7 deelnemers vastgelegd en varieerde van slakkengang (0.4 m/s) tot rennen (2.8 m/s).

Tabel 7 Looprichting in middenkanaal.

looprichting	testlocatie bij deur 9	testlocatie bij deur 5	samen
volgens de pijl	25 (65%)	17 (74%)	42 (70%)
stilstand	2 (5%)	5 (2%)	7 (12%)
tegen de pijl in	10 (27%)	1 (4%)	11 (18%)
	37 (100%)	23 (100%)	60 (100%)

De subjectieve registraties (interviews) gaven het volgende beeld. Enige gedragsmotivatie werd door zo'n 70% van de deelnemers genoemd. De motivatie was bij 27 deelnemers "weg van het gevaar" (39%); van 18 anderen "naar buiten" (26%; 9 deelnemers per testlocatie). Daarnaast werden de motivaties "autoriteiten alarmeren" en "anderen helpen" enkele keren genoemd.

24 Deelnemers gaven aan dat ze de hulppost en/of telefoon hadden gezien (35%); 12 deelnemers gaven desgevraagd aan dat ze die niet gezien hadden (17%). Van degenen die de hulppost gezien hadden, hadden er 15 ook daadwerkelijk de telefoon gebruikt (22% van het totaal aantal deelnemers).

¹¹ Een variantieanalyse op de snelheden met als factoren deur en instructie gaf alleen voor deur een significant effect ($F(3,52)=3.84; p<0.01$).

¹² Een test voor vergelijking van proporties onthulde een significant verschil tussen de locaties: $t(51)=1.96; p<0.03$.

Over zichtbaarheid van het bordje boven de vluchtdeuren maakten 23 van de 69 deelnemers een opmerking. Tien deelnemers gaven aan dat ze geholpen werden door het bordje. (Zonder de deelnemers die deur 9 kozen—die geen bordje had—was dat 18%.) Eén deelnemer vond dat het bordje groter moest. Een ander had “NOODUITGANG” verwacht en opvallende kleuren. Zeven deelnemers vonden dat er eens bordjes geplaatst moesten worden; blijkbaar hadden zij ze niet gezien. Weer een andere deelnemer bleef voor de deur wachten, in het onzekere of het wel de bedoeling was die deur te openen. Drie deelnemers vonden de bordjes te hoog hangen.

Samenvattend gaven 15 deelnemers aan (22%) dat ze iets aan de bordjes boven de vluchtdeuren hadden gehad.

Meer dan de helft van degenen die de vluchtdeur openden (35 van de 60) was positief over de bediening. Een deelnemer had een scharnierdeur verwacht. Negatieve opmerkingen werden niet gemaakt.

De bewegwijzering in het middenkanaal werd 17 keer genoemd (28%). Een van deze deelnemers vond dat het lang duurde voor er weer een bordje kwam. Tien andere deelnemers gaven aan dat ze de bordjes in het middenkanaal totaal niet gezien hadden, 17%. De verbodsbordjes op de deuren naar de E-buis werden 8 keer genoemd (13%). Twee van deze deelnemers gaven aan dat ze voorkeur voor de E-buis hadden.

4.3 Discussie

De resultaten worden besproken in volgorde van evacuatie, te beginnen met uitstappen, richting kiezen, over de rijbaan of naar een vluchtdeur, enz.

Uitstappen was snel gebeurd. Binnen gemiddeld $6\frac{1}{2}$ s had men de auto verlaten. Oorzaak van het wat sneller uitstappen op de eerste locatie (deur 5) was waarschijnlijk de nabijheid van de ingang; teruggaan naar de ingang lag voor de hand en dat kwam overeen met “weg van het gevaar”. Bij de locatie verderop (deur 9) leek het einde van de tunnel in zicht en lag doorgaan naar het einde voor de hand. Men moest dan wel langs het gevaar heen. Hoewel “weg van het gevaar” een gedragsbepalende motivatie was, evacueerde toch nog 40% van de deelnemers langs het gevaar, ongeacht de locatie, een gedrag dat bij een echte ramp niet zonder risico is.

Zonder instructie over de vluchtdeuren evacueerde een kwart van de deelnemers over de rijbaan. Dat is duidelijk minder dan de minstens 60% die we verwachtten op grond van de enquête. Het daadwerkelijk als voetganger in de tunnel lopen gaf dus een ander perspectief en een ander gedrag dan het perspectief van de passerende automobilist. Instructie over de aanwezigheid van vluchtdeuren was effectief. Met deze instructie evacueerde slechts een enkeling via de rijbaan.

Eén op de vijf deelnemers gebruikte de telefoons in de tunnel of in het middenkanaal. Bij massale evacuatie kan dat een probleem worden. Het telefoneren neemt tijd en vertraagt de evacuatie. Bovendien raakt een communicatiekanaal tussen weggebruiker en tunneloperator verstopt. De operator zou daarom kunnen omroepen “*er is alarm geslagen, wilt u niet meer bellen*”.



Fig. 10 Het bordje is klein, staat hoog, en is dubbel uitgevoerd.

De markering van de vluchtdeuren was onvoldoende. De bordjes boven de deuren vielen slechts een vijfde van de deelnemers op. De kritiek op de bordjes was: “te hoog”, 3× genoemd. Inderdaad kunnen de bordjes direct boven het kozijn geplaatst worden, zeker 1½ m lager dan nu. Verder is het bordje klein (1× genoemd), in zijn dubbele uitvoering ambigu (namelijk wijzend naar links en rechts tegelijk) en bovendien inhoudelijk zwak (mannelijk is een “klont”, de pijl is matig, het rechthoekje overbodig), zie Figuur 10. Op de deur zelf staan, zeer dominant, technische aanduidingen zoals **7D** of **2E** (Fig. 8). Illustratief is de deelnemer die voor de deur bleef staan wachten, in het onzekere of de deur wel open mocht, een duidelijk staaltje van deurvrees. Een groot vluchtbord op de deur wordt aanbevolen, evenals een dwarse pijl op de grond voor de deur (MEPdesign).

De huidige schuifdeur ging probleemloos open. Ook de kracht om de deur te openen was moeiteloos op te brengen. Meer dan de helft van de deelnemers was er uitgesproken positief over. Een ergonomisch goed ontwerp!

In het middenkanaal is de bewegwijzering onduidelijk. Standaardbordjes om de 100 m (!) wijzen de weg naar buiten. Dat is onvoldoende; lang niet iedereen zag die bordjes en een kwart van de mensen die het bordje wel zagen liep toch liever van het gevaar weg ook al was dat tegen de pijl in. Daarnaast zijn de bordjes inhoudelijk zwak. Ze zijn te vet uitgevoerd en wijzen naar een deur terwijl men zojuist door de deur is binnengekomen. Duidelijker bewegwijzering wordt aanbevolen.

De neiging de deur aan de overzijde open te trekken (hier: naar de naburige verkeersbuis) was duidelijk aanwezig. Een waarschuwing lijkt dus op zijn plaats. Daarbij moet rekening gehouden worden dat het middenkanaal een dubbele vluchtweg is; niet alleen voor de huidige verkeersbuis maar ook voor de naburige. De waarschuwing moet dus zowel op de tegenoverliggende als

op de “eigen” deur staan. Bijvoorbeeld een waarschuwing “let op: verkeer!”. Een alternatief is vluchtdeuren die alleen vanuit de rijbaanzijde geopend kunnen worden.

De huidige studie met individuen was een stuk reëler dan de enquête omdat men daar niet als voetganger in de tunnel was. De interpretatie is dat dat ook de reden is voor andere uitkomsten qua evacuatiegedrag. In de huidige studie namen veel meer deelnemers de vluchtdeuren dan aangegeven bij de enquête, en dat terwijl de huidige deelnemers minder tunnelervaring hadden dan de enquêtedeelneemers, en dus minder op de hoogte waren met de vluchtvoorzieningen. De conclusie is dat de vluchtvoorzieningen in de tunnel goed te zien zijn en de deelnemers stimuleren tot daadwerkelijk vluchten.

In de huidige studie ontbrak de reactietijd. Immers, nog voordat de deelnemers de tunnel ingingen wisten ze dat ze bij de “ramplocatie” de auto moesten verlaten. In de volgende studie, weggebruikers in een file, zat de reactietijd er wél bij. Deelnemers moesten er zelf achter komen of evacuatie nodig was. Uit echte rampen blijkt dat de reactietijd van “naïeve” weggebruikers aanzienlijk kan zijn. In de volgende studie speelt bovendien groepsgedrag een rol. Deelnemers zijn niet meer alleen, en kunnen het voorbeeld van anderen volgen.

5 STUDIE 3: WEGGEBRUIKERS IN DE FILE

Het doel van de in totaal 9 file-proeven was zicht te krijgen op het gedrag van weggebruikers die onvoorbereid tot stilstand komen tegen een “brandende” vrachtauto. De vragen zijn of men bereid is de auto te verlaten en zo ja, of men daarna door de vluchtdeuren gaat. Dat hangt af van, onder andere, wat de weggebruiker waarneemt van de ramp en welke kennis hij of zij heeft van rampontwikkeling, van tunnels en noodvoorzieningen in tunnels. Figuur 11 geeft dit in een model weer; de weggebruiker is hier afgebeeld in vier “bollen”, als waarnemer (bol linksonder), verwerker van informatie (bol linksboven), als beslisser (bol rechtsboven) en “acteur” (bol rechtsonder). De figuur laat zien hoe waarneming van de ramp tot gedrag kan leiden en hoe kennis invloed kan uitoefenen (stippellijnen bovenin). Het scenario van de fileproeven wordt besproken aan de hand van deze figuur.

De figuur begint, linksonder, met waarneming van de buitenwereld, hier waarneming van het incident. Wordt de situatie als zeer acuut waargenomen, dan kan de weggebruiker op impuls direct tot gedrag komen. Meestal wordt eerst een *threat assessment* (dreigingsschatting) gemaakt daarna volgt *decision making* (plannen maken) en tenslotte via *direction & control* het daadwerkelijk gedrag.

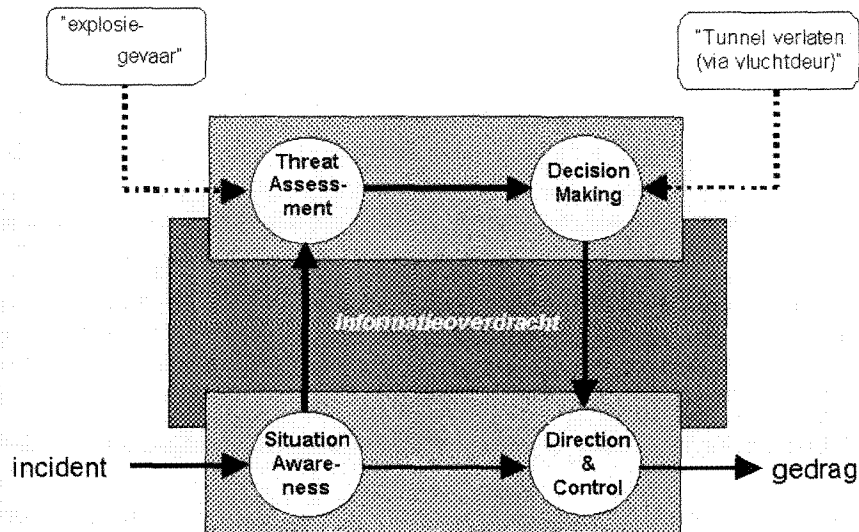


Fig. 11 De weggebruiker als verwerker van informatie. Waarneming van de incident roept een bepaald situatiebesef alsmede een dreigingsschatting op; daarna wordt een plan gemaakt en uitgevoerd (bron: Van Delft & Schuffel, 1995).

In de eerste zeven fileproeven begon het scenario steeds met het incident van een brandende vrachtauto; een input op *situation awareness*. Rookontwikkeling, gaslucht en het gedrag van andere deelnemers gaven verdere input. Dat alles werd verwerkt tot een *threat assessment*. *Situation awareness* en *threat assessment* konden onjuist zijn: de deelnemers konden bijv. denken aan een kokende motor. Vijf minuten na het begin van het incident werd, kunstmatig, extra informatie verstrekt over de dreiging: de toespreekinstallatie wees op explosiegevaar. Dat is directe input op *threat assessment*; de weggebruikers waren nu op de hoogte van de ernst van de situatie. Ongeacht of ze gingen evacueren volgde 2 minuten later de opdracht: "wilt u de tunnel verlaten", een directe input op *decision making*.

De vraag of specifieke kennis over de aanwezigheid van vluchtdeuren de evacuatie versnelt werd beantwoord door bij sommige van de eerste zeven fileproeven de deelnemers extra informatie te geven. In plaats van "wilt u de tunnel verlaten" kregen ze te horen "wilt u de tunnel verlaten *via de vluchtdeuren*". De kortere opdracht "tunnel verlaten *via de vluchtdeuren*" werd bij de overige van de eerste zeven fileproeven gegeven.

Tenslotte werden de proeven 8 en 9 gehouden waar deelnemers van tevoren wisten dat ze de tunnel moesten verlaten als ze achter de "brandende" vrachtauto stonden. Door deze meer volledige informatie ontstond een *best case* van tunnelevacuatie; sneller is niet mogelijk. Bij de proeven 1 t/m 7 wisten de deelnemers alleen "dat er wat kon gebeuren". Hier, bij proef 8, was de instructie "u moet straks uw auto uit en (te voet) zich in veiligheid brengen". Bij proef 9 werd zelfs nog toegevoegd "... zich in veiligheid brengen *via de vluchtdeuren*".

5.1 Methode

Deelnemers

Negen groepen van 40–50 deelnemers werden geworven via verenigingen (zoals zangkoren) met een tekst “Veiligheid Autotunnels” (die verheimelijkt dat het om evacuatie ging):

Er komen steeds meer tunnels. Hoe veilig die zijn, hangt o.a. af van hoe de automobilist zich gedraagt, bijv. te snel rijden om gauw de tunnel uit te zijn, of te snel helling af (tunnel in) of te langzaam als je omhoog gaat (tunnel uit), of te veel naar het midden om afstand te houden van de muren. In opdracht van Rijkswaterstaat doet TNO in januari proeven in de Beneluxtunnel. TNO zoekt automobilisten (lichamelijk goed gezond) om tegen vergoeding ongeveer 3 kwartier mee te doen. De proeven zijn in de avonden.

In totaal deden 422 personen mee, meest mannen (72%). De leeftijd lag tussen 18 en 80 jaar met een gemiddelde van 46 en een standaarddeviatie van 14.

Aangekomen op de testlocatie werd schriftelijk nadere informatie verstrekt:

Instructie “Veiligheid Autotunnels”

Europa krijgt steeds meer tunnels. Hoe veilig die tunnels zijn hangt o.a. af van de automobilisten en hun gedrag. Voorbeelden zijn te snel rijden om snel de tunnel uit te zijn, of juist te voorzichtig rijden, of te veel naar de middenstreep gaan om ver van de wanden te blijven (risico van botsing neemt toe).

In opdracht van Rijkswaterstaat onderzoekt TNO het (rij)gedrag van mensen in autotunnels.

U gaat een paar keer door de tunnel rijden en over een “gewoon” stuk weg. In beide gevallen moet u rijden zoals u dat gewend bent. Er is geen “goede” of “foute” rijstijl—u rijdt zoals u dat altijd doet. Tijdens het rijden kunnen er dingen “gebeuren”. Dat is altijd namaak! Er is geen echt gevaar, geen reden om 112 te bellen. Voor de rest is het verzoek het spel mee te spelen; s.v.p. reageren alsof het echt is.

De eerste rit is om het parcours te leren kennen (de tunnel en de route daarna). Bij deze eerste rit niet inhalen en rustig rijden. De weg is in principe vrij op bouwverkeer na.

