

Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegsystems bei Reisebussen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 42

bast

Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen

von

Michael Krieg
Gert Rüter

Institut für Fahrzeugtechnik
Fachhochschule Trier

Andreas Weißgerber

Ingenieurbüro Walter & Weißgerber
Trier

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 42

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M- Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt
82.188/2000 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen:
Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen

Projektbetreuung
Frank Nicklisch

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de
ISSN 0943-9307
ISBN 3-89701-007-9
Bergisch Gladbach, August 2003

Kurzfassung – Abstract

Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen

Im Rahmen der Optimierung des Sicherheitssystems Reisebusverkehr beauftragte die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) das Institut für Fahrzeugtechnik an der FH Trier, eine Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen durchzuführen. Die Bearbeitung des Projektes geschah in den folgenden Einzelschritten:

Die entsprechenden Paragraphen des nationalen und europäischen Regelwerkes wurden in Anlage V systematisch zusammengestellt und verglichen. Ergänzend wurden die teilweise erheblich abweichenden Regelungen in den USA, Japan und Australien betrachtet. Eine erste Schwachstellenanalyse aus Hersteller- bzw. Konstrukteurssicht wurde erstellt. Darauf folgten Expertengespräche in der Fahrzeug- und Zulieferindustrie sowie international tätigen Prüfororganisationen. Hier wurden die bestehenden bzw. sich in der Entwicklung befindlichen konstruktiven Lösungen von Rohbau, Umbau und Innenausstattung von Reisebussen ermittelt und systematisiert.

Eine zweite Schwachstellenanalyse beinhaltete die Sicht des Gebrauchs und Missbrauchs sowie des Notfalls und der Rettung. Als Ausgangslage dienten Einsatzberichte und Befragungen von Feuerwehr und THW sowie Unfallgutachten.

Als nächster Schritt wurden Evakuierungsversuche am Reisebus in Seitenlage durchgeführt. Sie dienten dazu, die bisher gewonnenen Erkenntnisse näher zu untersuchen, zu ergänzen und zu belegen, sowie dazu, neue Erkenntnisse zu gewinnen. Die Evakuierungsversuche wurden durch CAD-Simulationen erweitert.

In einem Workshop mit Experten aller betroffenen Bereiche wurden die erarbeiteten Schwachstellen und Lösungsmöglichkeiten diskutiert, systematisiert und hinsichtlich ihrer Relevanz bewertet.

Die gewonnenen Erkenntnisse wurden zu einem „Lastenheft für ein optimiertes Notausstiegssystem bei Reisebussen“ zusammengefasst. Die nach der Bearbeitung der oben genannten Arbeitspunkte noch offen stehenden Fragen wurden als Forschungsbedarf formuliert.

Der Originalbericht enthält als Anlagen einen Auszug aus den Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS 217, USA) (I), die Fragenkataloge für Bushersteller (II), Busunternehmen (III) und Feuerwehren (IV), eine Zusammenfassung der europäischen Regelungen (V), den Fragebogen Gruppenversuche (VI) sowie die Teilnehmerliste des Expertengesprächs (VII). Auf die Wiedergabe dieser Anlagen wurde in dieser Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anlagen im Berichtstext wurden beibehalten.

Weak-point analysis to optimise the emergency exit system for coaches

As part of its project to optimise safety systems in coach transport, the Federal Highway Research Institute (Bundesanstalt für Straßenwesen - BASt) commissioned the Institute for Automotive Technology at the Technical University of Trier to carry out a weak-point analysis to optimise the emergency exit system for coaches. The project comprised the following steps:

The relevant paragraphs in national and European regulations were systematically brought together and compared; this is contained in appendix V. The regulations in the USA, Japan and Australia, some of which differ considerably, were then considered. An initial weak-point analysis was drawn up from the point of view of manufacturers and design engineers. Discussions were then carried out involving experts from the vehicle and supplier industry and from internationally active test organisations. Structural solutions regarding the basic structure, structural alteration and interior fittings of coaches were recorded and systematised; this included both existing solutions and solutions still under development.

