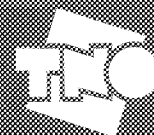


TNO-rapport / TNO report

TM-03-C051

Ontwikkeling en laboratoriumtest van
geluidsbakens voor ontruiming van tunnels

4818-2003-0234



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



TNO-rapport

TM-03-C051

**Ontwikkeling en laboratoriumtest van
geluidsbakens voor ontruiming van tunnels**

TNO Technische Menskunde
Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG SOESTERBERG

www.tno.nl

T 0346 356 211
F 0346 353 977

4818-2003-0234

Datum	28 oktober 2003
Auteur(s)	L.C. Boer, S.J. van Wijngaarden
Exemplaarnummer	
Oplage	15
Aantal pagina's	13
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Steunpunt Tunnelveiligheid, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht
Projectnaam	Geluidsbakens in tunnels
Projectnummer	013.73155

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2003 TNO

INHOUD	Blz.
SAMENVATTING	3
SUMMARY	4
1 INLEIDING	5
2 LABORATORIUMTEST	6
2.1 Geluid	6
2.2 Testmethode	8
2.2.1 Proefpersonen	8
2.2.2 Testfaciliteit	8
2.2.3 Procedure	10
3 RESULTATEN	10
4 CONCLUSIE EN AANBEVELING	11
REFERENTIES	13

Ontwikkeling en laboratoriumtest van geluidsbakens voor ontruiming van tunnels

L.C. Boer, S.J. van Wijngaarden

SAMENVATTING

Vraagstelling: Kun je mensen die in rook verdwaald zijn de goede kant uitsturen met geluid? In eerder onderzoek met (commercieel verkrijgbare) geluidsbakens boven de vluchtdeuren van een tunnel lukte dat slechts bij 20%, "onvoldoende" volgens het Steunpunt Tunnelveiligheid van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat. Met instructie en geluidsdemonstratie vooraf is het resultaat veel beter maar dat is niet reëel bij onverwachte nood in een wegverkeerstunnel. De vraag van het Steunpunt was hoe het op zich veelbelovende concept van geluidsbakens verbeterd kan worden.

Werkwijze: Uitgaande van het principe dat gedesoriënteerde mensen het beste met een directe verbale boodschap te sturen zijn implementeerden we de tekst "exit here" en ontwierpen we vriendelijk klinkende "gongslagen" met karakteristieken waarmee het menselijk oor de richting tot het geluid moeiteloos kan bepalen. Als test van het nieuwe TNO geluid voerden we een grootschalig laboratoriumonderzoek uit, 136 proefpersonen. Mensen moesten "geblinddoekt" op het gehoor de uitweg vinden in een doolhof met nauwe kruisende gangen. De helft (68) kreeg het sissende geluid uit het eerdere onderzoek; de andere helft (68) het nieuwe geluid.

Resultaten: Met het oude geluid maakte 50 tot 60% de juiste routekeuze; met het nieuwe TNO geluid was dat ruim 90%. (Zonder hulp van geluid zou 50% bij toeval de juiste keuze maken.)

Conclusies: Het nieuwe TNO-geluid trekt mensen aan; het oude geluid niet. Verdere verbetering is mogelijk door het geluid afwisselend in het Engels en het Nederlands te laten klinken—een enkele proefpersoon gaf namelijk spontaan te kennen de Engelse tekst niet te volgen. De bakens van de komende tunneltests zullen daarom Engels en Nederlands spreken.

Development and laboratory test of sound beacons for tunnel evacuation

L.C. Boer, S.J. van Wijngaarden

SUMMARY

Purpose: Can people lost in dense smoke be guided by sound? In a previous test with (commercially available) sound beacons over the emergency exits of a tunnel barely 20% found the exits; “unacceptable” according to the Centre for Tunnel Safety of the Civil Engineering Division of the Directorate-General for Public Works and Water Management. Instruction and advance demonstration of the sound enhances the performance greatly, but such demo is not realistic for unexpected emergencies in road tunnels. The question of the Centre for Tunnel Safety was how to improve the concept of sound beacons (which in itself holds high promises).