Dus:

- Rijd zoals u gewend bent.
- Wat er “gebeurt” is namaak, maar u speelt het spel mee.
- De eerste rit rustig rijden, niet inhalen.

Deze instructie wekte de indruk dat de eerste rit vrij zou zijn van bijzondere gebeurtenissen; ook lag het accent op rij- en niet op evacuatiegedrag. Behalve de instructie werd ook een deelnemersverklaring doorgelezen. Deze bevatte een vraag over hoe vaak men de (andere buizen van de) Beneluxtunnel gebruikte.

De twee laatste groepen kregen het volledige verhaal te horen van een “brandende” vrachtauto en dat ze dan te voet moesten evacueren. Een compleet overzicht van de negen proeven staat in Tabel 9.

Bewaking

Midden boven de weg opgehangen videocamera's bestreken het gebied van 250 m waar de files, naar verwachting, zouden stoppen¹³. Dat was een gebied vanaf iets voor deur 6 t/m ruim na deur 8—zie Figuur 12. De beelden werden op video opgenomen. Bij deur 4 en deur 10 stonden

¹³ Bij de meeste proeven was de file langer dan verwacht. De extremen: bij proef 4 hielden de deelnemers grote tussenafstanden en eindigde de file bij deur 3; bij proef 9 was de file heel compact en eindigde tussen deuren 6 en 7.

proefleiders om de deelnemers op te vangen. Deze deuren stonden wijd open; de andere vluchtdeuren waren normaal gesloten maar wel ontgrendeld. De proefleiders legden de aankomsttijden van de deelnemers en eventuele bijzonderheden op palmtopcomputers vast.

Toespreekinstallatie

Als gevolg van eerdere brandproeven was de normale toespreekinstallatie buiten bedrijf. Toespreken van het middengedeelte van de D-buis was mogelijk met twee 250 W zuilluidsprekers opgesteld op een 1.7 m hoog statief langs de linkerwand 25 m voor deur 7. Deze installatie had minder kwaliteit dan de normale toespreekinstallatie; de omroepberichten waren vooraan in de file nog wel redelijk te horen maar waren achteraan, afhankelijk van de lengte van de file, moeilijk tot helemaal niet te horen.

Auto's voor enscenering

Een vrachtauto met chauffeur en rookapparaat in de laadruimte (plus bedienaar) was beschikbaar. Figuur 12 laat de vrachtauto zien. Er waren ook 3 personenauto's met chauffeur beschikbaar, alledrie stromannen (zie Fig. 13).



Fig. 12 Een brandende vrachtauto. (Rookgeneratoren staan hier op de rijbaan achter de vrachtauto; niet, zoals bij de echte proeven, in de vrachtwagen zelf.)

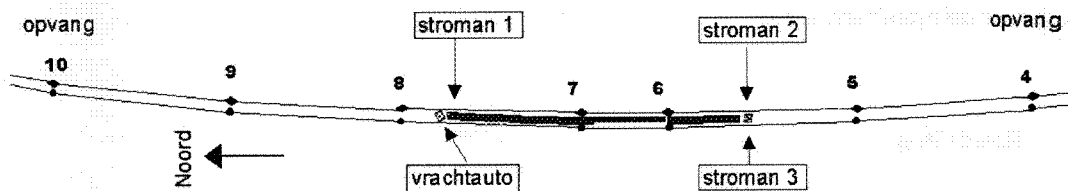


Fig. 13 Een fileproef in de tunnel. Zo'n 50 auto's (rood) rijden volgens de pijl "Noord" de tunnel in en komen tot stilstand tegen een "brandende" vrachtauto. De auto's voor en achteraan de file zitten in het complot, stromannen. De evacuatie van de deelnemers komt op video. TNO vangt de deelnemers op bij de vluchtdeuren 10 en 4.

Procedure

Bij aankomst werden de deelnemers over twee rijbanen opgesteld en lazen in de auto de instructies door. Een proefleider van TNO liep langs om vragen te beantwoorden. De eerste stroman stond als gewone deelnemer rechts vooraan opgesteld. De deelnemer links vooraan kreeg het verzoek steeds naast deze "collega" te blijven rijden. De deelnemers zagen de andere twee stromannen nog niet. De vrachtauto stond, eveneens onzichtbaar voor de deelnemers, in de tunnel ter hoogte van deur 4 op de linkerrijstrook.

Daarna vertrokken de deelnemers collectief. Bij het inrijden van de tunnel werd de vrachtauto zichtbaar die inmiddels langzaam op de linkerrijstrook reed, 30 km/h, met de alarmlichten aan. Zo'n 320 m verder, even voor deur 8, trok de vrachtauto naar rechts en stond dwars over de weg met zijn rechterkant naar de deelnemers gekeerd. Rookontwikkeling begon achter vanuit de laadruimte. De chauffeur verliet aan de linkerkant de cabine en liep onder dekking van zijn vrachtauto naar deur 10. Inmiddels sloten de twee andere stromannen met hun auto de file van achteren af over beide rijbanen om terugrijden te verhinderen. Ze bleven ter hoogte van deur 5 staan. Een van de stromannen opende een container met een sterke "gaslucht"; deze verspreidde zich over de stilstaande file. Ongeveer 5½ minuut na de stop van de vrachtauto werd, langzaam en duidelijk, omgeroepen:

Attentie, attentie, er is explosiegevaar; ik herhaal, er is explosiegevaar.

Deze omroep was na 5 s compleet en werd dan nog eens herhaald. Twee minuten later werd omgeroepen, eveneens langzaam en duidelijk:

Wilt u de tunnel verlaten [via de vluchtdeuren], wilt u de tunnel verlaten [via de vluchtdeuren].

Ook deze omroep werd nog eens herhaald. De korte versie van de herhaalde omroep duurde ongeveer 10 s; de lange versie ongeveer 15 s ("*tunnel verlaten via de vluchtdeuren*"). De omroep werd elke 30 s herhaald tot de tunnel leeg was of, bij de lange versie elke 50 s.

De deelnemers werden aan de Noordzijde opgevangen bij deur 10, en aan de Zuidzijde bij deur 4. De proefleiders noteerden of de deelnemer via de rijbaan of via het middenkanaal gekomen was. De deelnemers moesten daarna in het middenkanaal wachten. Zodra er tijd was, volgde een klein interview over de afgelegde weg. Daarna werden de deelnemers via het middenkanaal teruggeleid naar hun auto. Terug op de rijbaan werden ze door een proefleider toegesproken. De deelnemers kregen te horen dat ze enigszins misleid waren (de eerste rit zou verkennen van het parcours zijn) en de reden daarvoor (een echte ramp wordt ook niet aangekondigd). Tevens werd gepeild of er deelnemers waren met een door de pseudotunnelramp acuut geworden psychotrauma. In dat geval was een persoonlijk gesprek mogelijk. Daarna reden de deelnemers terug naar de openbare weg.

5.2 Resultaten

De tunnelervaring van de deelnemers was als volgt:

- Ruim een derde van de deelnemers (37%) gebruikte de tunnel dagelijks of vaker
- Precies een derde gebruikte de tunnel 2-4 keren per week

- 12% procent gebruikte de tunnel ongeveer eens per week
- Een vijfde, 19%, gebruikte de tunnel minder vaak.

Bij de enquête waren die cijfers resp. 53%, 30%, 12% en 5%. Daarmee vergeleken hebben de huidige deelnemers minder tunnelervaring¹⁴.

Evacuatie tijden

Na 5 á 6 minuten, gerekend vanaf stilstand vrachtauto, werd omgeroepen “*er is explosiegevaar*”; 2 minuten later “*wilt u de tunnel verlaten*”. Tabel 8 geeft de exacte tijden. Het omroepbericht *explosiegevaar* bracht als regel de evacuatie op gang. Bij de bespreking van de resultaten gold deze omroep als startmoment van de evacuatie. Wanneer geen bericht werd omgeroepen—in de twee proeven waarbij de deelnemers voorbereid waren op evacuatie—gold de stop van de vrachtauto als startmoment van de evacuatie.

Tabel 8 Omroeptijden gerekend vanaf stop vrachtauto (de letter D in de kolom *tunnel verlaten* geeft aan dat de lange versie ... *via de vluchtdeuren* werd omgeroepen).

proef (en datum)	stop vrachtauto	"explosiegevaar"	"tunnel verlaten"
1 (8 jan)	0	4'40"	6'40"
2 (8 jan)	0	5'00"	6'30"D
3 (9 jan)	0	5'45"	7'45"D
4 (9 jan)	0	4'54"	7'04"
5 (10 jan)	0	6'18"	8'48"D
6 (10 jan)	0	6'12"	7'42"D
7 (16 jan)	0	5'51"	7'51"
8 (11 jan)	0	n.v.t.	n.v.t.
9 (12 jan)	0	n.v.t.	n.v.t.
gemiddeld		5'31"	7'28"

De evacuatie tijden staan in Tabel 9. De kolom *Eerste Veilig* geeft het moment aan dat de eerste deelnemer door de vluchtdeur ging, gerekend vanaf de omroep *explosiegevaar*. De kolom *Evacuatie duur netto* geeft aan de tijd tussen *explosiegevaar* en het moment dat de tunnel leeg was. De kolom *Evacuatie duur bruto* geeft aan de tijd tussen de stop van de vrachtauto en het moment dat de tunnel leeg was. Bij de twee proeven waar men voorbereid was op evacuatie ontbreekt het netto-bruto verschil. De laatste kolommen geven aan hoeveel deelnemers door de verschillende deuren gingen.

Voor de proeven waar men onvoorbereid was, was de eerste deelnemer gemiddeld na $\frac{3}{4}$ minuut in veiligheid. Voor de twee proeven waar men voorbereid was, duurde dat ruim 1 minuut¹⁵. De kolom *Evacuatie duur* geeft aan hoe lang het duurde eer de tunnel verlaten was. Bij onvoorbereide deelnemers was dat gemiddeld 4 minuten. Bij op evacuatie voorbereide deelnemers was dat gemiddeld $2\frac{1}{2}$ minuut¹⁶.

¹⁴ Statistische test: $\chi^2(3)=16.53$; $p<0.001$.

¹⁵ Statistische toetsing van *Eerste Veilig* liet geen verschil zien tussen “voorbereid” en “onvoorbereid” (alle data: $t(7)=0.75$; $p>0.40$; zonder tweede proef $t(6)=1.30$; $p>0.20$).

¹⁶ Ook toetsing van *Evacuatie duur (netto)* liet geen verschil zien tussen “voorbereid” en “onvoorbereid”; $t(7)=0.84$; $p>0.20$).

Tabel 9 Evacuatielijden en aantal deelnemers door de vluchtdeuren bij de fileproeven (bovenaan: mensen waren niet op evacuatie voorbereid; onderaan: mensen waren wél voorbereid).

proef (en datum)	startmoment van de evacuatie	eerste veilig*	evacuatie-duur netto	evacuatieduur bruto (vanaf stop vr.auto)	aantal deelnemers door de vluchtdeuren			
					D5	D6	D7	D8
1 (8 jan)	"explosiegevaar"	0'58"	3'00"	7'40"	9	17	23	-
2 (8 jan)	"explosiegevaar"	-4'30"	3'35"	8'35"	6	14	20	-
3 (9 jan)	"explosiegevaar"	0'50"	5'44"	11'29"	19	11	25	-
4 (9 jan)	"explosiegevaar"	0'48"	8'59"	13'53"	?	11	8	-
5 (10 jan)	"explosiegevaar"	0'31"	2'26"	8'44"	3	20	27	-
6 (10 jan)	"explosiegevaar"	0'52"	3'00"	9'12"	7	16	28	-
7 (16 jan)	"explosiegevaar"	0'17"	2'01"	7'52"	0	21	29	-
gemidd. onvoorbereid:		0'42"	4'06"	9'37"	7	16	23	-
8 (11 jan)	stop vrachtauto	1'32"	3'35"	1'29"	1	19	25	-
9 (12 jan)	stop vrachtauto	0'38"			0	2	30	4
gemidd. voorbereid:		1'05"	2'32"		1	11	27	2

*Eerste Veilig geeft, vanaf het startmoment, de tijd dat de eerste door de vluchtdeur ging. De evacuatie van de tweede proef (met minteken) begon vóór het startmoment. Deze proef telt hier niet mee voor het gemiddelde.

Evacuatiegedrag

Het evacuatiegedrag bij de afzonderlijke proeven wordt nu besproken, te beginnen met de zeven proeven waarbij men niet op evacuatie was voorbereid.

Proef 1 (dinsdag 8 januari 19:00 uur)

Na bijna 3 minuten passiviteit stapte de deelnemer linksvoor uit en wendde zich tot zijn buurman om raad (Stroman 1). De rest keek toe, oriëntatiegedrag, maar geen vluchtgedrag. Na 4'35" stapte een tweede deelnemer uit. Even later werd *explosiegevaar* omgeroepen, bijna 5 minuten na stilstand van de vrachtauto. Vanaf dat moment begonnen deelnemers vrijwel meteen uit te stappen en te vluchten. De eerste deelnemer was na 58" in veiligheid; de tunnel was leeg na 2¼ minuut. Nee, want meteen daarna moest iemand weer terug naar zijn auto. Het duurde 42 s voor hij weer terug was. De tunnel was pas echt leeg na precies 3 minuten.

De omroep *Tunnel verlaten* kwam terwijl de evacuatie op zijn eind liep. In deur 7 stond een groepje te kijken; na de omroep verdween dat groepje achter de deur.

Bijzonderheden:

- Een deelnemer ging uit het middenkanaal terug om iets aan de auto te doen. De evacuatieduur nam daardoor toe.
- Mensen gebruikten de deuropening als observatiepost, ze bleven "hangen".
- Iemand stapte door deur 5 weer de rijbaan op.

Proef 2 (dinsdag 8 januari 20:30 uur)

Een spontane en zeer snelle start van het evacuatieproces! Dertig seconden na stilstand van de vrachtauto was de eerste deelnemer al in veiligheid. De achterste auto's reden nog. Twintig s later waren er nog eens 6 deelnemers in veiligheid.

Daarna stagneerde de zaak. Bij een vluchtdeur middenin de file (deur 6) bleef een groepje van 4 deelnemers hangen. Ze waren snel bij de deur gekomen, ¾ tot 1½ minuut na stilstand van de vrachtauto. Eén ging vervolgens in de deuropening staan kijken, even later stonden er al weer 3 van de 4 op de rijbaan (2 minuten na stilstand van de vrachtauto). Men ging zelfs naar de middenstreep voor beter zicht; twee nieuwe deelnemers voegden zich bij het groepje. Men keek wat er ging gebeuren. Daarbij was wel enige spanning; twee deelnemers die nog even naar de auto gingen (of naar anderen?) deden dat hollend en kwamen ook hollend terug, althans een van de twee; de ander liep gewoon. Vijf minuten na stilstand van de vrachtauto telde het groepje 8 deelnemers.