A second weak-point analysis was carried out from the point of view of use and misuse, emergencies and rescue. The current situation was determined using reports by the emergency services, surveys of the fire brigade and the Technical Prevention Agency (Technisches Hilfswerk - THW) and also accident expertises.

Evacuation tests were then carried out using coaches lying on their side. These tests allowed existing findings to be investigated more thoroughly, supplemented and proved, and also new findings to be obtained. The evacuation tests were extended using CAD simulations.

The weaknesses and possible solutions were discussed, systematised and their relevance assessed in a workshop involving experts from all relevant sectors.

The knowledge gained was summarised in a „Performance specification for an optimised emergency exit system for coaches“. The questions which remained unresolved after the work in the above-mentioned areas were specified as areas requiring further research.

The appendices to the original report contain an excerpt from the Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS 217, USA) (I), the catalogues of questions for bus and coach manufacturers (II), bus and coach companies (III) and fire brigades (IV), a summary of the European regulations (V), the questionnaire on group tests (VI) and the list of participants in the expert discussion (VII). These appendices were omitted from the present publication: They can be consulted at the Federal Highway Research Institute (Bundesanstalt für Straßenwesen). References to the appendices were retained.

Inhalt

1	Einleitung	9	6.1.4	Notluken	33
2	Vorgehensweise und Zielsetzung	10	6.1.5	Notfallinformation	34
3	Ausgangslage	11	6.1.6	Beleuchtung	35
3.1	Unfalltypen und zugrunde liegendes Datenmaterial	11	6.1.7	Rollstühle	36
3.1.1	Unfallart	12	6.2	Gesamtsystem der Notausstiege	36
3.1.2	Verletzungsverursachende Teile der Innenausstattung	12	6.2.1	Normallage	38
3.1.3	Endlage des Busses nach dem Unfall	13	6.2.2	Seitenlage	41
3.1.4	Überlebensraum	13	6.2.3	Dachlage	42
4	Vergleich der nationalen und internationalen Regelungen	14	6.3	Rolle des Busfahrers und des Begleitpersonals	43
4.1	Definition „Bus“	14	7	Brandfall	43
4.2	Mindestanzahl der Notausstiege	15	7.1	Ursachen	44
4.3	Notausstiegsarten	16	7.2	Toxizität von Rauchgasen	44
4.4	Mindestgröße der Notausstiege	16	7.3	Feuerlöscher	44
4.4.1	Erläuterungen zur Mindestnotausstiegsgröße	16	7.4	Ausbreitung	45
4.5	Lage der Notausstiege	17	7.5	Evakuierung	45
4.6	Kinematik und Betätigungskräfte	17	7.6	Anforderungen an Notausstiegssysteme für den Brandfall	45
4.7	Mindestbreite der Zugänge	19	8	Evakuierungsversuche und Simulationen	47
5	Aspekte der Reisebus- konstruktion	19	8.1	Versuchsziele	47
5.1	Betriebstüren als Nottüren	20	8.2	Versuchsbedingungen	47
5.2	Reine Nottüren	22	8.3	Versuchsablauf	49
5.3	Notfenster	22	8.4	Versuchsergebnisse	51
5.4	Notluken	25	8.4.1	Gruppenversuch 1	51
5.5	Mittelgang	26	8.4.2	Gruppenversuch 2	52
5.6	Handläufe und Haltegriffe	27	8.4.3	Gruppenversuch 3	54
5.7	Gepäck	27	8.4.4	Gruppenversuch 4	55
5.8	Kennzeichnung	27	8.4.5	Gruppenversuch 5	56
5.9	Notfallinformationen	27	8.4.6	Einzelversuch 1	59
5.10	Beleuchtung	27	8.4.7	Einzelversuch 2	60
5.11	Schutz vor Missbrauch	28	8.4.8	Einzelversuch 3	61
5.12	Gesamtsystem der Notausstiege	28	8.4.9	Einzelversuch 4	62
6	Aspekte von Notfall und Rettung	29	8.4.10	Einzelversuch 5	62
6.1	Einzelne Elemente	29	8.4.11	Einzelversuch 6	64
6.1.1	Betriebstüren als Nottüren	29	8.4.12	Einzelversuch 7	64
6.1.2	Reine Nottüren	30	8.5	Evakuierungsdauer	65
6.1.3	Notfenster	31	9	Lastenheft für ein optimiertes Notausstiegssystem bei Reisebussen	66
			10	Ausblick	74
			11	Literatur	75

Begriffserklärungen

Die hier verwendeten Begriffe stützen sich weitgehend auf die Definitionen nach dem ECE-Reglement.