Methods: Taking the view that disoriented people are served best with a direct verbal message we implemented the English text “exit here” and designed a “dinner bell” sound with features that enable the human ear to determine effortlessly the direction of the sound. A subsequent large-scale laboratory investigation (n=136) tested the new sound. Blindfold people had to find their way out of a laboratory maze with narrow intersecting corridors. Half of them (68) got the hissing sound of the previous test; the others (68) the new bell—“exit here”.

Results: With the old sound 50 to 60% decided on the correct route; this was over 90% with the new sound. (50% would decide correctly without any sound.)

Conclusions: The new sound attracted people; the old sound didn't. Further improvement is probable by speaking Dutch (native language) and English in alternation. Some test participants threw in spontaneously that they failed to understand the current English text. The beacons in a coming tunnel test will therefore speak both Dutch and English.

1 INLEIDING

Rook en brand in een tunnel kunnen levensgevaarlijk zijn voor weggebruikers. Tunnels voor het wegverkeer hebben daarom vluchtwegen opdat automobilisten zich te voet kunnen redden. Desoriëntatie door dichte rook blokkeert deze zelfredzaamheid. Geluidsbakens boven de vluchtdeuren kunnen automobilisten alsnog een kans geven. De bakens werken als lokdoosjes en automobilisten lopen er op het gehoor op af. Dergelijke bakens zijn door de firma Sound Alert ontworpen en getest op gebouwen, schepen en vliegtuigen, meest met 90% positief resultaat (zie Directional sound evacuation, 2001, 2002; Withington, 2000, 2002a, b). Om die reden gaf het Steunpunt Tunnelveiligheid van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat in 2000 TNO de opdracht om deze geluidsbakens in een met rook gevulde tunnel te testen.

Het resultaat stelde teleur. Met de vooraf gegeven instructie "er zijn geluidsbakens boven de vluchtdeuren" vond 70% de uitweg; zonder zo'n nadrukkelijke instructie vond slechts 20% de uitweg (zie Figuur 1, Boer, 2001, 2003; zie ook Boer & Withington, in voorbereiding). Het veel betere resultaat van Sound Alert is toe te schrijven aan de instructie vooraf waar de mensen kennismakten met het "sissende" geluid. In een grootschalig tunnelonderzoek van TNO (in opdracht van het Steunpunt) gaven sommige deelnemers achteraf commentaar op het geluid "stoommachine", "raar geluid". We concludeerden dat het geluid de mensen afschrikte, en dat kennismaking vooraf absoluut nodig was.



Fig. 1 Dichte rook maakt de vluchtdeur onzichtbaar; een geluidsbaken boven de deur moet helpen. Infraroodopname van eerder onderzoek in de Beneluxtunnel.

Op het argument dat automobilisten in de echte noodsituatie die nadrukkelijke kennismaking vooraf ontberen (en dus onvoldoende zelfredzaam zijn) reageert de fabrikant van de huidige bakens dat hun geluid spoedig genoeg breed en zijd bekend zal zijn. Een onzekerheid is echter *wanneer* dat het geval zal zijn; bovendien is onzeker of *iedereen* het geluid zal kennen en of iedereen het geluid ook onthoudt. Veiliger is een geluid te creëren dat zichzelf uitlegt; bijvoorbeeld de gesproken tekst "exit here". De opdracht van het Steunpunt Tunnelveiligheid was "Construeer een aantal verbeterde geluidsbakens en verbeter de geluidsbakens zodanig dat het geluid goed hoorbaar en lokaliseerbaar is in een tunnel bij calamiteiten waarbij het

geluid niet afschrikt en door spraaktoevoeging de effectiviteit wordt verhoogd; test dit door gedragsproeven" (overeenkomst BDD 7423).

Een tweede kenmerk is dat Sound Alert het gesis laat *pulseren*. Met toenemende puls frequentie (5, 7, 10, 12, 15 Hz) wil Sound Alert mensen van punt naar punt leiden. Anders zouden mensen gedesoriënteerd na het oversteken van een open ruimte weer terug kunnen keren naar het vorige baken in plaats van door te lopen naar het volgende. Uitgangspunt van Sound Alert is de natuurlijke neiging die er zou zijn om op het sneller pulserende baken af te gaan. Voor deze veronderstelling vonden wij in de literatuur geen steun; daarom zochten wij een alternatief, namelijk *precedentie*. Precedentie is het verschijnsel dat een geluid dat van verschillende kanten tegelijk komt toch accuraat gelokaliseerd wordt doordat de luisteraar zich (onbewust) richt op de richting van waaruit het geluid het eerste binnenkomt. Als het geluid tegelijk van A en B komt, kunnen we het uit richting A laten klinken door geluidsbron B iets te vertragen. Aldus kunnen mensen van punt naar punt geleid worden.