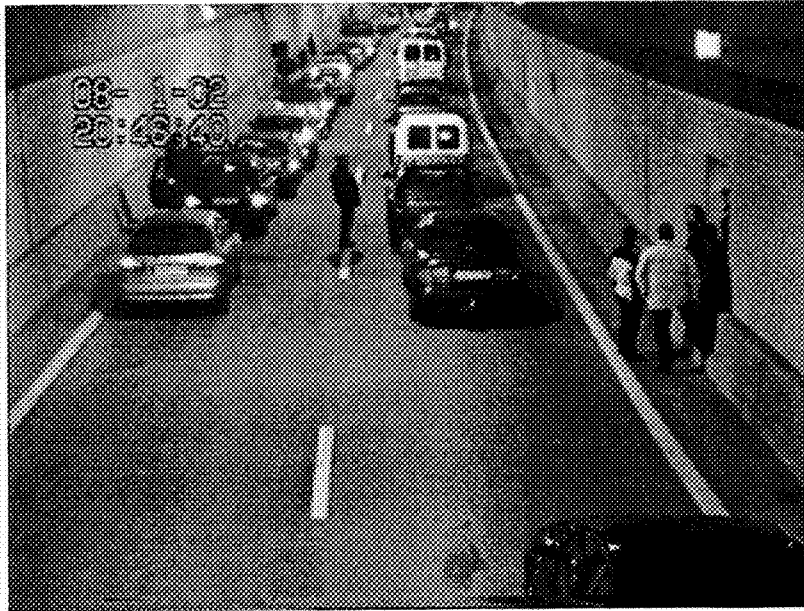


Fig. 14 Een evacuatie verzandt. Drie minuten nadat de eerste door de vluchtdeur ging zijn weggebruikers weer terug bij de auto en hangen ze rond de vluchtdeuren.

Bij deur 7, zo'n 80 m stroomopwaarts van de ramp, brachten 8 deelnemers zich binnen 60 s in veiligheid. Een halve minuut later arriveerde nog iemand bij de deur. Na aarzeling rende hij terug naar zijn auto. Bij terugkomst liepen twee anderen mee. Hij hield de vluchtdeur voor hen open en met z'n drieën verdwenen ze in het middenkanaal (2'20'' na stilstand vrachtauto). Tien seconden later kwam weer iemand aan die in de deur ging hangen en dan, 1 minuut later, de rijbaan weer op stapte. Hij bleef bij een groepje bij de auto's praten tot de omroep *explosiegevaar*. Net voor de omroep liep weer iemand op de deur af. Op dat zelfde ogenblik kwam een ander terug uit het middenkanaal. In de deuropening maakten de twee een praatje. Er waren nu verschillende praatgroepjes ontstaan. De aandacht was steeds naar voren gericht. Pas de omroep *explosiegevaar* trok de evacuatie weer vlot. Binnen 1½ minuut was de kop van de file geëvacueerd. Daar kwam de omroep *Tunnel verlaten* in reeds een verlaten tunnel. Achteraan de file kostte het 2 minuten langer; daar werd de omroep wel gehoord. In de tabel is een evacuatieduur van 3½ minuut genoteerd.

Bijzonderheden:

- Volstreekte stagnatie na vlotte start. Mensen bleven hangen en kijken in de vluchtdeur. Daar ontstonden praatgroepjes (Fig. 14). Daarna ook praatgroepjes op de rijbaan; ook daar de aandacht naar voren gericht. Daarna een snelle evacuatie, 1½ minuut, wellicht omdat de mensen reeds los waren van hun auto.
- Deelnemer die, ook na de omroep *explosiegevaar*, 10 s na instappen in het middenkanaal terugkwam om iets aan zijn auto te doen. Totale tijdverlies ½ minuut.
- Vertraging bij de staart van de file; daar is 2 minuten extra tijd nodig (omroepbericht niet gehoord?).
- Tweemaal opende een deelnemer vanuit het middenkanaal een vluchtdeur om even te kijken, "nieuwsgierig gedrag".

Proef 3 (woensdag 9 januari 19:00 uur)

Na 3 minuten passiviteit begonnen twee deelnemers te overleggen; een minuut later ook twee anderen. Oriëntatiegedrag maar geen actie.

De omroep *explosiegevaar* bracht de evacuatie op gang. De eerste deelnemer was 50'' later in veiligheid. De evacuatie liep vrij snel met een langzame uitloop. De allerlaatste deelnemers verlieten hun auto pas 4

minuten na de omroep *explosiegevaar*. Inmiddels was al 4 x *tunnel verlaten* omgeroepen. Pas na 5¼ minuut was de tunnel leeg.

Bijzonderheden:

- Deelnemer ging uit het middenkanaal weer de tunnel in om iets aan de auto te doen.
- Lange uitloop van de evacuatie; sommigen reageerden traag.
- In twee vluchtdeuren bleven mensen staan om even te kijken, nieuwsgierigheid.
- Geheel achteraan de file evacueerde een deelnemer met een rolstoel (deur 5). Een begeleider verleende assistentie.

Proef 4 (woensdag 9 januari 20:30 uur)

De vrachtauto kwam binnen met forse rook; bovendien reed hij op de rechterbaan. De file week uit naar de linkerbaan en hield bovendien grote afstand. De file stond bijna tot buiten de tunnel. Slechts 11 van de 45 auto's stonden onder camerabereik, en de omroepinstallatie was achteraan de file niet te horen. De proefleider die normaliter deur 5 onder observatie had, was stroomopwaarts gelopen en stond nu bij deur 4; er waren geen observaties bij deur 5. Toen de vrachtauto bijna ter plaatse was (deur 8) begon de deelnemer links voor in te halen. De vrachtauto sneed hem; de deelnemer ging fors op de rem en toeterde verontwaardigd.

Na 1½ minuut begonnen enkelen rustig te overleggen. Als resultaat werd 30 s later een hulppost gebeld. De rest keek toe. Tot de omroep *explosiegevaar* was er geen verdere actie.

Na 5 minuten werd *explosiegevaar* omgeroepen. De eerste deelnemer was 48 s later in veiligheid via deur 7, 80 m stroomopwaarts van de ramp. Eén en een kwart minuut later ging de eerste door deur 6; er waren toen al 7 deelnemers door deur 7. Enkele seconden later kwam iemand uit die deur terug naar zijn auto. Die stond op 10 m van de deur 50 m stroomafwaarts (deur 5), zodat hij na afloop daar maar naar het middenkanaal binnen ging. Het tijdverlies was 76 s. Vooraan de file ging de laatste deelnemer 3 minuten na *explosiegevaar* door de vluchtdeur. Inmiddels was *tunnelverlaten* al tweemaal omgeroepen. Achteraan de file had men 9 minuten nodig¹⁷.

Bijzonderheden:

- Een deelnemer probeerde langs de vrachtauto te rijden.
- Een deelnemer keerde de auto, reed snel 20 m terug, zag anderen de vluchtdeur nemen en besloot toen ook die deur te nemen (Fig. 15).
- ... op dat moment waren er overstekende voetgangers op de rijbaan die hem tot snelheidsmindering maanden.
- Een ander zag de man keren en begon ook met zijn auto te manoeuvreren.
- Een ander liet de auto een eindje terugzakken, was toen wat dichterbij een vluchtdeur en stapte uit. Vanwege het *explosiegevaar* gebruikte hij de motor niet.
- Deze gedragingen doen paniekerig aan. Het gedrag werd uitgelokt door de situatie; een vrije rechterrijstrook, en flinke gaten in de file op de linkerrijstrook.
- Het achterste deel van de file reageerde bijzonder traag (evacuatieuur 9 minuten—zie voetnoot 17).
- Drie deelnemers stapten stroomopwaarts van de staart van de file, bij deur 4, weer de rijbaan op.

¹⁷ De omroep was achteraan niet te horen.

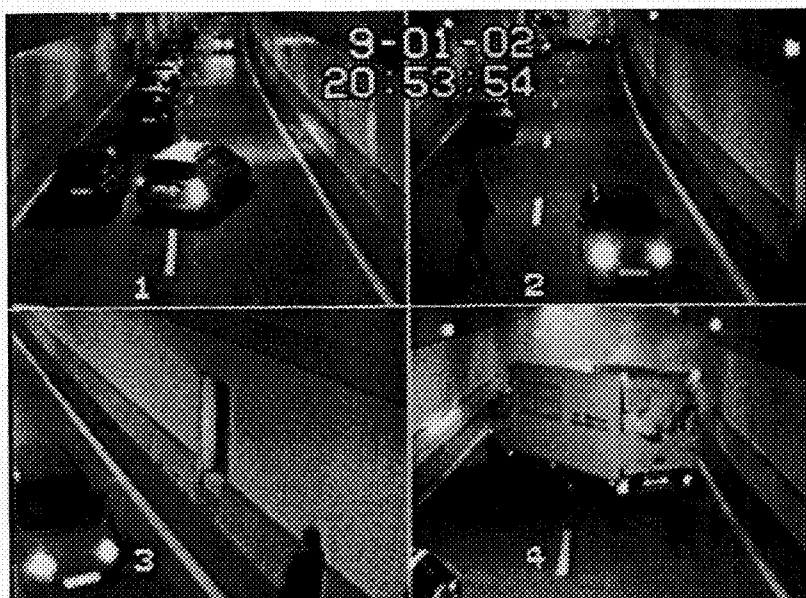


Fig. 15 Alternatieve evacuatie bij proef 4: terugrijden over de vrije rechterbaan. Inmiddels zijn er voetgangers op de baan.

Proef 5 (donderdag 10 januari 19:00 uur)

De file vertoonde veel gaten die langzaam werden opgevuld. De "ramp" was inmiddels 3 minuten oud. Tot de omroep *explosiegevaar* was er geen enkele actie; iedereen bleef in de auto. Men sloot wat aan, deed eens een lichtje uit.

Alsof men op de omroep *explosiegevaar* wachtte begon de evacuatie heel snel; na 14 s gingen de eerste autodeuren open. De eerste deelnemer was na 31'' in veiligheid; na 1'40'' de laatste. Nee, toch niet. Door een laatkomer was de tunnel pas na 2'26'' leeg¹⁸.

Bijzonderheden: geen.

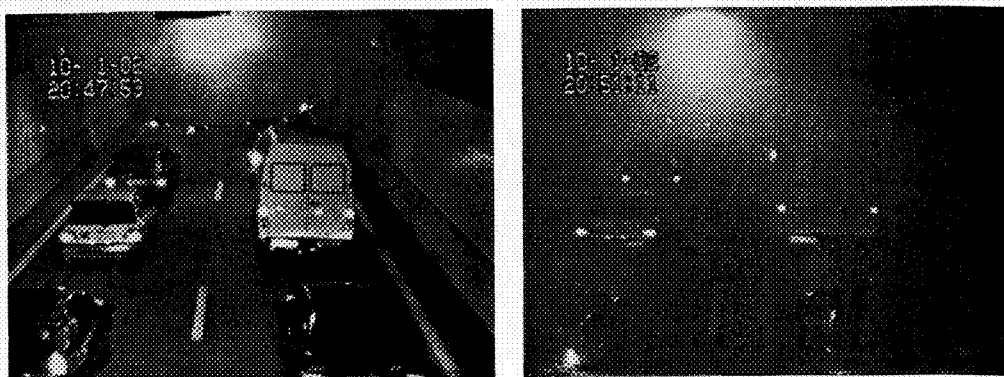


Fig. 16 De voorste auto's bij proef 6 verdwijnen geleidelijk in de rook maar de bestuurders blijven rustig zitten. (Gestreefd werd naar een langzame rook-afvoer in de rijrichting; bij deze proef was er te veel "tegenventilatie".)

Proef 6 (donderdag 10 januari 20:30 uur)

Totale passiviteit tot het eerste omroepbericht, ondanks imposante rookwolken die langzamerhand de voorste 10 auto's onzichtbaar maakten.

De eerste automobilist stapte 37 s na de omroep *explosiegevaar* uit en was na 52 s in veiligheid. Anderen volgden. Binnen 1½ minuut waren 16 deelnemers in veiligheid door deur 6 (130 m stroomopwaarts van

¹⁸ De laatkomer kwam achter uit de file; zijn uitstappen viel buiten camerabereik.

de ramp) en 18 deelnemers door deur 7 (80 m stroomopwaarts van de ramp). In de rook vooraan zaten nog 10 deelnemers in de auto (Fig. 16).

Pas toen *tunnel verlaten via de vluchtdeuren* werd omgeroepen kwam deze laatste groep in actie. Vrijwel meteen openden ze de auto en liepen stroomopwaarts naar deur 7. De eerste deelnemer was 42 sec later in veiligheid; de laatste na 1½ minuut. De totale evacuatie duur (vanaf de omroep *explosiegevaar*) kwam op 3 minuten.

Bijzonderheden:

- Degenen die vooraan in de file stonden, het dichtst bij het gevaar, kwamen als laatsten in actie, ook al raakte hun voertuigen steeds meer in de rook.
- Zij reageerden niet op de omroep *explosiegevaar* en kwamen pas na de omroep *tunnel verlaten via de vluchtdeuren* in actie.
- De twee voorste deelnemers kwamen pas in actie na persoonlijke waarschuwing van anderen; ze hadden een CD aan staan.

Proef 7 (woensdag 16 januari 20:30 uur)

Opnieuw grote passiviteit. Na 2'40'' stapt iemand uit. Hij liep naar een vriend toe, en ging bij hem in de auto zitten. Daar is hij gebleven tot de omroep *explosiegevaar*.

De reactie op de omroep *explosiegevaar* was onmiddellijk. Al na 15 s rende men over de rijbaan; de eerste deelnemer was 17 s na de omroep in veiligheid. Twee minuten na de omroep (2'01'') was de tunnel leeg. De omroep *tunnel verlaten* kwam in een lege tunnel.

Bijzonderheden:

- Vertraging bij de deur 80 m stroomopwaarts van de ramp (deur 7) omdat velen tegelijk aankwamen. Deze vertraging werkte niet door in de totale evacuatie duur; deelnemers waren dus nog trager bij een andere deur.

Voorbereid op evacuatie (vrijdag 11 januari)

De deelnemers aan de proeven 8 en 9 waren op evacuatie voorbereid. Ze wisten dat ze achter een vrachtauto tot stilstand zouden komen en dan uit moesten stappen. De vrachtauto braakte geen rook uit. Bij deze proeven werd de stroomsnelheid bij de vluchtdeuren geanalyseerd. Het "nemen" van een deur, inclusief de opstap, bleek 3 tot 4 seconden te kosten als de deur dicht was en nog geopend moest worden. Liep men achter elkaar aan, dan stond de deur al open en nam men de deur in gemiddeld 1.7 s. Als weggebruikers in een ononderbroken stroom arriveerden kon de vluchtdeur 0.69 persoon/seconde verwerken (1.4 s/persoon). Altijd, ook bij opstopping (Fig. 17), gingen de weggebruikers individueel door de deur en nooit met meerderen tegelijk.



Fig. 17 Drukte bij de deur als deelnemers aan proef 9 van twee kanten tegelijk aankomen (camera's 2 en 3; de twee weggebruikers op camera 1 lopen maar naar deur 6).

Proef 8, voorbereid op evacuatie (vrijdag 11 januari 19:00 uur)

De eerste 70 seconden van Proef 8 verliepen aarzelend. Een aantal mensen stapte uit, en keek afwachtend rond. Oriëntatie, maar geen vluchtgedrag. Op 93 s ging uiteindelijk de eerste deelnemer dan maar door de vluchtdeur. De rest volgde vlot. De tunnel was leeg 3½ minuut na aanvang.

Bijzonderheden:

- Iemand ging door de vluchtdeur maar kwam 30 s later terug, liep naar zijn auto en terug naar de vluchtdeur. Tijdverlies 51 s.
- Op 10 m van de vluchtdeur draaide iemand zich om, ging rennend terug naar zijn auto en terug. Tijdverlies 50 s.
- Iemand opende vanuit het middenkanaal een vluchtdeur om even te kijken (nieuwsgierigheid).
- Een ander stapte weer de rijbaan op (nieuwsgierigheid).

Proef 9, voorbereid op evacuatie (vrijdag 11 januari 20:30 uur)

Zelfde als vorige proef, maar aan het "in veiligheid brengen" was toegevoegd "... via de vluchtdooren". Op het instructieformulier was deze passage nog eens onderstreept.

De reactie op het stoppen was onmiddellijk. Binnen 6 s stond de eerste deelnemer op de rijbaan. Hij was met 38 s in veiligheid, anderen volgden. De tunnel was binnen 1½ minuut leeg.