In dieser Ausarbeitung bedeuten:

„**Anfahrsperr**e“ eine Einrichtung, die verhindert, dass das Fahrzeug in Bewegung gesetzt wird, wenn eine Tür nicht vollständig geschlossen ist.

„**Ausstieg**“ eine Betriebstür, eine Verbindungstreppe oder ein Notausstieg.

„**automatische Betriebstür**“ eine fremdkraftbetätigte Betriebstür, die (außer mit Notbetätigungseinrichtungen) nur geöffnet werden kann, wenn ein Fahrgast nach Freigabe der Betätigungseinrichtungen durch den Fahrzeugführer eine Einrichtung betätigt, und die sich wieder selbsttätig schließt.

„**Behindertensitz**“ bezeichnet einen Sitz, der über ein zusätzliches Raumangebot für Fahrgäste mit eingeschränkter Mobilität verfügt und entsprechend gekennzeichnet ist.

„**Betriebstür**“ eine Tür, die von den Fahrgästen im Normalfall benutzt wird, wenn der Führer auf seinem Platz sitzt.

„**Boden oder Deck**“ der Teil des Fahrzeugaufbaus, auf dem die Füße der sitzenden Fahrgäste und des Führers ruhen und der die Sitzbefestigung trägt.

„**Doppeldeck-Gelenkfahrzeug**“ bezeichnet ein Fahrzeug, das sich aus mindestens zwei starren Teilfahrzeugen zusammensetzt, die durch ein Gelenk miteinander verbunden sind. Die Fahrgasträume der starren Teilfahrzeuge sind auf mindestens einer Fahrgastebene miteinander verbunden, so dass sich die Fahrgäste zwischen den starren Teilfahrzeugen frei bewegen können. Die starren Teilfahrzeuge sind dauerhaft miteinander verbunden, so dass sie nur mit Hilfe von Einrichtungen getrennt werden können, die in der Regel nur in einer Werkstatt vorhanden sind.

„**Doppelfenster**“ ein Notfenster, das, wenn es durch eine gedachte senkrechte Linie (oder Ebene) in zwei Teile unterteilt wird, zwei Teile ergibt, von denen jeder in Bezug auf Abmessungen und Zugang den für ein normales Notfenster geltenden Vorschriften entspricht.

„**Doppelstockfahrzeug**“ ein Fahrzeug, in dem die für Fahrgäste vorgesehenen Plätze zumindest in

einem Teil in zwei übereinander liegenden Ebenen angeordnet sind und in dem im Oberdeck keine Stehplätze vorhanden sind.

„**Doppeltür**“ eine Tür mit zwei Zugängen oder gleichwertigen Einstiegen.

„**Durchgang**“ der Raum, durch den die Fahrgäste von jedem Sitz oder jeder Sitzreihe zu jedem anderen Sitz oder jeder anderen Sitzreihe oder von bzw. zu jeder Betriebstür oder Verbindungstreppe gelangen können. Der Durchgang umfasst nicht:

- den für die Füße der sitzenden Fahrgäste vorgesehenen Raum;
- den Raum, der sich bis zu 300 mm vor einem Sitz befindet;
- den Raum, durch den die Fahrgäste nur zu einem Sitz oder einer Sitzreihe gelangen können;
- den Raum über einer Stufe oder Treppe.

„**Einstiegshilfe**“ bezeichnet eine Einrichtung, mit der für Rollstuhlfahrer der Zugang zu einem Fahrzeug erleichtert wird, wie Hubvorrichtungen, Rampen oder Ähnliches.

„**ESG**“ ein Fenster aus Einscheibensicherheitsglas.

„**Fahrgast**“ eine Person außer dem Fahrzeugführer oder dem Begleitpersonal.