De hier beschreven test is een laboratoriumtest. Het *principe* van de bakens wordt getest maar over technische robuustheid en onderhoud wordt niet gepraat. Wel is voor de praktijk relevant het uitgangspunt dat de bakens uitgevoerd worden als extra luidsprekers geplaatst direct boven de vluchtdeuren en verschillen van de luidsprekers van de toespreekinstallatie.

2 LABORATORIUMTEST

2.1 Geluid

Voor het nieuw te ontwerpen geluid werd een aantal afwegingscriteria geformuleerd, ten eerste de mate waarin instructie noodzakelijk is om het geluidssignaal te kunnen begrijpen. Het criterium was dat het signaal direct, zonder enige uitleg, begrepen wordt. Met synthetische signalen is dit niet te bereiken. Om deze reden kozen wij voor een gesproken boodschap. Terwille van internationale begripelijkheid werd dat de Engelse tekst "exit here". Het woord "exit" is in Nederland algemeen bekend, en vertaling van "here" door het Nederlandse "hier" lijkt geen probleem.

Het tweede criterium had betrekking op de *lokalisbaarheid* van het geluid; waar het geluid vandaan komt of vandaan lijkt te komen. Sound Alert koos voor ruis (*noise*) maar dat is geen noodzakelijke voorwaarde; ja, biedt zelfs geen wezenlijke voordelen boven andere niet-ruisachtige signalen. Noodzakelijk is slechts dat het signaal voldoende hoge frequenties bevat (zeker tot 16 kHz) terwijl ook de dichtheid van frequentiecomponenten vanaf 500 Hz voldoende hoog moet zijn. Dit biedt ruimte aan een veelheid van signalen, alle goed lokaliseerbaar. We kozen voor een tweetonige gongslag (de "C" groot en de "E" van de toonladder) gevolgd door een tweede daarmee harmoniërende gongslag (de "E" en de "G" van de toonladder). De harmonie van de gongslag bevordert tevens de aantrekkelijkheid van de bakens, Criterium 3.

Het derde criterium was de aantrekkelijkheid van het geluid. Geluidssignalen worden vaak beoordeeld op algemeen geaccepteerde eigenschappen, zoals luidheid, ruwheid, harmonisatie en repetitiviteit. Of signalen onaangenaam of onaantrekkelijk klinken is op grond van deze eigenschappen al redelijk voorspelbaar. Signalen waarvan wordt vermoed dat ze “onaantrekkelijk” klinken werden derhalve vermeden en de keuze viel op een harmonische gongslag. Daarnaast is de tekst “exit here” *inhoudelijk* aantrekkelijk.

Een vierde criterium, moeilijker te objectiveren, betrof de passendheid van het geluid voor de doelsituatie. In elk geval moet verwarring met “natuurlijke” geluidbronnen in de omgeving worden vermeden (zoals brandalarm, motorgeluid en bellen). Ook zijn de door het geluid opgewekte associaties van belang. Gepulseerde ruis roept bij sommigen bijvoorbeeld associaties met pneumatische apparatuur op, niet direct geassocieerd met “veilige uitgang”. Te vrolijk klinkende of frivole geluiden (“videogames”) werden eveneens vermeden.

Een vijfde criterium betrof de invloed van het geluidssignaal op de spraakverstaanbaarheid. Deze moet liefst minimaal zijn. Tijdens een evacuatie moet men in staat blijven onderling te overleggen en moet men in staat zijn de boodschappen van de operator te verstaan zonder overstemming door geluidbakens. Dit criterium is principieel strijdig met de gesproken boodschap. Echter, door het signaal af te wisselen met korte stiltes, wordt een aanzienlijke verbetering van de spraakverstaanbaarheid gerealiseerd; evacués kunnen die stiltes gebruiken. Om de verstaanbaarheid van de operator te verbeteren zouden de bakens uitgeschakeld kunnen worden tijdens een mededeling van de operator.