Bijzonderheden:

- Eén van de voorste deelnemers rende met anderen mee. De auto bleef met draaiende motor achter.
- Voor het eerst werd de deur voorbij de "ramp" gebruikt (deur 8). Vier deelnemers vooraan de file gingen verder stroomafwaarts.
- Vertraging bij de deur 80 m stroomopwaarts van de ramp (deur 7) omdat velen tegelijk aankwamen van de kop van de file zowel als vanuit het midden. De langste wachttijd was 15 s. Deze vertraging werkte niet door in de totale evacuatieduur.
- Twee deelnemers zwaaiden af naar deur 6 vanwege de opstopping bij deur 7.

De vertraging bij deur 7 had te maken met de compactheid van de file; er stonden meer dan 40 auto's over een afstand van nog geen 100 m, bovendien evacueerde iedereen tegelijk. De file hield al tussen de deuren 6 en 7 op; de twee personen die deur 6 namen verlieten de staart van de file en liepen over een lege rijbaan naar deur 6. Bij de andere proeven stond de staart van de file ruim stroomopwaarts van deur 6.

Interviews

In het middenkanaal werden de deelnemers ondervraagd over de gekozen route. Eenmaal in het middenkanaal aangekomen, liepen alle deelnemers (volgens eigen zeggen) door naar het opvangpunt; niemand stapte bij een volgende vluchtdeur weer terug op de rijbaan. Blijkbaar rekenen deelnemers het teruggaan, via de oorspronkelijke deur, naar de auto niet mee.

Bij het Noordelijke opvangpunt, deur 10 (110 deelnemers) werd daarna nog verder ondervraagd. Vier deelnemers (4%) gaven aan dat ze ondanks het bordje *gevaar* een tegenoverliggende vluchtdeur (naar de E-buis) hadden geprobeerd. Acht deelnemers (8%) gaven aan dat ze tussentijds vanuit het middenkanaal, bij deur 8 of 9, een kijkje naar de rijbaan hadden genomen. Vier individuele deelnemers en twee groepjes deelnemers gaven aan dat ze na het instappen bij deur 7 in Zuidelijke richting verder wilden ("weg van het gevaar" zoals tweemaal genoemd werd) maar dat het stalen hek voor de pompenkelder de doorgang blokkeerde.

Sommige deelnemers aan de tweede proef meenden het slachtoffer te zijn van een echte ramp—niet een in scène gezette. Een algemene indruk was dat nogal wat deelnemers verontwaardigd waren vanwege de belofte dat de eerste rit verkenning van het parcours zou zijn; "dit was geen afspraak!". Daaruit sprak enige schrik.

Debriefing

Aan het eind van de proeven waarbij men niet op evacuatie was voorbereid konden de deelnemers aangeven of ze de proef "spannend" hadden gevonden. Over de 7 proeven heen werden, ruwweg, de volgende aantallen geteld: 10, 10, 0, 8, 2, 0 en 12; in totaal 42 deelnemers, 13% van de deelnemers¹⁹. Slechts enkelen rapporteerden dat ze de ervaring "angstig" hadden gevonden. Zoals gezegd dachten sommigen bij de tweede proef dat de ramp echt was. Deelnemers met door de proef acuut geworden psychotrauma werden niet gezien.

5.3 Discussie

De huidige studie laat opvallend lange reactietijden zien. Automobilisten reageerden uiterst passief! Men deed niets en bleef zeker 5–6 minuten afwachten. Wel was er in die tijd oriëntatiedrag; dat wil zeggen, men keek wat er aan de hand is, keek eens naar medeweggebruikers, maar tot evacuatie kwam het niet. Deze passiviteit manifesteerde zich heel opvallend ook toen, in één van de proeven, de kop van de file langzamerhand in rook gehuld raakte. De betrokken automobilisten bleven in hun auto zitten. Een gunstige uitzondering was de tweede van de serie van zeven proeven. In die proef ging men spontaan tot evacuatie over. Meestal, 6 van de 7 keer, dus geen evacuatie uit eigen beweging. We komen zometeen terug op de proef met spontante evacuatie.

De conclusie is dat evacuaties alleen snel op gang komen met externe sturing, bijvoorbeeld een officieel omroepbericht. Het wat kunstmatige bericht "explosiegevaar" was meestal voldoende.

¹⁹ De debriefing vond plaats op advies van de Medisch-Ethische Toetsingscommissie van TNO met als doel eventueel getraumatiseerde deelnemers psychologisch op te vangen. Een systematische vastlegging van aantallen vond niet plaats; de genoemde data zijn gebaseerd op impressies achteraf. Daarbij bestaat de indruk dat de deelnemers "zich niet wilden laten kennen"; dat ze dus er niet altijd voor uit wilden komen dat ze in spanning hadden gezeten.

Toch doorbrak dit bericht niet de passiviteit van de in rook gehulde kop van de file, wellicht omdat men zich in de auto beter beschermd achtte tegen een explosie dan daarbuiten; wellicht ook omdat men bang was de rook in te stappen. Het aanzetten van een CD is wellicht te zien als een psychologisch defensiemechanisme. Canter, Donald & Chalk vermelden soortgelijk gedrag bij brand in gebouwen (1992). Dit schetst het dilemma tussen veiligheid op de korte en de lange termijn; op de korte termijn is blijven zitten het veiligst; op de lange termijn kan het dodelijk zijn.

De luidsprekerinstallatie bij de huidige proeven was provisorisch. Achteraan de file waren de berichten moeilijk te horen, en bij een lange file helemaal niet. Automobilisten moesten het daar hebben van het voorbeeld van hun medeweggebruikers. Zou de speciaal voor de tunnel ontworpen installatie gebuikt zijn, dan zouden (iets) betere resultaten behaald zijn. In die zin zijn de huidige proeven (iets) te is pessimistisch.

Zoals gezegd liet één van de zeven proeven spontane evacuatie zien. Enkele weggebruikers vooraan de file renden de auto uit en sleepten met hun voorbeeld de rest mee. Kuddegedrag heeft ook zijn voordelen! Opmerkelijk was in deze proef dat de evacuatie na verloop van tijd volkomen verzandde. Mensen kwamen uit het middenkanaal terug, en gingen in en rond de vluchtdeuren hangen, anderen sloten zich daar bij aan. Ook op de rijbaan ontstonden groepjes. Het was een oriëntatiegedrag, "kijken wat er gebeurt". Een onveilige situatie want een explosie of plotseling escalerende brand zou zeker slachtoffers maken. De oorzaak van dit gedrag is gebrek aan richtlijnen. De aanwijzingen in het middenkanaal waren blijkbaar niet duidelijk en de "operator" deed geen omroepberichten. Men is nieuwsgierig over het verloop van het incident en bezorgd over de eigen auto, en gaat dus eens kijken.

In tegenstelling tot de studie met individuen evacueerde hier niemand over de rijbaan. Iedereen ging door de vluchtdeuren. Hielp bekendheid met de vluchtdeuren hierbij? Dat is moeilijk te zeggen. De instructie "tunnel verlaten *via de vluchtdeuren*" had geen betere resultaten dan de korte instructie "tunnel verlaten", maar deze instructies werden gegeven op het moment dat de tunnel (bijna) verlaten was. Omdat iedereen door de vluchtdeuren ging is de conclusie dat de bekendheid met de vluchtdeuren voldoende is voor evacuerende groepen. Het voorbeeld van anderen die door de vluchtdeuren gaan trekt de rest wel mee.

Eveneens in tegenstelling tot de studie met individuen ging niemand te voet langs de ramp heen. Dat gebeurde alleen in één van de twee proeven waarbij men van tevoren wist van de vrachtauto en waarbij men zich de rook maar moest inbeelden. Was men onvoorbereid en rookte de vrachtauto echt, dan liep niemand er meer langs. Wel was er een poging om per auto voorbij de ramp te komen, een gedrag dat ook uit echte rampen bekend is.

Telefoneren werd ook nu gedaan, zij het door veel minder deelnemers dan bij Studie 2, individuen. Wie een ander zag bellen zal dat zelf wat minder gauw doen. Blijft overeind dat bellen de evacuatie vertraagt en de tunneloperator zal belasten.

Niet alleen telefoneren maar ook teruggaan naar de auto werkt vertragend. Weliswaar gaan slechts enkelen terug naar de auto maar ze gaan tegen de stroom in en hinderen anderen, en

kunnen bovendien de totale evacuatie-duur verlengen. Onzekerheid hoe precies de auto moet worden achtergelaten speelt hier een rol (motor uit, lichten doven, portieren afsluiten, e.d.). Moeten hulpverleners de mogelijkheid hebben de auto te verplaatsen? Dan zou men de portieren open moeten laten enz. Moet men parkeren zoals altijd? Dan sluit men de portieren juist af.

In het middenkanaal liep men beter door dan in de studie met individuen. Het als groep lopen speelde een rol. In het wat onherbergzame middenkanaal voelde men zich als groep veiliger dan als individu.

De snelheid waarmee men door de vluchtdeur ging lag, bij continu aanbod aan evacués, op 0.69 persoon per seconde, ofwel 1.44 s per persoon. Dit is veel slechter dan verwacht bij deze bijna 1 m brede deur. Bij deze breedte voorspelt namelijk het commerciële programma Exodus 1.33 persoon per seconde, en de normen van de stichting Bouwresearch zelfs 2.16 persoon per seconde (zie Schermer, 1999). De oorzaak is de opstap voor de deur. Deze doet de stroomsnelheid dalen tot de waarde bij het instappen in treinen, 0.67 persoon per seconde (geciteerd door Schermer, 1999).

Is de hier waargenomen stroomsnelheid bij de vluchtdeur opgewassen tegen het aanbod aan evacués? We wagen ons aan een schatting. Met per rijstrook elke 7 meter een weggebruiker²⁰ staat per dubbele rijstrook elke 3.5 m een weggebruiker. Met een loopsnelheid van 1 m/s (brandweernorm) arriveren ze bij de vluchtdeur met een tempo van elke 3.5 seconde een persoon; de rijbaan heeft immers ruimte genoeg voor evacuerende voetgangers. Omdat evacués van Noord én Zuid tegelijk arriveren, verdubbelt het tempo tot elke 1.75 seconde een persoon. De deur kan dat nog steeds verwerken. Zouden de evacués echter een vlot wandeltempo aanhouden, 1.4 m/s ofwel 5 km/h, dan loopt het aanbod op tot elke 1.25 seconden een evacué, en dat kan de vluchtdeur niet meer aan. De vluchtdeur zit dus aan de grens. Bovendien kunnen voertuigen in werkelijkheid passagiers meevoeren. Nog klemmender wordt het in tunnels met drie rijstroken zoals de tunnel onder De Noord. Het aanbod aan evacués ligt dan sowieso 50% hoger.

Of de situatie nu écht hachelijk is, hangt af van de maximale capaciteit. Die zou wel eens gunstiger kunnen zijn dan de hier geobserveerde omdat de deelnemers aan de huidige proeven minder gehaast waren dan bij een echte ramp.

Realiteitsgehalte

Dat brengt ons op het realiteitsgehalte van het onderzoek. We confronteerden deelnemers met een realistisch scenario. Maar was de situatie wel echt genoeg, en komen de gedragsresultaten dus wel overeen met het gedrag bij werkelijke rampen. Een korte beschouwing.

De deelnemers wisten dat “dingen konden gebeuren” die namaak waren en zonder gevaar. Vanuit die wetenschap waren ze dus geneigd de gesimuleerde ramp niet serieus te nemen. Maar ook een echte ramp wordt niet altijd meteen serieus genomen. Ook dan worden de eerste tekenen van gevaar “wegverklaard”, zie bijvoorbeeld het gedragsmodel van Canter, Breaux & Sime (1980). “Early acceptance ... is frequently delayed to a dangerous extent”, merkt Canter

²⁰ Auto's zijn 4 m lang en houden nog eens 3 m afstand, dus één auto elke 7 m.

op (1980). Bij de echte ramp denken velen aan ... een oefening, naar schatting zo'n 60% van de betrokkenen (Harbst & Madsen, 1992). Misschien een primitieve manier van zelfbescherming, maar ook gebaseerd op het nuchtere feit dat oefeningen nu eenmaal vaker plaatsvinden dan echte rampen en dat de observaties van de ramp vaak maar heel beperkt zijn en niet iedereen goed zicht heeft op de ramp. De tekenen zijn soms onvoldoende om de ernst in te schatten. Bovendien verschilt de langzaam escalerende ramp qua uiterlijk aanvankelijk niet van een gecontroleerde oefening. Ook beelden van de terreuraanslagen op het wereldhandelscentrum in New York (11 september 2001) laten mensen zien die redelijk rustig naar hun werk lopen en met "verwondering" kijken naar wat zich voltrekt. Volgens de schatting van Harbst & Madsen (60% denkt aan een oefening) had dus de rest, 40%, de ervaring *spannend* moeten vinden. In de huidige studie vond minstens 13% de situatie *spannend* (minstens, omdat niet iedereen er voor uit durfde te komen). De huidige studie was dus "2-3 keer minder spannend dan een echte ramp".

Er was geen paniek bij de proeven. Wijst ook dat niet uit dat de resultaten van de studie weinig zeggen over de echte ramp? Opnieuw van de kant van de echte ramp: in tegenstelling tot wat de filmindustrie wil doen geloven komt paniek bij echte rampen vrijwel niet voor. Quarantelli noemt het concept "paniek" één van de mythes van rampgedrag (bijv. Quarantelli, 1999). Jonathan Sime is het daar helemaal mee eens (Sime, 1980): ook bij rampen blijven mensen rationeel denken en handelen (zie ook Canter, Donald & Chalk, 1992). Wel kunnen ze door een snelle escalatie gedwongen zijn onmiddellijk te handelen. De tijd om de situatie te doorzien is dan zeer beperkt (*situation assessment* en *threat assessment* van Fig. 11).

De conclusie is dat de studie de best mogelijke benadering is van de realiteit, met name die van de langzaam escalerende ramp. Het gedrag bij de proeven mag vertaald worden naar gedrag bij langzaam escalerende rampen²¹.

Een ander punt waarbij de studie verschilde van de echte ramp is bekendheid van de deelnemers met de tunnel. Blijkens Studie 1 zullen bij een echte ramp personen betrokken zijn die de tunnel vaker gebruiken dan de deelnemers aan de huidige studie en dus ook beter bekend zijn met de noodvoorzieningen. De mindere kennis van de huidige deelnemers heeft zich wellicht vertaald in slechte evacuatie; de huidige studie zou een te pessimistisch beeld geven. Wel moet bedacht worden dat automobilisten hun kennis over de tunnel opdoen in het voorbijrijden met 100 km/h. We roepen Figuur 3 in herinnering die het perspectief van de voorbijrazende automobilist weergeeft. Bovendien, wat valt er zelfs langzaam rijdend, anders te leren dan dat er (vlucht)deuren en hulpposten zijn? Nergens in de studie speelde onbekendheid met de vluchtdeuren een rol; de deelnemers die de vluchtdeur namen gaven het voorbeeld voor de rest. Waarschijnlijk speelde het groepsgedrag een sterkere rol dan bij de echte ramp. In een echte file zie je nooit een bekende. Hier waren de deelnemers afkomstig van verenigingen en kenden ze altijd wel enkele andere personen. Het voorbeeld van een bekende spreekt sterker dan het voorbeeld van een onbekende. De aanwezigheid van bekenden lokt ook, sterker dan in het echt,

²¹ En een explosief escalerende ramp? (De nieuwjaarsbrand te Volendam ontwikkelde in 50 seconden temperaturen van 1000°C.) De signalen van de ramp kunnen zo dwingend zijn dat de reactietijd praktisch nul is. Onmiddellijk achteruit rijden? Dat is nauwelijks mogelijk in een file. In de auto blijven? Voorlopig althans is dat veiliger dan uitstappen in vuur en rook en zwavel. Het ligt daarom voor de hand dat mensen dichtbij de ramp te lang zullen wachten. Meer kans maken zij die verder stroomopwaarts staan omdat te voet weggrennen op die plaatsen nog niet zo gevaarlijk is. Wel moet de vluchtdeur onmiddellijk opvallen—zie de slotdiscussie over de markering van de deuren.

uit tot blijven hangen rond de vluchtdeur en het vormen van praatgroepjes. In het echt zal die neiging minder sterk zijn.

