

Ausgestaltung von Brand-Notbeleuchtung und Leitsystemen zur Fluchtwegkennzeichnung in Straßentunneln – Systematik der Leitsysteme

FA 3.351

Forschungsstellen: BUNG Ingenieure AG, Heidelberg / isac Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen
 Bearbeiter: Baltzer, W. / Riepe, W.; Barleon, M. / Steinauer, B. / Mayer, G. / Zimmermann, U. / Becher, T.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn
 Abschluss: September 2003

1. Ausgangssituation

Die Brandkatastrophen in verschiedenen europäischen Straßentunneln haben gezeigt, dass insbesondere unter dem Aspekt der Selbstrettung die Sicherheitskonzepte geprüft bzw. neu überdacht/entwickelt werden müssen, damit ein sicheres und schnelles Auffinden der Notausgänge im Ereignisfall ermöglicht wird.

Hierbei ist zu garantieren, dass im Ereignisfall die zur Selbstrettung zur Verfügung stehende Zeitspanne von ca. 10 bis 15 Minuten möglichst effektiv genutzt werden kann. Neben dem Abstand der Notausgänge haben insbesondere die Brand-Notbeleuchtung und die Fluchtwegkennzeichnung einen wesentlichen Einfluss auf das Fluchtverhalten. In Bezug auf Gestaltung und Anordnung der Fluchtwegkennzeichnungen in Tunnelanlagen existieren zurzeit jedoch keine einheitlichen Vorgaben. Daraus resultiert in den verschiedenen europäischen Ländern eine Vielzahl von Ausführungsweisen, die zur Verwirrung und Unsicherheit bei den Tunnelnutzern führen kann.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es daher, geeignete Fluchtwegpiktogramme abzuleiten sowie Grundlagen für eine einheitliche Systematik der Fluchtwegkennzeichnung und -führung in Straßentunneln zu erarbeiten.

2. Untersuchungsmethodik

Auf Grund unterschiedlicher Vorgaben europäischer Richtlinien zur Gestaltung und Anordnung der Fluchtwegkennzeichnungen in Tunnelanlagen wurden zunächst die einzelnen nationalen Regelwerke aus Deutschland, Schweiz, Österreich, Frankreich, Großbritannien und Norwegen analysiert. Darauf aufbauend wurden anhand eines Merkmalkataloges die in den Richtlinien getroffenen Festlegungen bezüglich der Anordnung von Fluchtwegkennzeichen und Brand-Notbeleuchtung vergleichend gegenübergestellt.

Auf Basis dieser Grundlagensammlung wurden Fluchtwegpiktogramme generiert, die im Anschluss daran auf ihre Wirkung untersucht wurden. Hierzu kam ein computergestütztes Verfahren zur Anwendung, mit dem die Wirkung der einzelnen Fluchtwegpiktogramme auf das Fluchtverhalten unter gleich bleibenden Randbedingungen getestet werden kann.

Mit der am Institut für Straßenwesen Aachen entwickelten Software ist es möglich, beliebige Bilder in bestimmter Reihenfolge auf einem Ausgabegerät anzeigen zu lassen und durch Abfrage über die Tastatur das Reaktionsverhalten der Probanden zu bestimmen. Zur Gewährleistung gleich bleibender Bedingungen einer Versuchsreihe wurde für das Erscheinen der Bilder eine

zufällige, jedoch stets identische Reihenfolge vorgegeben. Dadurch waren die Schilder untereinander vergleichbar, da alle Probanden die gleichen Voraussetzungen hatten, den gleichen Lerneffekt während des Tests sowie die gleichen Reize erleben. Um einer Routine bzw. Ermüdung beim Probanden entgegenzuwirken, wurden die Schilder an jeweils unterschiedlichen Positionen auf dem Ausgabegerät angezeigt.