Een zesde criterium was de geschiktheid van de bakens voor de geluidsomstandigheden in tunnels waarbij o.a. het lawaai van de ventilatoren, oplopend tot 80–90 dB een rol speelt. We kozen daarom het geluidsspectrum van de bakens zodanig dat het zo veel mogelijk verschilt van dat van de ventilatoren. Bij latere technische uitwerking kan overigens gekozen worden voor een systeem dat de luidheid van het baken opvoert naarmate er meer lawaai is in de tunnel.

Het uiteindelijke gekozen geluidssignaal bestond uit een opeenvolging van twee harmonische tooncomplexen met elk twee grondfrequenties (de drieklank C plus E, gevolgd door E plus G). Alle harmonischen van beide grondfrequenties waren in het signaal opgenomen, tot een frequentie van 18 kHz, waarbij de amplitude van de harmonischen in zeer geringe mate afnam met de frequentie (3% per octaaf). Figuur 2 geeft de structuur van het signaal schematisch weer.

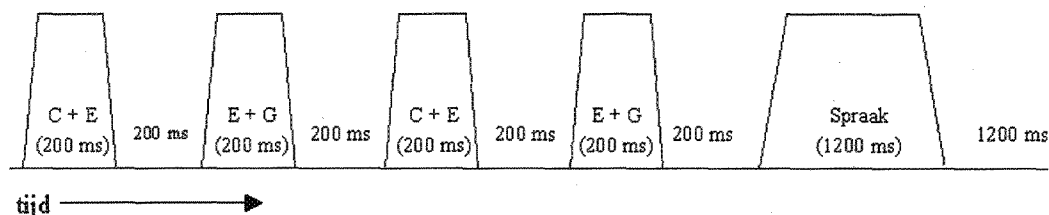


Fig. 2 Amplitude van het geluidssignaal over de tijd (50% stiltes; het patroon wordt elke 4 s herhaald; de letters geven de tonen van de toonladder).

Om de richting tussen opeenvolgende bakens aan te geven, is gebruik gemaakt van het precedentie-effect. Dit effect is een auditieve illusie, die ervoor zorgt dat we geluid dat door meerdere bronnen wordt weergegeven, waarnemen uit de richting van waaruit het ons het eerst bereikt. Als geluid uit twee verschillende geluidbakens ons uit twee richtingen bereikt, bepaalt de "volgorde" waarin het geluid ons bereikt de richting waaruit we het geluid waarnemen. Door bakens dus enigszins ten opzichte van elkaar te vertragen, kunnen we de route langs diverse bakens in de juiste richting laten doorlopen.

Als referentie zijn ook de door Sound Alert gebruikte signalen in de experimenten meegenomen. Op basis van een analyse in het vorige onderzoek (waar de firma de bakens leverde) werden de signalen opnieuw samengesteld uitgaande van witte ruis, blok golf-gemoduleerd, met een frequentie van 5 Hz (eerste baken) of 7,5 Hz (tweede baken) en een duty cycle van 75% (75% van de tijd is er geluid). Sound Alert maakt geen gebruik van het precedentie-effect; de volgorde van de bakens wordt gecodeerd met behulp van de modulatiefrequentie (5 of 7,5 Hz).

In alle gevallen werd het geluidniveau ingesteld op luid, maar niet oncomfortabel (75-80 dBA, de exacte waarde afhankelijk van de afstand tot de bakens). Tijdens de proeven werd tevens op de achtergrond motorgeluid afgespeeld. In alle relevante frequentiebanden was het geluidniveau van de bakens minstens 10 dB luider dan het geluidniveau van de achtergrondgeluiden.

2.2 Testmethode

2.2.1 Proefpersonen

136 deelnemers werden geworven via een modellenbureau onder het motto "beoordelen scheepsinterieur"¹. Pas in de nagebouwde schepshut werd nadere instructie gegeven. Daarbij werd op geen enkele manier op "geluidsbakens" gezinspeeld en na afloop verzochten we de deelnemers om tot de laatste onderzoeksdag geen informatie aan anderen door te geven².