6 STUDIE 4: WEGGEBRUIKERS IN ROOK

Brand kan een tunnel vullen met rook. Het zicht neemt dan af; ook is de rook giftig en irriterend. De rook verplaatst zich zoals bepaald door weersomstandigheden en verkeersaanbod. Bij voldoende verkeersaanbod verplaatst de rook zich in de rijrichting. Achter de brand is men dus relatief veilig. Om de situatie veilig te houden, kan de tunneloperator ventilatoren bijzetten. Die zijn er echter niet in alle tunnels (bijv. niet in de 327 m lange Vlaketunnel).

Daarnaast kan de operator verse lucht in het middenkanaal pompen dat daardoor overdruk krijgt en vrij blijft van rook. De vluchtdeuren zijn brandwerend en de wand tussen tunnelbuis en middenkanaal is van 50 cm gewapend beton. Wie door de vluchtdeur is, is in veiligheid.

Het doel van de rookproeven was zicht te krijgen op het gedrag van mensen die in dichte rook de tunnel moeten verlaten. De mensen bevinden zich dus *stroomafwaarts* van de brand. De vraag was of weggebruikers in dichte rook de vluchtdeuren nog wel kunnen vinden. De meer specifieke vraag was of geluidsbakens boven de deuren helpen. De Britse firma Sound Alert produceert dergelijke geluidsbakens. Samen met de universiteit van Leeds, prof. Deborah Withington werd de effectiviteit dikwijls bepaald (zie bijv. Withington, 2001), echter nooit in tunnels voor het wegverkeer. Op verzoek van de Bouwdienst, Steunpunt Tunnelveiligheid, werden deze geluidsbakens thans ingezet.

Ook ditmaal werd de vraag beantwoord of specifieke kennis over de aanwezigheid van vluchtdeuren mensen helpt de vluchtdeuren te vinden. Daartoe werden drie soorten informatie verstrekt in drie verschillende proefsituaties:

- Geen kennis (alleen “breng u in veiligheid”)
- Gedeeltelijke informatie “de tunnel heeft geluidsbakens; daarop kunt u zich oriënteren”
- Volledige informatie “de tunnel heeft geluidsbakens boven de vluchtdeuren; daarop kunt u zich oriënteren” (onderstrepingen zoals aangegeven).

Er waren geen controlegroepen die zonder geluidsbakens moesten evacueren²².

6.1 Methode

Deelnemers

Elk van de drie soorten informatie werd aan 32–33 personen gegeven, in totaal 97 deelnemers. Ze werden geworven door een extern bureau met de tekst “Vluchten in Rook”, 49 mannen, 48 vrouwen.

²² De opzet was een controlegroep zonder geluid, een tweede groep met alleen geluid en een derde groep met geluid en de instructie “er zijn bakens”. De proef met de controlegroep mislukte; gelegenheid de proef te herhalen ontbrak.

Brand in autotunnels kan veel rook geven. Vluchten is dan moeilijk. TNO kijkt hoe vluchten in rook gaat. We brengen u per bus de tunnel in. In de bus krijgt u nadere instructies. U "ontvlucht" te voet door de rook heen. De rook is onschadelijk; u hoeft niet bang te zijn voor schade aan luchtwegen, ogen of kleding. Wat u moet weten:

- De proeven zijn in de avonduren.
- U bent lichamenlijk goed gezond.
- Trek warme kleding aan (het is januari en u loopt buiten).

De leeftijd lag tussen de 15 en de 70 jaar met een gemiddelde van 36 en een standaarddeviatie van 14. Op de testlocatie werd schriftelijk nadere informatie verstrekt—zie onderstaande instructie. Naast de instructie werd ook een deelnemersverklaring doorgelezen. Deze bevatte een vraag over hoe vaak men de (andere buizen van de) Beneluxtunnel gebruikte.

Instructie "Evacuëren in Rook"

Namaakbrand. We gaan per bus de tunnel in. Daar is een namaakbrand met dikke rook. Namaak, dat wil zeggen: geen gevaar voor ogen en luchtwegen, geen benauwdheid. Als extra veiligheid draagt u een rookmasker. U stapt uit. Uw taak is: breng uzelf in veiligheid. Het gaat om individueel gedrag, hoe U het doet. Dus niet op anderen letten, niet op anderen wachten, niet achter anderen aanlopen. U moet uzelf in veiligheid brengen. Doe wat u het beste lijkt.

[Eventueel: *geluidsbakens*]

Rookmasker. Trek het masker over neus, mond en kin. Maak het achter de oren vast met het elastieken bandje. Buig het stuk over uw neus een beetje bij in de vorm van uw neus.

Meespelen. De brand is namaak, maar we vragen u het spel mee te spelen. Stelt u zich maar voor dat het allemaal echt is, compleet met giftige rook. Goed meespelen, dat wel, maar niet zo fanatiek dat u een blessure krijgt of tegen de muur loopt. Blijf om uw persoonlijke veiligheid denken.

Samenvatting:

- De bus zet u af in de rook.
- U stapt uit met het rookmasker op.
- U brengt uzelf in veiligheid (niet op anderen letten).
- [Eventueel: *geluidsbakens*]
- Geen paniek, blij rustig (de rook is onschadelijk).
- Na uiterlijk 30 minuten brengen we u terug.

Bij gedeeltelijke informatie (alleen over de bakens), dan stond op de rode regels *de tunnel is uitgerust met geluidsbakens; daarop kunt u zich oriënteren* en bij de samenvatting *luister naar de geluidsbakens!*

Bij volledige informatie (over bakens en vluchtdeuren) stond op de aangewezen plaats *de tunnel is uitgerust met geluidsbakens boven de vluchtdeuren; daarop kunt u zich oriënteren* en bij de samenvatting *luister naar de geluidsbakens en ga naar een vluchtdeur.*

Geluidsbakens

Boven iedere vluchtdeur bracht de firma Sound Alert luidsprekers rug aan rug aan, Noord-Zuid gericht, ongeveer 15 cm van de wand. De speakers produceerden een snelle opeenvolging van sissend geluid. Gemeten op 25 m afstand lag de luidheid tussen 78 en 84 dB(A). Vlak naast de luidspreker was de luidheid het minst omdat de luidsprekers niet die kant op gericht zijn. Vanaf de andere wand recht tegenover een bakens klinkt een bakens verderop luider. Als twee bakens op 50 m afstand (deuren 6 en 7) tegelijk duidelijk hoorbaar zijn is het dikwijls moeilijk uit te

maken welk dichterbij is. Bijlage B geeft uitgebreide informatie over en evaluatie van de hier gebruikte geluidsbakens.

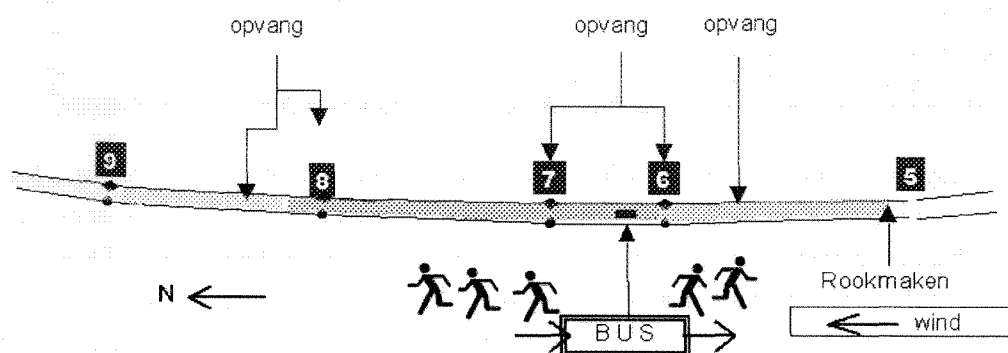


Fig. 18 Een rookproef in de tunnel. Zo'n 33 deelnemers zijn per bus binnengebracht en gaan tussen de deuren 6 en 7 de rijbaan op om zich in veiligheid te brengen. Ruim 100 meter verderop staan rookmachines. Deelnemers worden opgevangen bij de deuren 6, 7 en 8 en op de rijbaan 25 m na de deur 8 of 25 m na deur 6 (deuren 5 t/m 9 hebben geluidsbakens).

Rook en rookmaskers

Ter hoogte van deur 5 stonden op de rijbaan drie rookgeneratoren, merk Vesuvius. Ze produceerden witte rook (zie Fig. 19). De rook is "in mindere mate schadelijk voor de gezondheid" waarbij de schadelijkheid afhangt van de dosis. De deelnemers droegen daarom stofmaskers.

De rook maakte de tunnel minder licht. Waar eerst direct onder de lampen 90–110 lux werd gemeten was de waarde nu 60–80 lux. De verlichting van de rijbaan vlak voor de deuren 6 en 7 liep van 17–37 lux terug naar 13–28 lux. De verlichting van de wand rond deze deuren liep van 90–105 lux terug naar 70–80 lux. Voor het menselijk oog is deze verduistering gering.

Bewaking

De tunnel werd bij aanvang van de proef afgezet met kettingen over de rijbaan 25 m na deur 8 (tussen 8 en 9) en 25 m na deur 6 (tussen 6 en 5, zie ook Fig. 18). Bij de kettingen noteerden proefleiders aankomsttijden en eventuele bijzonderheden. Andere proefleiders stonden bij de deuren 6, 7 en 8. Een warmtebeeldcamera bestreek een gebied vanaf de middenstreep tot de wand bij deur 7. De beelden werden op video opgenomen.



Fig. 19 De tunnel wordt, vanaf de Zuidzijde, met rook gevuld.

Procedure

Bij aankomst kregen de deelnemers de schriftelijke instructie die ze in de auto konden doornemen. Daarna gingen ze in de bus zitten. Een proefleider van TNO legde de instructie nogmaals uit en beantwoordde eventuele vragen. Ook werd de uitstapprocedure doorgenomen. Bij de laatste twee groepen omschreef de proefleider de geluidsbakens als “wegwijzers”. Ondertussen reed de bus via de C-buis naar de Noordoever en vandaar stapvoets de met rook gevulde D-buis in²³, een rit van ongeveer 15 minuten.

Op locatie aangekomen, 35 m na deur 7 en 15 m voor deur 6²⁴, werden de deelnemers met intervallen van 40 s op straat gezet. De ramen van de bus waren afgeplakt om visueel contact tussen deelnemers binnen en buiten te voorkomen²⁵. Voor het uitstappen zette de betrokken deelnemer het stofmasker op en kreeg hij of zij een volgnummer. Deelnemers werden opgevangen bij de vluchtdeuren (en wachtten dan in het middenkanaal) en de kettingen na de deuren 6 en 8 (en wachtten dan achter de ketting). De proefleiders noteerden aankomsttijd en volgnummer. Enkele minuten na vertrek van de laatste deelnemer werd “einde proef” omgeroepen en werden de deelnemers teruggeleid naar de bus die hen weer naar de parkeerplaats bracht.

²³ Bij deze proeven werd Noord-Zuid gereden met de bedoeling dat de deelnemers de vluchtdeuren aan de linkerhand hadden.

²⁴ De stoplocatie was gemarkeerd met vier z.g. andreasstrips, duidelijk voelbaar voor de bestuurder van de bus.

²⁵ Geconstateerd werd dat de deelnemers in de bus informatie uitwisselden; zo werden bij de proeven met weinig instructie de kretten opgevangen “nooduitgangen langs de wand”, “tunnel uitlopen om in veiligheid te komen”. Dit zal in werkelijkheid ook zo (kunnen) gaan.

6.2 Resultaten

De tunnelervaring van de deelnemers was als volgt:

- Een derde van de deelnemers (32%) gebruikte de tunnel dagelijks of vaker.
- Een derde deel (34%) gebruikte de tunnel 2–4 keren per week.
- 12% procent gebruikte de tunnel ongeveer eens per week.
- Een vijfde, 22%, gebruikte de tunnel nog weer minder vaak.

Bij de enquête waren die cijfers resp. 53%, 30%, 12% en 5%. Daarmee vergeleken hebben de huidige deelnemers minder tunnelervaring²⁶.

Op de warmtebeeldcamera bij deur 7 werden in totaal 26 deelnemers gezien; de meesten gaande langs de wand (Figuur 20a). Ze liepen voorzichtig en aarzelend, soms met de arm uitgestrekt om niet tegen obstakels aan te lopen²⁷. Strategieën waren met de hand langs de wand tasten, of naar beneden kijken naar de wegbelijning. De meesten liepen in een rechte lijn, langs de wand of over de belijning. Eenmaal werden drie deelnemers gezien die, ondanks de instructie, als groep liepen. Tweemaal werden deelnemers gezien die bij de deur contact legden. (Het eerste tweetal liep verder langs de wand; het andere tweetal ging door de deur.)

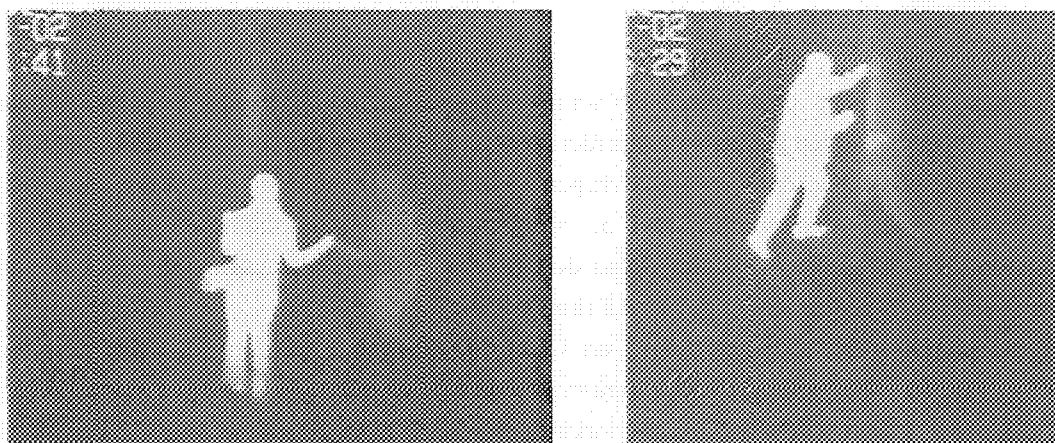


Fig. 20 Links (a): tastend langs de wand en rechts (b): door de vluchtdeur. Warmtebeelden van evacuatie in rook; de tegelwand weerspiegelt.

Op de camera waren soms deelnemers zichtbaar die over de middenstreep liepen; over de drie proeven: 0, 8, en 2 deelnemers. (Deze “middenstrepers” werden dus alleen gezien in de proeven met instructie.) Bij de proef met slechts instructie over de geluidsbakens gingen 5 van de 8 middenstrepers rechtdoor zonder zich iets aan te trekken van het baken op deur 7. Een andere stopte even, liep toen weer door. De overige twee kwamen wel op deur 7 af maar gingen uiteindelijk verder langs de wand zonder de deur te gebruiken. Eén van hen luisterde nog even met de hand aan het oor. Bij de proef met volledig instructie werden slechts twee middenstrepers gezien. Beiden gingen door deur 7 het middenkanaal in. Middenstrepers die zich niets van het baken aantrokken werden in deze proef niet gezien.