Durch zufällig wählbare Zeitabstände zwischen dem Anzeigen der einzelnen Schilder konnte diesen Fehlerquellen zusätzlich begegnet werden. Um die Erkennbarkeit der Schilder zu testen, waren neben den Inhalten auch die Größe der anzuzeigenden Schilder frei wählbar. Als Maß für die Begreifbarkeit der Bildinformation erfolgte die Aufzeichnung der Reaktion des Probanden auf eine Fluchtwegkennzeichnung. Hierzu wurde die Zeit bis zum Treffen einer Entscheidung in Millisekunden abgespeichert. Die Abfrage über die vom Probanden getroffene Entscheidung erfolgte dabei über die Tastatur. Da es im Tunnel immer zwei Richtungen gibt, in die die Tunnelnutzer fliehen können und somit auch der Proband vor der Entscheidung stand, bei angezeigter Fluchtwegkennzeichnung in eine der beiden Richtungen zu laufen, wird für die Wahl der Richtung das Drücken der Pfeiltasten verwendet. War auf Grund uneindeutiger bzw. unverständlicher Bildinformation keine Entscheidung möglich, so konnte dies die Testperson durch Drücken der Leertaste anzeigen. Für die anschließende Analyse wurden sämtliche Reaktionen beim Abspeichern mit den entsprechenden Bildnummern indiziert.

Vor Beginn eines jeden Tests wurden die Personen gebeten, einen Einführungstext zu lesen, welcher alle Informationen enthielt, die zur reibungslosen Durchführung des Versuchs zu beachten waren. Darin wurde zunächst die Situation geschildert, in die sich der Proband hineinzudenken hatte. Anschließend erhielt der Proband die Informationen über den Hintergrund der Versuche und den Aufbau des Testablaufes. Somit war gewährleistet, dass alle Probanden die gleichen Vorinformationen erhielten.

Zur Ableitung geeigneter Fluchtwegpiktogramme wurden zunächst in einer ersten Versuchsstufe aus einer Vielzahl möglicher Schildervarianten mit Hilfe der Parameter Reaktionszeit und Angabe der richtigen Fluchtrichtung weiter zu untersuchende Fluchtwegpiktogramme ausgewählt. Die Schildervarianten, die sich hierbei als gut geeignet herausstellten, wurden anschließend in der zweiten Versuchsstufe dahingehend getestet, wie sich

- die Größe der Piktogramme,
- der Blickwinkel und
- das Vorhandensein von Rauch

auf die Reaktion der Probanden auswirkten.

2.1 Auswahltest

Mit diesem Test sollte jedes Schild vor allem auf die Parameter Begreifbarkeit und Eindeutigkeit untersucht werden. Aussagen über die Erkennbarkeit und Lesbarkeit sollten zweitrangig für die einzelnen Symbole gemacht werden. Ziel des Tests war es, Schilder zu selektieren, also ungeeignete auszuschließen und geeignete zu finden. Hierzu erschienen in zufällig gewählten Zeitabständen und Positionen die jeweiligen Schilder auf der Projektionswand. Die Probanden wurden frontal zur Projekti-

onswand platziert, deren Abstand einer Entfernung von ca. 19 m entsprach.

2.2 Größentest

Die Intention dieses Tests bestand in erster Linie in der Prüfung einer Größenrelevanz der Schilder. Er sollte also dazu dienen, Aussagen zur Erkennbarkeit und Lesbarkeit zu machen, weshalb die Parameter Begreifbarkeit und Eindeutigkeit nur eine untergeordnete Bedeutung hatten. Da Begreifbarkeit und Eindeutigkeit immer einen Einfluss ausüben, wurden für diesen Test nur Fluchtwegkennzeichnungen verwendet, die in den Ergebnissen des Auswahltests eine hundertprozentige Begreifbarkeit und Eindeutigkeit aufwiesen. Um einen Vergleich zur Fluchtwegkennzeichnung der Richtlinien zu ermöglichen, wurden dort vorgesehene Schilder ohne Rücksichtnahme auf die Ergebnisse des Auswahltests in den Größentest mit aufgenommen.

Der Testablauf war im Wesentlichen identisch mit dem Auswahltest. Auf Grund der durch den Auswahltest reduzierten Schilderanzahl konnte die Größe der Schilder so geändert werden, dass jedes Schild in drei verschiedenen Größen vorgeführt wurde.

2.3 Blickwinkeltest

Hauptaufgabe dieses Tests war es, den Einfluss des Blickwinkels auf die Parameter Erkennbarkeit und Lesbarkeit festzustellen, damit Aussagen zur Anordnung der Piktogramme in Tunnellängsrichtung getroffen werden können. Durch die Verwendung der sich im Auswahltest als vorteilhaft erwiesenen Piktogramme spielten wie bei dem Größentest Aussagen zur Begreifbarkeit und Eindeutigkeit eine untergeordnete Rolle.