2.2.2 Testfaciliteit

Getest werd in een nagebouwd scheepsinterieur 9.6×7 m met een hut en diverse smalle gangen. Tijdens de proeven stond er "motorgeluid" aan als imitatie van het geluid van ventilatoren in de tunnel. Op gang EF, CA en DF was camerabewaking—zie Figuur 3.

¹ Er waren 139 deelnemers maar 3 personen haakten bij het begin van de test af met fobische klachten.

² 100% zekerheid geeft zo'n verzoek natuurlijk niet. Het onderzoek werd in 8 dagen gedaan.

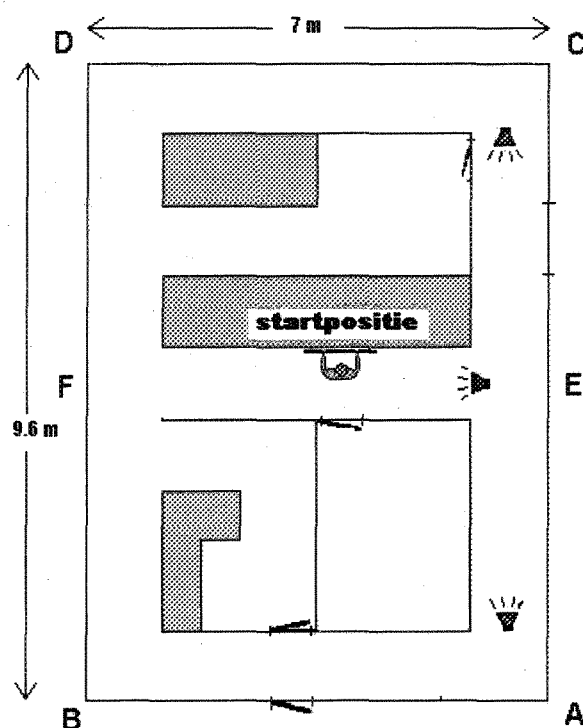


Fig. 3 Testfaciliteit met bakens. (De deelnemer gaat vanaf de startpositie rechtsaf naar het baken bij E; wie linksaf gaat is "af" bij F; bij E lopen deelnemers door naar het baken bij C of bij A. Voor 50% van de deelnemers is route EC ingesteld; voor de rest route EA.)

Geluidsbakens waren aan het plafond aangebracht op de punten A, E en C. De geluidscondities waren: de pulserend sissende bakens van de firma Sound Alert, kortweg "SA geluid"; en de bakens met tekst "exit here" (US tongval) omringd door dubbele gongslag, kortweg "TNO-geluid". De SA en de TNO-geluiden hadden op de T-kruising (punt E) elk weer twee condities: ten eerste, geluid aan de goede kant, stilte aan de andere kant en, ten tweede, aan beide kanten geluid. Bij het SA geluid had in dat geval de goede kant een sneller pulserend baken dan de verkeerde kant. Bij het TNO-geluid had de goede kant *precedentie*; dat wil zeggen dat het geluid van de goede kant een fractie eerder uitgezonden werd dan het geluid van de verkeerde kant.

Tabel 1 Condities geluidsbakens (aan elke conditie deden 17 proefpersonen mee, in totaal 136).

Route	Baken bij E	Baken bij C	Baken bij A
SA-stilte	EC	Gesis, 5 Hz	Gesis, 7.5 Hz
	EA	Gesis, 5 Hz	Gesis, 7.5 Hz
SA-richting	EC	Gesis, 5 Hz	Gesis, 5 Hz
	EA	Gesis, 5 Hz	Gesis, 7.5 Hz
TNO-stilte	EC	"exit here"	"exit here"
	EA	"exit here"	"exit here"
TNO-richting	EC	"exit here"	"exit here" (precedent)
	EA	"exit here"	"exit here" (precedent)

Vanwege allerlei oorzaken (de neiging visueel te lopen, de neiging langs de wand te lopen, zie ook voetnoot 3) zou er voorkeur voor een bepaalde route kunnen bestaan. Om selectieve invloed op de resultaten te vermijden waren er twee routes: van start naar E naar C of van start naar E naar A. Dat geeft in totaal 8 condities: SA of TNO-geluid (2×), alle bakens aan of één

baken stil (2×), en route EC of EA (2×). Tabel 1 vat de geluidscondities samen. De volgorde waarin de condities werden aangeboden staat in voetnoot 2.