De warmtebeeldcamera liet bij de proef met instructie over geluidsbakens oriëntatiegedrag zien. Reeds gemeld werd de deelnemer met de hand aan het oor. Hij keek ook nog eens omhoog,

²⁶ Statistische test: $\chi^2(3) = 15.57, p < 0.002$.

²⁷ Achteraf bleken twee deelnemers last te hebben gehad van langs de Westelijke wand geplaatste luidsprekerboxen.

evenals twee andere deelnemers aan dezelfde proef. Omhoog kijken werd ook tweemaal gezien in de proef met volledig instructie. De laatste deelnemer aan deze proef ging in het deurkozijn staan, keek terug, deed het masker op en af, en opende na verloop van tijd de deur. Dergelijk oriëntatiegedrag werd niet gezien in de proef zonder instructie.

Waar de verschillende deelnemers uitkwamen staat in Tabel 10. In de eerste proef, zonder instructie over bakens of deuren, eindigden meer deelnemers bij de kettingen op de rijbaan dan bij de vluchtdeuren: 27 versus 5 (84%–16%). De tweede proef, alleen over de bakens instructie, had een bijna eender resultaat: 26 deelnemers bij de kettingen op de rijbaan; 7 bij de vluchtdeuren (79%–21%). De derde proef, volledige instructie over bakens en vluchtdeuren, had een omgekeerd resultaat: slechts 10 deelnemers bij de kettingen op de rijbaan en 22 bij de vluchtdeuren (31%–69%)²⁸, precies andersom dan bij de andere proeven.

Tabel 10 Opgevangen aantallen deelnemers bij de verschillende locaties met, over de rijen, de drie soorten instructies (totaal aantal deelnemers tussen haakjes).

soort instructie	Noord ↔ Zuid					
	ketting na 8	deur 8	deur 7	bus	deur 6	ketting na 6
geen (32)	14	0	4	→	1	13
bakens (33)	15	1	2	(rijrichting)	4	11
bakens + D (33)	4	0	7	→	15	6
som	33	1	13		20	30

De deelnemers die bij deur 8 of bij de ketting na deur 8 uitkwamen zijn allen langs deur 7 gekomen. Via de warmtebeeldcamera is bekend hoeveel deelnemers ter hoogte van deur 7 op de middenstreep liepen en hoeveel deelnemers langs de wand met de deuren liepen (de vanaf Noord gekomen deelnemers zullen dit als links ervaren). De combinatie van deze twee gegevens maakt duidelijk hoeveel deelnemers ter hoogte van deur 7 langs de tegenoverliggende rechterwand liepen. Tabel 11 geeft een samenvatting²⁹.

Tabel 11 Aantal deelnemers dat ter hoogte van deur 7 langs de wand met de vluchtdeuren ging, over de middenstreep, of langs de rechterwand.

soort instructie	linkerwand (deuren)	middenstreep	rechterwand
geen (20)	6	0	12
bakens (18)	6	5	7
bakens + D (11)	6	1	4
som	18	6	23

Bij de eerste twee proeven liepen 36 deelnemers naar het Noorden en 29 naar het Zuiden (55%–45%); het linkerdeel van Tabel 10 is Noord, het rechterdeel Zuid). Bij de proef met volledige instructie liepen 11 deelnemers naar het Noorden en de meesten naar het Zuiden (21, ofwel 66%)³⁰. Met volledige instructie oriënteerden deelnemers zich op het dichtstbijzijnde baken, deur 6, en kozen dus een Zuidelijke richting.

²⁸ Binomiaaltoetsing geeft bij ieder van de 3 instructies een significant verschil ($p < 0.001$). Bij de laatste proef met volledige instructie lag het verschil andersom.

²⁹ Statistisch testen van de resultaten leverde geen significante verschillen op; zo was de verdeling over linker- en rechterwand voor de drie proeven ongeveer gelijk ($\chi^2(2) = 1.90$; $p > 0.25$).

³⁰ $\chi^2(2) = 3.81$, $p < 0.15$. Strict genomen is eenzijdige toetsing toegestaan ($p < 0.08$) aangezien de hypothese is dat het dichtstbijzijnde baken de deelnemers aanlokt.

Tabel 12 Loopsnelheden *in dichte rook* naar de verschillende locaties en onder verschillende instructies.

soort instructie	Noord ↔ Zuid afstand vanaf uitstappunt					
	ketting na 8 -160 m	deur 8 -135 m	deur 7 -39 m	bus	deur 6 15 m	ketting na 6 40 m
geen (32)	0.90 m/s	–	0.45 m/s	→	0.56 m/s	0.63 m/s
bakens (33)	0.76 m/s	0.38 m/s	0.46 m/s	(rijrichting)	0.37 m/s	0.38 m/s
bakens + D (33)	0.87 m/s	–	0.32 m/s	→	0.45 m/s	0.27 m/s
gemiddelde	0.83 m/s	–	0.38 m/s		0.44 m/s	0.42 m/s

De loopsnelheden van de deelnemers staan in Tabel 12, geschat op basis van de tijd en de afstand tot het uitstappunt, ongeacht eventuele omwegen of stilstaan. De loopsnelheid in dichte rook lag in het algemeen laag, 0.58 m/s (2.1 km/h). Lopen naar het verste punt, de ketting na deur 8, ging 2× zo snel als lopen naar een ander opvangpunt; waarschijnlijk omdat deelnemers de pas versnellen als ze langer door de rook lopen en daaraan meer gewend raken. Verschil in loopsnelheid als functie van de instructie werd niet geconstateerd; bij volledige informatie liepen de deelnemers net zo langzaam als hun minder geïnformeerde collega's.

Interviewinformatie (laatste 2 proeven)

Bij de proef met alleen instructie over de bakens hadden 2 deelnemers (6%) kritiek op het geluid van de bakens; bij de proef met volledige instructie waren dat er 5 (15%). De opmerkingen waren “raar geluid” (meerdere keren), “gesis”, “stoom”, “machines”, “leek niet op een baken”, “onveilig”, “vind het niets”.

Bij de proef met alleen instructie over de bakens dacht één deelnemer dat ze *langs* de bakens moest lopen. Een ander wist niet dat er vluchtdeuren waren.

6.3 Discussie

Het liep niet prettig in rook. Men ging langzaam voorwaarts en een enkeling durfde helemaal niet. De wanden of de middenstreep volgen waren strategieën. Vluchtdeuren werden snel gemist, bijvoorbeeld omdat men aan de verkeerde kant liep, maar ook omdat ze niet goed gemarkeerd waren. Rook onttrok het bordje hoog boven de deur aan het zicht en, zoals gezegd bij eerdere studies, op de deur staan alleen technische aanduidingen.

De geluidsbakens hielpen om de vluchtdeuren beter te markeren en gaven een forse verbetering van de evacuatie. Noodzakelijk was dat mensen wisten *dat er geluidsbakens boven de vluchtdeuren waren*. Alleen kennis van de geluidsbakens bracht namelijk geen verbetering. Dat dit niet louter het gevolg is van kennis over de *vluchtdeuren* blijkt uit de verandering in loopgedrag. Zonder de instructie *geluidsbakens boven de vluchtdeuren* liepen de meesten terug waar ze vandaan waren kwamen, dus terug naar de veiligheid en weg van de “brand”. Met de instructie *geluidsbakens boven de vluchtdeuren* liepen de meesten juist in de richting van de brand omdat daar het dichtstbijzijnde baken was.

Te veel optimisme over de geluidsbakens is misplaatst. Met de juiste instructie miste namelijk nog altijd een derde van de deelnemers de vluchtdeur. Geluidsbakens zijn een goed concept, maar het geluid moet (en kan) beter. Ten eerste zijn de huidige bakens bedoeld voor gebouwen

en scheepsinterieurs en die hebben een heel andere akoestiek dan een tunnel. Het richtinghoren was daardoor niet optimaal (zie Bijlage B bij dit rapport). Ten tweede was het geluid van de bakens teveel een "machinegeluid". Het stootte mensen af. Volgens Sound Alert is dit type geluid noodzakelijk om de richting over te brengen. Er zijn echter technieken om met behoud van de richtingsinformatie een aantrekkelijker geluid aan te bieden.

In dichte rook lopen mensen aanzienlijk langzamer dan normaal. Bij gebouwen gaat men ervan uit dat mensen, eventueel hun adem inhoudend, binnen 30 seconden een rookvrije ruimte moeten kunnen bereiken. Daarbij wordt een loopsnelheid van 1 m/s aangenomen (3.6 km/h, ruim beneden wandelsnelheid—zie *Brandbeveiligingsconcept gebouwen met een publieksfunctie*, 1995).

7 ALGEMENE DISCUSSIE

De huidige studies laten groot verschil zien tussen wat weggebruikers *denken te doen* en hun *actuele gedrag* als ze eenmaal in een tunnel staan. Wat ze zeggen in de enquête (Studie 1) is bij voorkeur over de rijbaan evacueren (60%). Is men eenmaal in de tunnel (overige studies) dan blijkt niets van die voorkeur in het gedrag—driekwart van de individuele deelnemers en 100% van de groepsdeelnemers evacueerde via een vluchtdeur. Blijkbaar zijn de vluchtdeuren toch redelijk duidelijk aanwezig.

Studie 3 laat zien hoe bepalend groepsgedrag was. Het geïsoleerde individu van Studie 2 evacueerde nog wel eens over de rijbaan. Bij de groepen van Studie 3 deed niemand dat, omdat ze het voorbeeld van anderen volgden. Ook hieruit blijkt dat de vluchtdeuren redelijk duidelijk aanwezig zijn; wie niet zelf de vluchtdeur ziet, doet dat wel als hij er een ander erdoorheen ziet gaan. Een gelijksoortig resultaat werd gezien bij een Europees project over evacuatie van passagiersschepen (Boer & Vredevelt, 1999a, b); individuen misten veel vaker een deur dan groepen.

Dichte rook, Studie 4, bemoeilijkte het lopen en de oriëntatie en haalde bovendien het groepsgedrag onderuit—men zag niet meer wat anderen deden. Het gevolg was een slecht evacuatiegedrag. Uit deze studie kwam naar voren dat geluidsbakens de veiligheid verhogen. Tegelijk werd geconstateerd dat de geluidsbakens beter kunnen.

Het gedrag van mensen in de huidige proeven mag representatief geacht worden voor het gedrag bij een werkelijke ramp die langzaam escaleert. De hier geobserveerde gedragingen van weggebruikers laten een aantal zwakke punten zien ten nadele van de daadwerkelijke vluchtcapaciteit. Modelleren van de nieuw benodigde vluchtcapaciteit is natuurlijk mogelijk, rekening houdend met passiviteit, trage reacties, e.d., maar beter kan men ertoe overgaan de zwaktes te verhelpen, conform het doel van het hele project: *betere afstemming van de evacuatievoorzieningen op het menselijk gedrag*.

De zwakke punten in het gedrag kunnen verholpen worden door betere informatie aan te reiken tijdens een ramp in een tunnel:

- Met duidelijke omroepberichten om de passiviteit van de weggebruiker te doorbreken.
- Met betere markering (zowel visueel als auditief) om trefzeker naar de vluchtdeuren te gaan.
- Met duidelijke aanwijzingen in het vluchtkanaal om door te lopen tot buiten de tunnel (niet kijken hoe het gaat of hangen rond de vluchtdeuren).

De zwakke punten kunnen ook verholpen worden door de weggebruiker te leren hoe te handelen bij een ramp in een tunnel. Kennis van de evacuatievoorzieningen is daar onderdeel van. Dergelijke lessen kunnen bijvoorbeeld tijdens de rijopleiding gegeven worden of in algemene publiekscampagnes.

De verbeterpunten worden hieronder samengevat in conclusies en aanbevelingen.

8 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In het nu volgende worden de conclusies en aanbevelingen samengevat met links de conclusies en rechts de bijbehorende aanbeveling. De behandeling is in volgorde van het proces van evacuatie. Dus eerst het verlaten van de auto, daarna het vinden van de vluchtdeur, en dan het vluchtkanaal. Het rapport sluit af met opmerkingen over het evacuatiebeleid.

Op verzoek van het Steunpunt Tunnelveiligheid zal later een separaat rapport verschijnen met louter aanbevelingen maar dan verder uitgewerkt dan hier, en gebaseerd op ander relevant onderzoek zoals het reeds genoemde op de scheepvaart gerichte project MEPdesign. De werktitel van dat rapport is “Opvallendheid Vluchtwegaanduidingen Tunnels” (Boer e.a., 2002).

Conclusie	Aanbeveling
<p>1a. Passiviteit. Grote vertraging werd geconstateerd; weggebruikers bleven passief achter een “brandende” vrachtauto staan. Men wachtte maar af en kwam de auto niet uit. (Dit hardnekkige in de auto blijven zitten en negeren van tekenen van gevaar is ook bekend uit echte rampen.)</p> <p>De passiviteit van de weggebruiker bleek doorbroken te kunnen worden met het goede voorbeeld van anderen en met een duidelijk omroepbericht. Het voorbeeld van andere weggebruikers die door een vluchtdeur gingen deed de rest volgen. Het simpele, zij het kunstmatige, bericht “explosiegevaar” na 5–6 minuten omgeroepen met de primitieve geluidsinstallatie van de huidige proeven was al bijna voldoende. Bijna, want in één proef reageerde de in rook gehulde kop van de file niet. Een tweede omroepbericht was daar nodig: “wilt u</p>	<p>Passiviteit. De passiviteit van de weggebruikers is te doorbreken, ten eerste met meer kennis van zaken, ten tweede met omroepberichten.</p> <p>Weggebruikers moeten weten dat ze meteen en zonder aarzelen naar de vluchtdeuren moeten gaan bij een levensbedreigend incident in een tunnel. Deze kennis kan deel uitmaken van de rijopleiding en met folders en publiekscampagnes onder de aandacht gebracht worden. Groepsgedrag helpt hierbij; als 10% van de weggebruikers het goede voorbeeld geeft, komt de rest wel mee. Wel moet goed nagedacht worden over de trigger waarop weggebruikers moeten reageren; wat dat “levensbedreigende incident” dan wel precies is. Een ongeval, een geblokkeerde rijbaan en een file zijn niet genoeg; er moet brand zijn of een ander teken van escalatie. Voor weggebruikers achteraan de file is het signaal misschien alleen het vlucht-</p>

Conclusie	Aanbeveling
de tunnel verlaten”.	gedrag van mensen vooraan of een omroepbericht van de tunneloperator. De keerzijde van weggebruikers die alert zijn op verdachte situaties in tunnels is dat weggebruikers soms te snel op de vluchtdeuren zullen afvliegen (zie ook evacuatiefilosofie, één na laatste punt). Een tweede mogelijkheid om de passiviteit van de weggebruikers te doorbreken is sturing door de tunneloperator. Daarvoor is wel een “bediende” tunnel met luidsprekerinstallatie nodig. Het omroepbericht “wilt u de tunnel verlaten” wordt aanbevolen; weggebruikers zullen daar meteen op reageren. Dit bericht moet l a n g z a a m en duidelijk omgeroepen worden, en met een goede spraakverstaanbaarheid, ook bij lawaai van geluidsbronnen zoals ventilatoren. De vraag is hier wat de trigger voor de operator moet zijn om tot evacuatie te besluiten. Gevolg van het vorige is dat de operator opgeleid moet zijn voor deze taak (zie ook evacuatiefilosofie, laatste punt).
1b. Passiviteit. Bij één van de 7 proeven moesten deelnemers persoonlijk gemaand worden tot uitstappen. Deze personen stonden in de rook, zagen dus niet het voorbeeld van anderen <i>en hadden de CD aan</i> . Een autoradio zou hetzelfde probleem geven.	Passiviteit. Onderwijs aan en opvoeding van de weggebruikers kan (ook) inhouden “waarschuw zo nodig de automobilist voor en achter u”. Een technische oplossing is dat de operator kan inbreken op de autoradio.
1c. Passiviteit. Enkele keren kwam de evacuatie achteraan de file trager op gang dan vooraan. Een rol speelde de omroepinstallatie die achteraan niet te horen was. Normaliter beschikt de operator over een betere installatie waarbij hij de weggebruikers in 2 tot 3 tunnelsecties toespreekt. De berichten moeten dan wel per sectie herhaald worden.	Passiviteit. Onderzocht worde in hoeverre het twee- of driemaal herhalen van omroepberichten met het bijbehorende schakelen moeizaam is voor de operator en kans op fouten geeft, en hoe de eventuele problemen verholpen kunnen worden.
2. Langs de ramp vluchten gebeurde slechts per auto. In de praktijk handig voor wie vooraan staat, vlak bij de ramp, maar niet geheel vrij van risico vanwege de ventilatie die de rook in de rijrichting afvoert. Men rijdt dan vóór de rook uit hetgeen kan mislukken door filevorming verderop of door explosieve brand. Eenmaal te voet vluchtte men niet meer langs de ramp. De leidende motivatie was: weg van het gevaar, en dat betekende teruglopen. In de huidige proeven deden alle deelnemers dat en liep niemand verder langs de rokende vrachtauto ³¹ .	Langs de ramp vluchten. Geen aanbevelingen.