„**Fahrgast mit eingeschränkter Mobilität**“ bezeichnet alle Fahrgäste, die bei der Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel besondere Schwierigkeiten haben, insbesondere ältere Menschen und Behinderte. Eingeschränkte Mobilität bedeutet nicht notwendigerweise eine Form gesundheitlicher Beeinträchtigung.

„**Fahrgastraum**“ der für die Fahrgäste bestimmte Raum, mit Ausnahme aller Räume mit festeingebauten Einrichtungen, wie zum Beispiel Bars, Küchen oder Toiletten.

„**Fahrzeug**“:

- nach ECE-R 36 [27]: ein zur öffentlichen Beförderung von mehr als 16 Fahrgästen entworfenes und ausgerüstetes Fahrzeug. Es bestehen drei Klassen von Fahrzeugen: Klasse I, Stadtbusse; Klasse II, Kraftomnibusse für Zwischenortsverkehr; Klasse III, Reiseomnibusse. Ein Fahrzeug kann für mehrere Klassen zugelassen werden. In diesem Fall kann ihm die Genehmigung für jede Klasse, der es entspricht, erteilt werden.

- nach ECE-R 52 [28]: ein Fahrzeug der Klassen M2 (Fahrzeuge für Personenbeförderung mit mehr als 8 Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einem Höchstgewicht bis zu 5 t) und M3 (Fahrzeuge für Personenbeförderung mit mehr als 8 Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einem Höchstgewicht über 5 t), das zur Beförderung von sitzenden oder stehenden Personen vorgesehen und ausgerüstet ist und eine Kapazität von nicht mehr als 22 Fahrgästen zuzüglich zum Fahrzeugführer hat.
- nach ECE-R 107 [29]: ein Doppelstockfahrzeug der Klasse M2 oder M3, das für die Beförderung sitzender oder sitzender und stehender Fahrgäste gebaut und beschaffen ist.
- nach der Richtlinie 2001/85/EG: ein Fahrzeug der Klasse M2 oder M3 gemäß der Definition in Anhang II der Richtlinie 70/156/EWG.

„**Fahrzeugtyp**“ Fahrzeuge, die untereinander in den baulichen Merkmalen, die in dieser Regelung vorgeschrieben sind, keine wesentlichen Unterschiede aufweisen.

„**fremdkraftbetätigte Betriebstür**“ eine Betriebstür, die ausschließlich durch die Zufuhr von Energie betätigt wird, ausgenommen der Muskelkraft, und deren Öffnen und Schließen - sofern es sich nicht um eine automatische Betriebstür handelt - vom Fahrzeugführer oder einem Mitglied des Fahrpersonals fernbedient wird.

„**Gelenkbus oder Gelenkreisebus**“ ein Fahrzeug, das aus zwei oder mehreren starren, gelenkig miteinander verbundenen Teilen besteht. Die Fahrgasträume der einzelnen Teile sind auf mindestens einem Deck so miteinander verbunden, dass sich die Fahrgäste ungehindert zwischen ihnen bewegen können. Die starren Teile sind dauerhaft miteinander verbunden, so dass sie nur durch Einrichtungen voneinander getrennt werden können, die gewöhnlich nur in einer Werkstatt vorhanden sind.

„**Halb-Treppe**“ eine Treppe, die vom Oberdeck zu einer Nottür führt.

„**Klasse**“:

- a) Fahrzeuge, die zusätzlich zum Fahrer mehr als 22 Fahrgäste befördern können, werden in drei Fahrzeugklassen unterteilt:
- „**Klasse I**“: Fahrzeuge mit Stehplätzen, welche die Beförderung von Fahrgästen auf

Strecken mit zahlreichen Haltestellen ermöglichen (Stadtbus).