2.2.3 Procedure

De deelnemer werd individueel en "geblinddoekt" de testfaciliteit binnengebracht. Als blinddoek werd een veiligheidsbril gebruikt die met tape ondoorzichtig was gemaakt. De deelnemer deed, met goed zicht, eerst een proef van enkele minuten met evacuatieborden. Deze proef wordt elders besproken. Ongeveer op punt F werd de deelnemer opgevangen en kreeg weer de veiligheidsbril op. Vervolgens "leidde de proefleider hem om de tuin" via Deur X vanaf punt E naar de gang EF. Staande aan de railing kreeg de deelnemer de uitleg "de bril stelt nu een situatie van dikke rook voor; in deze rook moet u eruit zien te komen; wacht op het startsignaal, doe voorzichtig". De proefleider verdween vervolgens in de hut achter de deelnemer, de geluidsbaken gingen aan³ en het licht werd gedimd. Enkele seconden later werd omgeroepen "u kunt *nu* starten". De proefleider observeerde via de camera's waar de deelnemer heen ging en noteerde dat. Wie vanaf de startpositie verkeerd liep werd gestopt als hij gang BD kruiste. Wie de T-kruising passeerde kwam als hij de hoek (E of A) was aan het eind van de route. De proefleider deed het licht aan en riep om "einde proef, u wordt opgehaald". Vervolgens werd de deelnemer naar buiten gebracht.

3 RESULTATEN

De deelnemers kwamen aarzelend in beweging, sommigen pas na tientallen seconden. Ze liepen langzaam, sommigen botsten (zachtjes) tegen de wand. Enkelen zeiden (achteraf) dat ze probeerden op zicht te lopen en bijvoorbeeld borden wilden zien maar dat lukte niet⁴.

Vanaf de startpositie liep 59% van de 68 deelnemers op het oude SA geluidsbaken af. In de nieuwe condities van TNO liep 93% van de 68 deelnemers op het geluidsbaken af. Op het volgende keuzepunt, de T-kruising bij punt E, kwamen alleen die personen terecht die bij de start op het baken af waren gelopen (40 en 63 personen). Bij dit punt liep 52% van de 40 resterende deelnemers op het juiste SA geluidsbaken af en 86% van de 63 resterende deelnemers op het juiste TNO geluidsbaken af.

Op de T-kruising had de helft van de deelnemers aan de goede kant een geluidsbaken; en stilte aan de verkeerde kant. Onder die conditie liep 46% verkeerd met het oude SA geluid (11 van de 24); in de nieuwe TNO-condities 6% (2 van de 32).

³ De eerste deelnemer kreeg conditie 1, de tweede deelnemer conditie 2, enz., en deelnemer 9 kreeg weer conditie 1, deelnemer 10 conditie 2 enzovoort.

⁴ Als het zou lukken om *visueel* te lopen dan zou men route EC nemen omdat die op de borden stond. Ook als mensen langs de wand blijven lopen zouden ze eerder EC dan EA nemen. Als controle op dergelijke neigingen keken we naar de resultaten, want mensen zouden *vaker goed* gaan als de bakens ook route EC aangaven en *vaker fout* als de bakens de route EA aangaven. Van de 51 deelnemers die bakenroute EC kregen gingen er 13 fout (25%); van de 52 deelnemers met bakenroute EA gingen er 17 fout (33%). Volgens de statistische toets *difference between proportions* wijkt het verschil niet wezenlijk af van een toevalstreffer ($p=0.37$; bij eenzijdige toets: $p=0.19$).

Bij de andere conditie had de deelnemer aan beide kanten geluid; bij SA pulseerde het geluid aan de goede kant frequenter; bij TNO had het geluid aan de goede kant de precedentie. Onder die conditie liep 50% verkeerd met het SA geluid (8 van de 16); in de nieuwe TNO condities 22% (7 van de 31). Tabel 2 vat de resultaten samen.