³¹ Alleen toen er geen (rokende) vrachtauto was en de deelnemers zich de rook (en de vrachtauto) maar moesten inbeelden liepen enkelen erlangs.

Conclusie	Aanbeveling
<p>3. Evacueren over de rijbaan. Ook al zeiden de mensen in een enquête dat ze over de rijbaan zouden evacueren gebeurde dat amper toen ze werkelijk in de tunnel waren, en dan nog slechts als ze alleen waren of wanneer rook het zicht wegnam. Bij goed zicht en met het goede voorbeeld van anderen nam iedereen de vluchtdeuren. Evacuatie <i>per auto</i> werd alleen gezien toen één van de rijstroken geheel vrij was. Wanneer rook het zicht wegnam zag men de vluchtdeuren niet en bleven de meesten, stapvoets, de rijbaan volgen (zie punt 5c, de vluchtdeur bij rook).</p>	<p>Evacueren over de rijbaan. Alleen bij rook zijn aanbevelingen nodig—zie punt 5c (bijv. geluidsbakens om mensen naar de deur te leiden).</p>
<p>4. De telefoon naar de operator werd door één van de vijf deelnemers gebruikt. Gezien het grote aantal evacués kan dat een probleem zijn bij massale evacuatie, evenals mobiel bellen naar het alarmnummer 112. Het gevolg kan namelijk overbelasting van het alarmnummer zijn, vertraging van de evacuatie, extra werk voor de tunneloperator, en een “verstopt” communicatiekanaal.</p>	<p>Telefoon. Om nodeloos bellen te vermijden moet de operator omroepen “<i>er is alarm geslagen, wilt u niet meer bellen</i>”. Deze mededeling stelt weggebruikers gerust omdat duidelijk is dat het bevoegde gezag het probleem onderkend heeft. Indien de operator in overleg wil treden met weggebruikers vlak bij de ramp, dan kan dat door via de toespreekinstallatie de desbetreffende weggebruikers vragen om contact op te nemen met de wandtelefoon; het communicatiekanaal is beschikbaar. De operator moet opgeleid zijn om deze taak te vervullen (zie ook evacuatiefilosofie, laatste punt).</p>
<p>5a. Vinden van de vluchtdeur. Het bordje boven de deur was klein, erg hoog geplaatst (ruim 1½ m hoger dan het bovenkozijn), en inhoudelijk zwak. Op de deur zelf stonden, enorm dominant, louter technische aanduidingen zoals 2D of 7C. Toch hadden evacuerende groepen geen enkel probleem om de deuren te vinden. Of het nu uit nieuwsgierigheid was, vanwege de wens een obstakel tussen zichzelf en het gevaar te krijgen, of omdat men het wist—altijd waren er mensen die door de deuren gingen en met hun voorbeeld de rest meetrokken. Anders werd het als mensen alleen waren of in rook. De slechte markering van de deuren wreekte zich dan doordat lang niet iedereen de deur vond.</p>	<p>Vinden van de vluchtdeur. Betere markering van de deur ontstaat met “lage” plaatsing van het bord boven de deur (niet ruim 1½ m hoger dan het bovenkozijn). Inhoudelijk wordt het bord beter met alleen het mannetje (en niet meer een pijl en een “deur”). Op de deur zelf wordt aanbevolen het mannetje te herhalen vluchtend in de richting van de deurkruk. En tenslotte is een dwarse pijl op de grond voor de deur effectief (MEPdesign). Daarnaast wordt aanbevolen geen technische aanduidingen op de deur te plaatsen. Mocht dat voor de hulpverleners noodzakelijk zijn, dan moeten deze aanduidingen veel minder dominant zijn (kleiner, en bijv. met minder contrast, helemaal bovenaan of helemaal onderaan de deur).</p>
<p>5b. Capaciteit vluchtdeur. Beperkend voor de capaciteit was de opstap voor de vluchtdeur. De geobserveerde doorstroomsnelheid van 0.69 persoon per seconde was bijna voldoende om de stroom weggebruikers aan te kunnen; vertraging ontstond slechts eenmaal.</p>	<p>Capaciteit vluchtdeur. Bij tunnels met een opstap voor de vluchtdeur wordt capaciteitsbepaling aanbevolen op basis van (a) proefondervindelijk onderzoek, en tellingen van (b) dichtheid van de gemiddelde file en (c) aantal passagiers per voertuig. Ook wordt onderzoek aanbevolen om het gedrag na te gaan bij opstopping bij een vluchtdeur.</p>

Conclusie	Aanbeveling
<p>5c. De vluchtdeur bij rook. Bij rook zochten mensen (tastend) hun weg langs de wand van de tunnel en eventueel over de middenstreep. Alleen zij die langs de "goede" wand liepen hadden kans de vluchtdeur te vinden. Geluidsignalen uitgezonden boven de vluchtdeuren hielpen een stuk maar weggebruikers moesten dan wel weten dat er geluidsbakens waren en dat die boven de vluchtdeuren zaten. En zelfs toen miste nog altijd een derde van de deelnemers de deur. Oorzaken zijn dat de gebruikte bakens geen rekening houden met de tunnelakoestiek en dat ze met hun "machinegeluid" evacués afstoten.</p>	<p>De vluchtdeur bij rook. De bij 5a aanbevolen markering helpt ook bij weinig zicht, maar alleen als weggebruikers vlakbij de deur staan. Afstandsbordjes op de "goede" wand kunnen mensen helpen die onderweg zijn. Om weggebruikers die langs de verkeerde wand onderweg zijn te helpen worden bordjes aanbevolen "vluchtdeur aan overkant".</p> <p>De "Mont Blancoplossing" van een groene band langs de goede wand heeft als zwakte de betekenis van de groene band en van het <i>ontbreken</i> van de groene band. Om die betekenis duidelijk te maken zijn waarschijnlijk extra maatregelen nodig, bijvoorbeeld publiekscampagnes.</p> <p>Auditieve markering van de vluchtdeuren wordt aanbevolen. Verbetering van de auditieve markering is dan wel nodig opdat 100% (en niet 70%) de deuren vindt. Deze verbetering is te bereiken met (a) een betere gerichtheid van het geluid afgestemd op de typische akoestiek van de tunnel en (b) een geluid dat zo goed gekozen is dat een publiekscampagnes overbodig is.</p>
<p>6. Openen van de huidige schuifdeur ging zonder problemen, ja riep zelfs complimenten op. Ook de kracht om de deur te openen was moeiteloos op te brengen. Een ergonomisch goed ontwerp!³²</p>	<p>Openen van de huidige schuifdeur. Geen aanbevelingen.</p>
<p>7. En de auto? De auto is een bergplaats en een dierbaar bezit. Mensen gingen daarom soms terug naar de auto; <i>property binding</i>. Dit vertraagde de evacuatie omdat mensen tegen de stroom in gingen.</p> <p>Een oorzaak was onduidelijkheid hoe men de auto moest achterlaten: verlichting of alarmlichten aan, auto afsluiten (diefstal), enz.</p>	<p>En de auto? Om te zorgen dat weggebruikers hun auto vlot achterlaten en geen tijd verspillen met treuzelen en teruglopen moet bepaald worden op welke manier de auto achtergelaten wordt: verlichting of alarmlichten aan, motor uit, auto afsluiten, enz.</p> <p>Waarschijnlijk hangt dat mede af van de manier van hulpverlening. Het Duitse concept is dat auto's bij filevorming zijwaarts uitwijken om hulpverleners vrije toegang middendoor te geven. Een Nederlands concept is dat hulpverleners met een overstap door het vluchtkanaal vanuit de andere verkeersbuis binnenkomen. Beleidsmatige vastlegging van deze en andere zaken wordt aanbevolen. Daarna moeten ze ter kennis van de weggebruiker gebracht worden.</p>
<p>8. Vluchtkanaal. Weggebruikers waren onzeker wat ze in het vluchtkanaal moesten doen. Is het vluchtkanaal een verblijfplaats of</p>	<p>Vluchtkanaal. Na instappen in het vluchtkanaal moeten de pijlen meteen opvallen en moeten de borden vooral frequenter geplaatst</p>

³² Een kracht van 8 kg was nodig om de deur in beweging te krijgen; een kracht van 5 kg om de deur in beweging te houden; en een kracht van 8 kg om een dichtvallende deur weer open te krijgen. Dit ontwerp werd ook gezien in de Wijkertunnel. De Noordtunnel en de Drechtunnel hebben scharnierdeuren met een standaarddeurkruk.

Conclusie	Aanbeveling
<p>een doorgangsroute?</p> <p>De bewegwijzering in het vluchtkanaal bracht geen duidelijkheid. Een standaardbordje direct bij de deur van binnenkomst wees de goede kant uit maar; velen zagen het bordje niet en als ze het bordje wel zagen liep nog altijd een kwart liever weg van het gevaar al was dat tegen de pijl in. Verderop in het vluchtkanaal ontbrak elke aanduiding, zie Figuur 21 (pas 100m verderop—bij de volgende vluchtdeur—weer een bordje).</p> <p>Het gevolg van deze onduidelijkheid was dat de weggebruiker, uit nieuwsgierigheid, het vluchtkanaal weer verliet en in de deuropening ging hangen. Daar was ook wel aanleiding toe. In het vluchtkanaal was men van alle informatie verstoken; de tunnelomroep was niet te horen en mobiele telefoons hadden geen bereik. "The first need of a victim of a disaster is information" (Pauls, 1986). De wens naar informatie bracht weggebruikers dus terug naar de rijbaan. Daar kwam bij dat de vluchtdeur een prachtige observatiepost leek. De opstap was een halve meter boven de rijbaan en men had de deur (en dus de veiligheid) binnen handbereik. Dergelijk gedrag leidde tot groepsvorming rond de vluchtdeuren en stagnatie van de evacuatie.</p> <p>De neiging de deur aan de overzijde open te trekken (hier: naar de naburige verkeersbuis) was aanwezig.</p>	<p>worden. Bijvoorbeeld borden met pijlen en afstands-aanduiding aan het plafond (zie Figuur 21). Een extra prikkel om de goede kant uit te lopen ontstaat door de plafondborden aan de achterkant te voorzien van een verbodsbord.</p> <p>Teruglopen naar de rijbaan is te voorkomen door eenzijdig vergrendelen van de vluchtdeur. Instappen van de rijbaan naar het vluchtkanaal kan altijd, uitstappen van het middenkanaal naar de rijbaan alleen als iemand de vergrendeling opheft. De vergrendeling voorkomt ook dat evacués ongecontroleerd doorstromen naar de parallelbuis.</p> <p>Eventueel kan ingespeeld worden op de behoefte aan informatie van de weggebruikers. Onder het motto "the first need of a victim of a disaster is information" kunnen evacués op de hoogte gehouden worden van de ontwikkelingen. De tunneloperator kan periodiek mededelingen doen om de evacués op de hoogte te houden (vergelijk de <i>situation reports</i> van de Koninklijke marine). Daar moet dan wel de nodige "hardware" voor zijn. Op zijn minst moeten, met luidsprekers in het vluchtkanaal, de omroepen in de verkeersbuizen te horen zijn. Daarnaast de "software": de consequenties in termen van opleiding en training van de operators.</p> <p>Gerichte omroepen in het vluchtkanaal kunnen ook bevorderen dat weggebruikers de tunnel uitlopen ("<i>wilt u in de vluchtgang doorlopen</i>") waarbij de looprichting uit de bewegwijzering blijkt. Om mensen een positieve motivatie tot verder lopen te geven zou een opvangpunt ideaal zijn. Helaas heeft slechts een enkele tunnel daar de infrastructuur voor, bijvoorbeeld de Drechtunnel in Dordrecht. De meeste tunnels laten het vluchtkanaal eindigen in de open bak tussen de twee tunnelbuizen.</p>



Fig. 21 Gebrek aan informatie in het vluchtkanaal. De borden aan het plafond en aan de wand waren alleen voor de proeven aangebracht.

9 EVACUATIEBELEID

Er is behoefte het evacuatiebeleid in tunnels voor het wegverkeer op bepaalde punten duidelijker te maken. Het kan zijn dat elementen tegenstrijdig zijn of om voorrang strijden. Het is beter dit van tevoren expliciet te maken dan achteraf (of na een ramp) daarover een discussie te moeten aangaan.

- Evacueren bij het minste geringste, of conservatief evacueren. De operator kan *wilt u de tunnel verlaten* omroepen zodra een file achter een verdacht object tot stilstand komt. Of weggebruikers kunnen gemaand worden bij een verdacht signaal naar de vluchtdeur te vliegen. Op zich een veilige strategie. Wie voor deze strategie kiest moet ook de keerzijde accepteren in de vorm van nodeloze evacuaties. Accepteren betekent dat operators noch weggebruikers ooit berisping of straf krijgen voor nodeloze evacuaties. Men is natuurlijk vrij het beleid te richten op de meer conservatieve strategie van wachten tot het risico duidelijker is en dan pas handelen. Deze strategie vermijdt nodeloze evacuaties maar heeft het risico van te lang wachten. Wie voor deze strategie kiest moet deze keerzijde accepteren.
- Hoe omschakelen naar “mogelijke ramp”. Zoals de voorzieningen thans gebruikt worden is normaliter (a) de vluchtdeur vergrendeld, (b) de verlichting van de vluchtdeuren gedoofd en (c) is het vluchtkanaal donker. Bij een ramp gaan de deuren van de grendel, springt het licht boven de deuren en in het vluchtkanaal aan. Het risico is het verzuimen één of meer van de desbetreffende handelingen. Het is veiliger als de drie genoemde zaken permanent in de rampstand staan, dus de vluchtdeuren altijd ontgrendeld, de vluchtdeuren en het vluchtkanaal

altijd verlicht³³. *Eenzijdige* vergrendeling van de vluchtdeuren, aan de binnenkant, vloekt hier niet mee. Van de verkeerszijde kan men immers altijd het vluchtkanaal betreden.