Im Gegensatz zu den vorangegangenen Untersuchungen, bei denen die Probanden stets frontal zur Projektionswand ausgerichtet waren, befanden sich die Probanden zu Versuchsbeginn in Flucht mit der Projektionswand. Die Aufgabe der Probanden bestand nun darin, ihre Position senkrecht zur Positionswand solange zu verändern, bis sie sich für eine Fluchtrichtung entscheiden konnten. Durch das Markieren der Endposition an der Tafelwand konnte dann über trigonometrische Beziehungen der Blickwinkel für jedes Piktogramm bestimmt werden.

2.4 Rauchttest

Mit Hilfe des Rauchttests sollte das Verhalten bei einer für den Probanden sichtbaren Gefahrensituation getestet werden. Dabei wurde der Frage nachgegangen, für welche Fluchtrichtung sich die Testperson entscheidet, wenn sie den Rauch in unmittelbarer Nähe auf sich zu kommen sieht. Außerdem sollte getestet werden, ob sich die Personen bei den zuvor als schnell und gut begreifbar getesteten Schildern auf Grund der vorliegenden Stresssituation anders verhalten würden und dadurch die Interpretation guter und schneller Begreifbarkeit anders ausfallen könnte.

Der Versuchsablauf gestaltete sich analog zum Auswahl- und Größentest. Zur Klärung der an diesen Versuch gekoppelten Fragestellung konnte jedoch nicht mehr nur das jeweilige Fluchtwegkennzeichen gezeigt werden, sondern es musste zusätzlich noch ein Hinweis auf die vorherrschende Situation gegeben werden. Hierzu wurde neben dem zu untersuchenden Fluchtwegkennzeichen ein teilverrauchter Tunnel im Längsschnitt abgebildet. Die Aufgabe der Testperson bestand in diesem Test also darin, die Fluchtwegkennzeichnung zusammen mit der Situation zu begreifen und zu interpretieren, um dann eine Entscheidung für eine Fluchtrichtung zu treffen. Eine mögliche Routine durch eine gleiche Darstellung der Situation wurde durch eine Variation der Abfolge der Fluchtwegpiktogramme

und der Rauchrichtung vermieden. Auf die gegenüber dem Auswahl- und Größentest veränderte Situation wurden die Probanden mit einem modifizierten Einführungstext vorbereitet.

3. Untersuchungsergebnisse und Folgerungen für die Praxis

Die vergleichende Gegenüberstellung der Vorgaben unterschiedlicher europäischer Richtlinien zur Anordnung und Ausführung der Fluchtwegkennzeichen in Tunneln zeigte zum Teil erhebliche Unterschiede auf. So variiert der Abstand der Fluchtwegkennzeichen zwischen 25 m und 250 m und die Anbringungshöhe zwischen 1,0 m und 1,50 m. Zur Größe der Schilder werden feste Angaben zwischen 30 x 30 cm und 70 x 40 cm gemacht bzw. werden, wie im Fall der Schweiz, Werte in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite angegeben. Bei der Ausführung kann prinzipiell zwischen hinterleuchteten und beleuchteten Schildern bzw. fluoreszierenden Schildern unterschieden werden.

Die unterschiedlichen Ausführungsbeispiele ermöglichten für die Wirkungsuntersuchung das Generieren von 51 Fluchtwegpiktogrammen. Mit Hilfe des Auswahltests konnte die Anzahl der Schilder für die weiteren Tests deutlich reduziert werden und umfasste nach der Aufnahme von Piktogrammen, die in nationalen und internationalen Richtlinien empfohlen werden, nur noch 13 Fluchtwegpiktogramme.