Tabel 2 Resultaten van de verschillende geluidscondities ("24 / 34 (71%)" wil zeggen "24 van de 34 deelnemers goed, ofwel 71%").

	Juiste keuzes		Alles goed
	Bij de start	T-kruising bij punt E	
SA-stilte	24 / 34 (71%)	13 / 24 (54%)	13 / 34 (38%)
SA-richting	16 / 34 (47%)	8 / 16 (50%)	8 / 34 (24%)
TNO-stilte	32 / 34 (94%)	30 / 32 (94%)	30 / 34 (88%)
TNO-richting	31 / 34 (91%)	24 / 31 (77%)	24 / 34 (71%)

In de wandelgangen begrepen we van enkele deelnemers dat ze het Engels niet volgden en "exit" mogelijk uitlegden als "wegwezen"; een enkeling als "ik zit hier". Dit zijn losse opmerkingen en geen resultaat van een systematisch post-hoc interview.

4 CONCLUSIE EN AANBEVELING

Het nieuw ontworpen geluid is aantrekkelijker dan het oude geluid. Ruim 90% van de deelnemers ging bij eerste en vervolgkeuze op het nieuwe geluid af. Bij het oude geluid van Sound Alert was dat 50-60%, nauwelijks beter dan willekeurig kiezen (wat 50% succes zou hebben). De veel positievere resultaten die Sound Alert zelf rapporteert kunnen worden toegeschreven aan het feit dat ze hun deelnemers vooraf kennis lieten maken met het geluid. Het zwakke punt daarvan is dat normale automobilisten het zonder deze kennismaking moeten doen. En dan gaat het fout met het SA geluid zoals het eerder tunnelonderzoek aantoonde (20% succes, Boer, 2001). Met het nieuwe geluid van TNO gaat het negen van de 10 keer goed. Met een tekst afwisselend Nederlands en Engels wellicht nog beter.

Er waren namelijk mensen die "exit here" niet begrepen en er eventueel afwijzing in hoorden. Om zelfredzaamheid gestalte te geven als rook het zicht volledig wegneemt bevelen we dus de nieuwe geluidsbakens aan met goed lokaliseerbare gongslagen en "exit here" afgewisseld met "uitgang hier". Verder lijkt verstandig de definitieve uitvoering dusdanig te kiezen dat andere geluiden goedkoop en snel te realiseren zijn door bijvoorbeeld alleen een chip te vervangen. Dat geeft mogelijkheden voor speciale geluidsbewerking ten behoeve van slechthorenden en van weergave van Arabische teksten, enz.

Negen van de 10 keer in een laboratoriumtest. Het effect van ventilatoren op vol vermogen, een lawaai van 80 tot 90 dB, is nog niet in de beschouwing betrokken. Technisch gezien is het mogelijk de bakens zo luid te maken dat ze daar bovenuit komen maar op zeker moment doet dat het menselijk oor pijn en wordt de boodschap niet meer gehoord. Eerder is een oplossing dat evacuerende automobilisten na verloop van tijd wel een baken zullen passeren. Het vorige onderzoek liet zien dat mensen in de langsrichting van de tunnel gaan lopen, bijna altijd langs de wand. Op zijn slechtst passeren ze aan de overkant op 10 m afstand (uitgaande van twee

rijstroken) en op zijn best passeren ze op 1–2 m afstand. Onder die omstandigheden moet het baken het opnemen tegen de dichtstbijzijnde ventilator. Dat leidt tot de aanbeveling om ventilatoren altijd *tussen* twee vluchtdeuren te plaatsen en nooit ter hoogte van een vluchtdeur.

Zolang men in de auto blijft zitten is de afstand tot het dichtstbijzijnde baken 5–50 m en de afstand tot de dichtstbijzijnde ventilatoren 5–150 m. Met andere woorden: de ventilator kan vlakbij en het baken veraf zijn. Het lijkt beter om het uitstappen te starten met een mededeling via de toespreekinstallatie (die tegen de ventilatoren is opgewassen) en daarna te vertrouwen op het lopen waardoor de mensen na verloop van tijd wel een baken passeren.