- Hoe auto achterlaten. Auto aan de kant, lichten aan of doven, alarmlichten actief, auto afsluiten of niet? Nadat beleidskeuzes zijn gemaakt moeten de weggebruikers geïnformeerd worden—aanbeveling 7.
- Einde van de vluchtweg. Tot waar krijgen weggebruikers begeleiding; waar eindigt de vluchtroute, in de open tunnelbak of elders. Zorgt de wegbeheerder voor een opvangruimte? Als de vluchtroute in de open tunnelbak eindigt is er bij onaangenaam weer een risico van opstopping; weggebruikers die in het laatste stuk van het vluchtkanaal schuilen. Veel veiligheidsrisico lijkt hier overigens niet aan te kleven. Wel wordt aanbevolen borden te plaatsen met informatie over het gedrag dat van de evacués verwacht wordt, bijvoorbeeld met borden op de rookmuur tussen de twee buizen. Voorafgaand moet de beleidsmaker zijn standpunt in deze expliciet maken.
- (Computer) modellen van evacuatie zijn optimistisch als ze geen rekening houden met (a) de reactietijd die de weggebruiker nodig heeft, (b) de tijd besteed aan het verzorgd achter laten van de auto, en (c) de aarzeling en fouten die gemaakt worden bij de keuze van de vluchtroute.
- De evacué wordt weer weggebruiker. “*De weg is [wordt] vrijgemaakt—wilt u teruggaan naar uw auto*”. Aan het weer op de weg brengen van de evacués moet aandacht worden besteed, zeker als het aantal (nodeloze) evacuaties toeneemt. Het omroepbericht *wilt u teruggaan naar uw auto* moet te horen zijn in alle ruimtes waar evacués kunnen zijn.
- Kennis weggebruikers. Verschillende van de aanbevelingen hebben gevolgen voor de opleiding en de training van weggebruikers. Het onderwerp *tunnelevacuatie* kan deel uitmaken van het theoretische rijexamen. De aandachtspunten zijn (a) kennis over vluchtdeuren, vluchtkanaal en doorlopen tot buiten, (b) kennis over bij rook de wand volgen, bordjes langs de wand en geluidsbakens boven de deuren, (c) bij onraad direct uitstappen, (d) de auto zo-en-zo achterlaten, (d) zo nodig automobilisten voor en achter u waarschuwen, (e) naar de vluchtdeuren en naar buiten gaan.
- Training operators. Verschillende van de aanbevelingen hebben gevolgen voor opleiding en training van de tunneloperators. Zouden die aanbevelingen gestalte krijgen dan is taakverruiming van de operator de consequentie. De operator is niet alleen verkeers(bege)leider, maar leidt en begeleidt ook evacuaties. Hij moet duidelijk en met gezag kunnen optreden en kunnen omgaan met soms geschokte weggebruikers.

³³ Ook voldoende is het als de verlichting van het middenkanaal pas gaat branden bij het openen van een vluchtdeur.

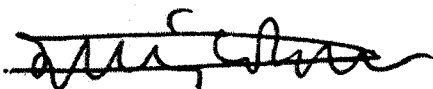
REFERENTIES

- Boer, L.C. e.a. (2003). *Opvallendheid vluchtwegaanduidingen tunnels* (rapport TM 2003-...). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Boer, L.C. (2001a). *Draaiboek inzake het onderzoek "Menselijk Gedrag bij Evacuatie Autotunnels"* (Memo TM 2001-M044). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Boer, L.C. (2001b). *Wayfinding during emergencies*. Oslo: TIEMS 2001 conference, June 19-22.
- Boer, L.C. & Bles, W. (1999). Evacuation from ships: Account for ship motion. In S. Hengst, K. Smit & J. Stoop (Eds.), *Second world congress on safety of transportation: Imbalance between growth and safety?* (pp. 231-236). Delft NL: Delft University Press.
- Boer, L.C. & Steyvers, F.J.J.M. (2001). *Vluchtwegen en vluchtwegaanduidingen Westerscheldetunnel* (Rapport TM-01-C003). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Boer, L.C. & Vredeveltdt, A. (1999a). Wayfinding behaviour and technical guidance systems. *Proceedings of 21st Century Cruise Ship*, London: Royal Institute of Naval Architects, 15-16 April 1999.
- Boer, L.C., & Vredeveltdt, A. (1999b). Trouver son chemin: comportement des passagers et systèmes de guidages. *Revue Navigation*, 47 (188), 428-439.
- Brandbeveiligingsconcept gebouwen met een publieksfunctie (1995). Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken, Directie Brandweer en Rampenbestrijding.
- Canter, D. (1980). Fires and human behavior—an introduction. In D. Canter (Ed.), *Fires and human behavior* (pp. 1-12). New York: Wiley.
- Canter, D., Breaux, J. & Sime, J. (1980). Domestic, multiple occupancy, and hospital fires. In D. Canter (Ed.), *Fires and human behavior* (pp. 117-136). New York: Wiley.
- Canter, D., Donald, I. & Chalk, J. (1993). Pedestrian behaviour during emergencies underground: The psychology of crowd control under life threatening circumstances. *Paper presented at the First International Conference Safety in Road and Rail Tunnels*, Basel, 23-25 November.
- Delft, J.H. van & Schuffel, H. (1995). *Human factors onderzoek voor toekomstige commando-centrales KM* (Rapport TNO-TM 1995 A-19). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Harbst, J. & Madsen, F. (1992). *The behaviour of passengers in a critical situation on board a passenger vessel or ferry*. Copenhagen: Dansk Investeringsfond.
- Krul A.J. & Boer, L.C. (2002). *Bekendheid noodvoorzieningen in autotunnels 2001* (Rapport TM-02-C008). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Netelenbos, T. & Vries, G.M. de (2001). Wetsvoorstel: Brief aan Tweede Kamer. 29 augustus 2001.
- Quarantelli, E.L. (1999). *Disaster related social behavior: Summary of 50 years of research findings*. Newark,, DE: Disaster Research Center.
- Schermer, E.G. (1999). *Simulatie vluchtcapaciteit met building EXODUS: Westerscheldetunnel* (Rapport HB/VC/90256). Utrecht: Railconsult.
- Sime, J. (1980). The concept of 'panic'. In D. Canter (Ed.), *Fires and human behavior* (pp. 63-81). New York: Wiley.
- Withington, D. (2001). Life saving applications of directional sound. In M. Schreckenberg & S.D. Sharma (Eds.), *Pedestrian and evacuation dynamics* (pp. 277-296). Berlin: Springer.

Weitenberg, A.I.M. (2001). *Hulpdiensten in tunnels* (Rapport TM-01-C017). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.

Worm, E.W. (2002). *Inleiding PAO veiligheid ondergrondse infrastructuur 19, 20, 26 en 27 november 2002* (versie 310102). Utrecht: Steunpunt tunnelveiligheid, Bouwdienst, Rijkswaterstaat.

Soesterberg, 24 mei 2002

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'L.C. Boer', written over a horizontal line.

Dr. L.C. Boer
(1e auteur, projectleider)

BIJLAGE A Enquêtevragen Studie 1

De enquête waarmee de onderzoeker werkt (zie Krul & Boer, 2002). Zowel inhoud als volgorde van de vragen ligt vast.

1 *Als u in de tunnel in de file staat en er blijkt een tankauto in brand te staan, wat doet u dan ?*

A1	(proberen te) vluchten	verder bij 2
A2	proberen snel erlangs te komen	verder bij 3
A3	proberen te helpen / te blussen	verder bij 4
A4	wachten op brandweer	verder bij 5
A5	in auto blijven en wachten op aanwijzingen	verder bij 5
A6	groot alarm slaan, 112	en dan? – begin weer bij begin
A7	kijken wat anderen doen	wat verwacht u? – begin weer bij begin
A8	...	naar bevind van zaken

2 *Hoe ?*

B1	snel erlangs gaan	verder bij 3
B2	te voet	verder bij 6
B3	achteruit rijden	verder bij 3
B4	...	naar bevind van zaken

3 *En als dat niet kan ?*

C1	(proberen te) vluchten	verder bij 2
C2	proberen te helpen / te blussen	verder bij 4
C3	wachten op brandweer	verder bij 5
C4	in auto blijven en wachten op aanwijzingen	verder bij 5
C5	...	naar bevind van zaken

4 *Waarmee ?*

D1	eigen apparatuur / brandblusser	verder bij 5
D2	apparatuur uit hulpkast	verder bij 5

5 *En als u om wat voor reden dan ook moet vluchten, wat doet u dan?*

E1	te voet	verder bij 6
E2	...	naar bevind van zaken

6 *Waar gaat u dan heen ? (2 antwoorden nodig)*

F1	terug	G1	via hoofdrijbaan
F2	vooruit	G2	via vluchtdeur

7 *Langs de tunnelwand zijn voorzieningen aangebracht. Weet u welke ?*

H1	nee	verder bij 11
H2	ja	verder bij 8

8 *Noemt u die eens (meer dan één antwoord mogelijk)*

J1	bordjes	indien hulpkasten, telefoons, en/of brandblussers genoemd: verder bij 9, anders bij 10
J2	hulpkasten / telefoons	
J3	brandblussers	
J4	nooddeuren	
J5	lampen	
J6	...	

9 *Weet u aan welke kant de hulpkasten / telefoons / brandblussers zitten ?*

K1	nee	verder bij 10
K2	ja, links	verder bij 10
K3	ja, rechts	verder bij 10
K4	ja, aan beide kanten	verder bij 10

10 *Indien bij 8 nooddeuren genoemd: verder bij 12, anders bij 11*

11 *Bent u er mee bekend dat er in de tunnel vluchtdeuren zijn ?*

L1	nee	verder bij 13
L2	ja	verder bij 12

12 *Weet u aan welke kant de vluchtdeuren zitten ?*

M1	nee	verder bij 13
M2	ja, links	verder bij 13
M3	ja, rechts	verder bij 13
M4	ja, aan beide kanten	verder bij 13

13 *Hoe vaak passeert u deze tunnel ?*

N1	5 of meer dagen / week
N2	2 – 4 dagen / week
N3	1 dag / week
N4	minder dan 1 dag / week

14 *Wat is uw leeftijd ?*

O1	18 – 30
O2	31 – 40
O3	41 – 60
O4	60+

15 *Geslacht*

P1	man
P2	vrouw

BIJLAGE B Evaluation "SoundAlert" Sound Beacons

By S.J. van Wijngaarden, TNO-HF

B.1 Introduction

When smoke takes vision away people may lose their orientation. An innovative solution is sound sources marking the emergency exits, thus providing sound beacons. People hear where to go. Using this philosophy, Sound Alert Technology plc produces sound beacons. The current report evaluates the beacons of Sound Alert used in Study 4.

The following criteria must be met:

- 1 Beacon must be audible in background noise
- 2 Produced sound must summon attention, must be sufficiently salient
- 3 If possible, the sound should attract fleeing people
- 4 The sound must allow adequate localisation.

It should be noted that a tunnel is a difficult environment for sound localisation. This is due to the highly reverberant character of the tunnel, but also because of the presence of distinct (and misleading) reflections. Moreover, air expulsion fans and traffic noise give rise to high background noise levels, which may mask the sound beacons.

B.2 Evaluation set-up

Inside the D-tube of the Benelux tunnel, two sound beacons were mounted above two emergency exits, 54 m apart at a distance of approx. 0.15 m from the wall. The beacons consisted of a signal generator, amplification electronics, and a conventional electrodynamic loudspeaker. Although the loudspeakers were not of a type specifically designed as a horn driver, a high directivity was obtained by embedding it in a horn-shaped case. The main axis of the loudspeakers was in parallel with the tunnel wall. The two loudspeakers pointed towards each other.

The beacons were switched on simultaneously and at separate times; their performance was evaluated with and without background noise due to fans.

B.3 Evaluation methods

Using a B&K 2235 sound level meter, A-weighted sound levels were measured under various conditions. Sounds were recorded by means of a Sony TCD-D100 Digital Audio Tape recorder, on two separate channels. On channel 1, the signal from an omni-directional flat-response electret microphone was recorded. This microphone was held at several locations of interest, to obtain estimates of the overall signal characteristics (mainly level and spectrum). The signal recorded on channel 2 was taken from a miniature electret microphone placed near the ear canal entrance of the evaluator's left ear. This recorded signal can be used to study some of the characteristics that humans use for sound localisation.

B.4 Evaluation results

The sound produced by the beacons is a square-wave modulated noise. The modulation frequency is 5 Hz, the duty cycle is 75%. The sound is perceived as a rapid sequence of noise burst, with sharp onsets. The spectrum of the noise signal depends, among other things, on the

location relative to the loudspeaker and the influence of the tunnel acoustics. The noise spectrum as measured close to the loudspeaker, the 'source' spectrum, roughly approximates pink noise in the 100–16,000 Hz frequency range, but with deviations of over to 15 dB at certain frequencies (a 'dip' around 4 kHz and 'peaks' around 8 kHz and 1 kHz). This means that the spectrum is essentially 'flat' on a logarithmic frequency scale, and slopes down on a linear frequency scale. This spectrum does not match the term 'white noise', with which SoundAlert describes the signal. The term 'white noise' is usually reserved for noise with a flat spectrum on a linear scale.

The A-weighted sound pressure level due to the beacons varied, depending mainly on the measuring location relative to the sound beacons, but was always in the range 78–84 dB(A) for distances up to 25 m from a beacon. The lowest sound levels are, surprisingly, observed relatively close to a beacon but off the main axis of the speaker. At these locations, the sound level is low due to the high directivity of the loudspeaker. Especially directly in front of an exit, the beacon 50-m further away sounds louder, which may lure people away from the exit in front of them.

At locations where both beacons can be heard, the sound is confusing. Some strong reflections are equally loud as the direct sound from the beacons, making it impossible to decide which beacon is closer.

To evaluate the beacons in terms of the criteria put forward in the introduction:

- 1 **Audibility.** During the evaluation measurements, the sound beacons were sufficiently audible above the sound of the fans. Only fans at the tunnel entrance, away from the measurement locations, were operated; A-weighted sound levels of due to the fans were always lower than the levels due to the beacons. Spectral differences between both sounds, and especially the modulated character of the beacon signal, make the beacons stand out from the acoustic background. **N.B.:** in other Dutch tunnels (such as the Schiphol tunnel and the Wijkertunnel) noise levels due to fans over 100 dB(A) are observed. In those cases, audibility problems are likely to occur.
- 2 **Salience.** The modulated character of the sound beacons contributes to the salience of the signal, but the fact that the signal itself consist of noise, makes the signal less prominent than could be achieved by other types of signals (such as complex tones). Similar noise-like sounds may occur during emergencies (such as fans, fires, pressure leaks, etc.). Tonal sounds are not as likely to occur 'spontaneously', and are therefore more salient and easier to summon attention.
- 3 **Attractiveness.** It is recommended to study the attraction value of these and other types of sounds. A first impression is that noise-like sounds will not attract fleeing people.
- 4 **Localisation.** Localisation of the beacons was easy at some but not all locations. The choice for highly directional loudspeakers is unfortunate as it created confusion at locations close to one of the beacons. The choice for noise-like sounds³⁴ is acceptable but other sounds may do as well. For example, complex tones can be localised as well as noise bursts, provided certain conditions are met (such as sufficiently narrow spacing of the harmonics).

In our view, it is not clear that the choice of the noise-burst stimulus is optimal, especially in view of the remarks made above, under items 2 and 3.

³⁴ Apparently, the choice for a noise-like stimulus was based on the fact that all frequencies relevant for sound localisation can be included. Complex tones were not chosen because the spectrum can not be 'filled' as efficiently with isolated spectral peaks. However, from a scientific point of view, complex tones can be localised as well as noise bursts, provided the spacing of the harmonics is sufficiently narrow.

B.5 Preliminary conclusions

- The sound beacon concept is a novel and promising approach that may very well help to enhance tunnel safety.
- The current version of the sound beacons (directional loudspeakers) should not be used in tunnels, due to the confusing effects that result from high directivity and reflections.
- The currently used pulsating noise is probably not optimal for road tunnels.