Die abschließende Empfehlung eines Piktogramms kann nur in Abhängigkeit von dem vorliegenden Fluchtwegkonzept erfolgen. Das derzeit in Deutschland übliche Konzept einer statischen Fluchtwegkennzeichnung gibt dem Nutzer zwischen zwei erreichbaren Notausgängen Informationen zu Richtung und Abstand der beiden Notausgänge und überlässt im Ereignisfall die Entscheidung, welche der beiden Möglichkeiten die günstigste ist, der flüchtenden Person. In den Tests hat sich dafür ein gegenüber dem in den aktuellen RABT vorgeschlagenen Piktogramm leicht modifiziertes Schild bewährt. Lediglich die Einheit für die Entfernung entfällt hier. Sieht das Fluchtwegkonzept vor, stets die Richtung bis zum nächstgelegenen Notausgang anzuzeigen oder ist eine dynamische Fluchtwegkennzeichnung vorgesehen, bei der in Abhängigkeit des sich verändernden Schadensereignisses stets die günstigste Fluchtwegrichtung, die nicht automatisch die kürzeste sein muss, angezeigt wird, erwiesen sich andere Piktogramme als geeigneter. Hier kann durch die Anzeige von nur einer Richtung ein deutlicher Vorteil in der Reaktionszeit und der Erkennbarkeit unter extremen geometrischen Randbedingungen erreicht werden. Besonders eigneten sich hier zwei Schilder, von denen eins ausschließlich einen Richtungspfeil ohne weitere Informationen zeigt. Sind weitere Informationen, insbesondere über die Länge bis zum nächsten Notausgang erforderlich, konnte ein sehr gut geeignetes Piktogramm, bestehend aus Pfeil, Fluchtsymbol, Tür und Entfernungsangabe, ermittelt werden.

Eine dynamische Fluchtwegkennzeichnung hat gegenüber der statischen Beschilderung den großen Vorteil, in Abhängigkeit von der jeweiligen Situation, z. B. Richtung und Geschwindigkeit der Längsströmung im Tunnel, Ausbreitung der Rauchsäule beim Brand etc., den günstigsten Notausgang auszuschildern. Daher kommen die Systeme schon in einigen Hochbauprojekten zum Einsatz und die ersten europäischen Tunnel werden damit ausgestattet. Der Einsatz dieses Fluchtwegkonzeptes ist allerdings nur in Verbindung mit einem sicheren Detektionssystem sinnvoll. In den hier durchgeführten Tests zeigten sich bei den Fluchtwegpiktogrammen, die nur eine Fluchtrichtung zeigten, erhebliche Vorteile in der Reaktionszeit und der Erkennbarkeit unter extremen geometrischen Verhältnissen. Auch war im Rauchttest die Bereitschaft, in den Rauch zu flüchten, deutlich

größer als bei den Piktogrammen, die beide Notausgänge zeigen. Da aber offensichtlich eine größere Unentschlossenheit bei einer Entscheidung, in Richtung des Rauches zu flüchten, herrschte, ist in weiteren Untersuchungen eine Verbesserung der Darstellung und deren Einbettung in ein Gesamtsystem sinnvoll und es sollte ein Konzept für die dynamische Fluchtwegkennzeichnung in Straßentunneln entwickelt werden.

Auch zur Gestaltung der Notausgänge, zu denen die Fluchtwegkennzeichnungen leiten, sind Untersuchungen erforderlich. In Europa gibt es für den Normalbetrieb und den Ereignisfall verschiedene Lösungsansätze. Wegen der besonderen Lichtsituation im Tunnel (Natriumhochdruckdampflampen mit eingeschränktem Farbspektrum im gelben Bereich und Scheinwerferlicht der Fahrzeuge) ist Forschungsbedarf zum sicheren Auffinden innerhalb eines funktionierenden Gesamtkonzepts gegeben.

Der Abstand der Fluchtwegkennzeichen in Tunnellängsrichtung resultiert in erster Linie aus der Erkennbarkeit und Lesbarkeit der Schilder unter spitzen Winkeln. Mit Hilfe des Blickwinkeltests konnte unter der Annahme, dass der halbe Schildabstand

maßgebend für das sichere Erkennen eines Schildes ist, der in den RABT vorgeschlagene Abstand von 25 m als ein sinnvolles Maß bestätigt werden.

Die Installationshöhe der Fluchtwegkennzeichen wird nach oben durch die im Brandfall zu erwartende Ausbreitung des Rauches und nach unten durch die Verdeckung mit Fahrzeugen begrenzt.

Da im Brandfall, wie neuere Untersuchungen zur Rauchausbreitung ergeben haben, bereits bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten mit einer partiellen Verrauchung des gesamten Querschnitts zu rechnen ist, sollte eine Fluchtwegkennzeichnung so tief wie irgendwie möglich angebracht werden. Somit wird die Installationshöhe lediglich durch die Fahrzeughöhen bestimmt. Als ein geeignetes Maß für die untere Grenze der Installationshöhe von Fluchtwegkennzeichen erscheint die Unterkante der Fahrzeugscheiben sinnvoll. Wird hierbei der Pkw als maßgebender Fall betrachtet, so erhält man als untere Grenze der Fluchtweginstallation eine Höhe von 1,00 m–1,20 m. □