De conclusie uit de eerdere tunnelproeven (Boer, 2001) was dat mensen *wegliepen* van het geluid van Sound Alert. We zien nu dat dat niet waar is. Dan zouden de huidige resultaten immers *minder* dan 50% goed hebben laten zien, en zo erg was het niet. Een juistere conclusie is dat het SA geluid *neutraal* is; het motiveert niet om er naar toe te lopen. Dat mensen *in een tunnel* meestal toch liever over de vluchtstrook doorliepen i.p.v. de vluchtdeur te nemen (Boer, 2001) is dan te verklaren uit het onaantrekkelijke, te “technische”, uiterlijk van de vluchtdeur⁵. En dat sluit aan bij de eerder reeds getrokken conclusie dat de vluchtdeuren een “uitnodigende” markering moeten krijgen (geconcretiseerd voor de tunneltest Sijtwende, juli 2003).

Mensen de juiste kant uitsturen als ze precies tussen twee werkende geluidsbakens staan blijft een lastige zaak. De oplossing van SA, mensen naar het *sneller* pulserende bakens sturen, werkte niet want de deelnemers deden maar wat. De oplossing van TNO, via *precedentie* zorgen voor geluid uit de juiste richting, werkte veel beter maar toch nog maar half. Immers, een kwart liep verkeerd en dat is “twee maal” minder fout dan zomaar wat doen (50% fout).

Precies tussen twee geluidsbakens in, en dan de goede kant uit--dat is voor schepen en gebouwen eerder relevant dan voor tunnels met hun eenvoudige geometrie. Het maakt daar immers niet uit welke vluchtdeur mensen nemen. Daarom mag als resultaat van de huidige evaluatie “ruim 90% gaat goed” aangehouden worden voor de nieuwe bakens.

Wat betreft patenten zij opgemerkt dat Sound Alert rechten claimt op het *broadband noise* vanwege de uitstekende lokaliseerbaarheid en (mogelijk) op het *pulserende karakter* van hun geluid. Het nieuwe geluid maakt geen inbreuk op deze patenten. Het nieuwe geluid is noch *broadband noise* noch pulserend. Het nieuwe geluid is ook geen gelijkwaardig alternatief voor op zich reeds goede bakens, maar een noodzakelijke verbetering van bestaande bakens omdat het geluid van Sound Alert de mensen niet aantrekt en, ten tweede, het sneller pulserende vervolgbakens van Sound Alert de mensen evenmin aantrekt.

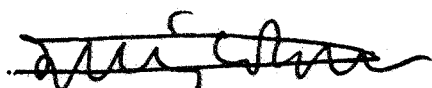
De onderzoeksresultaten van deze tussenrapportage worden binnenkort geverifieerd met een praktijkproef in een wegverkeerstunnel.

⁵ In deze studie was er ongeveer 1 m zicht.

REFERENTIES

- Boer, L.C. (2002). *Directional sound evacuation: Human factors evaluation of new concept* (Report TM-02-A059). Soesterberg (NL): TNO Human Factors.
- Boer, L.C. (2002). *Gedrag van automobilisten bij evacuatie van een tunnel* (Rapport TM-02-C034). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Boer, L.C. (2003). Behavior of drivers during tunnel evacuation. In J. Saveur (Ed.), *(Re)Claiming the Underground Space* (pp. 213-217). Lisse (NL), Abingdon, Exton (PA), Tokyo: Balkema.
- Boer, L.C. & Withington, D.J. (in voorbereiding). *Auditory Guidance in a Smoke-filled Tunnel*. Directional sound evacuation: Marine trials, data and analysis (June and October 2001, updated 14 May 2002) [Compact Disk]. Southampton, UK: Maritime & Coastguard Agency.
- Withington, D.J. (2000). Faster evacuation from ferries with sound beacons. *Fire, March*, 30.
- Withington, D.J. (2002a). Aircraft Evacuation using directional sound. *Cabin Safety Update*, 8, 12-14.
- Withington, D.J. (2002b). Life saving applications of directional sound. In M. Schreckenberg & S.D. Sharma (Eds.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics* (pp. 277-296). Berlin/New York: Springer.

Soesterberg, 28 oktober 2003



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