- „**Klasse II**“: Fahrzeuge, die hauptsächlich zur Beförderung sitzender Fahrgäste gebaut und so ausgelegt sind, dass die Beförderung stehender Fahrgäste im Gang und/oder in einem Bereich, der nicht größer ist als der Raum von zwei Sitzbänken, möglich ist (Kraftomnibus für den Zwischenortsverkehr).
- „**Klasse III**“: Fahrzeuge, die ausschließlich für die Beförderung sitzender Fahrgäste gebaut sind (Kraftomnibus für Fernfahrten).

b) Ein Fahrzeug kann zu mehr als einer Klasse gehören. In diesem Fall kann es für jede Klasse, der es entspricht, genehmigt werden. Fahrzeuge, die zusätzlich zum Fahrer bis zu 22 Fahrgäste befördern können, werden in zwei Fahrzeugklassen eingeteilt:

- „**Klasse A**“: Fahrzeuge, die zur Beförderung stehender Fahrgäste ausgelegt sind. Ein Fahrzeug dieser Klasse verfügt über Sitze und es müssen Stehplätze vorgesehen sein.
- „**Klasse B**“: Fahrzeuge, die nicht zur Beförderung stehender Fahrgäste ausgelegt sind. In einem Fahrzeug dieser Klasse sind keine Stehplätze vorgesehen.

„**Leergewicht**“ das Gewicht des betriebsfertigen Fahrzeugs ohne Insassen und Ladung, jedoch komplett mit Kraftstoff, Kühlflüssigkeit, Schmiermitteln, Werkzeug und gegebenenfalls Reserverad.

„**Mitglied des Fahrpersonals**“ bezeichnet eine als Beifahrer vorgesehene Person oder eine Begleitperson.

„**Mobile Rampe**“ bezeichnet eine Rampe, die sich vom Fahrzeugaufbau lösen lässt und vom Fahrer oder einem Mitglied des Fahrpersonals in Betriebsstellung gebracht werden kann.

„**Notausstieg**“ eine Nottür, ein Notfenster oder eine Notluke.

„**Notfenster**“ ein von den Fahrgästen nur im Notfall als Ausstieg zu benutzendes Fenster, das nicht unbedingt verlast sein muss.

„**Notluke**“ eine Dachöffnung, die nur im Notfall dazu bestimmt ist, von den Fahrgästen als Ausstieg benutzt zu werden.

„**Nottür**“ eine Tür, die zusätzlich zu den Betriebs-türen vorhanden ist, von den Fahrgästen aber nur ausnahmsweise und insbesondere im Notfall als Ausstieg benutzt werden soll.

„**Push-Out-Notfenster**“ ein Fenster, das nur im Notfall geöffnet bzw. abgeworfen wird.

„**Rollstuhlfahrer**“ bezeichnet eine Person, die aufgrund eines Gebrechens oder einer Behinderung einen Rollstuhl zur Fortbewegung verwendet.

„**Schiebetür**“ eine Tür, die nur durch Verschiebung auf einer oder mehreren geradlinig oder annähernd geradlinig verlaufenden Schiene(n) geöffnet oder geschlossen werden kann.

„**separater Raum**“ ein Raum im Fahrzeug, der benutzt werden kann, wenn das Fahrzeug in Betrieb ist, und der mit dem Fahrerraum nicht durch einen speziellen Gang verbunden und nur dann zu erreichen ist, wenn man das Deck mehr als einmal wechselt.

„**Sitzteiler**“ den Sitzabstand in Fahrzeuginnenrichtung.

„**technisch zulässiges Gesamtgewicht**“ das technisch zulässige, vom Fahrzeughersteller angegebene und von der Genehmigungsbehörde anerkannte Gesamtgewicht. Dieses Gewicht kann größer sein als das von den nationalen Behörden festzulegende „zulässige Höchstgewicht“.

„**Verbindungstreppe**“ eine Treppe, die das obere mit dem unteren Deck verbindet.

„**vom Fahrzeugführer betätigte Betriebstür**“ eine Betriebstür, die normalerweise vom Fahrzeugführer geöffnet und geschlossen wird.

„**Vorn**“ bzw. „**hinten**“ bezeichnet den Fahrzeugbug bzw. das Fahrzeugheck in üblicher Fahrtrichtung, dementsprechend sind auch Ausdrücke wie „vorderer“, „vorderster“ bzw. „hinterer“, „hinterster“ und Ähnliches zu verstehen.

„**VSG**“ ein Fenster aus Verbundsicherheitsglas.

„**Zugang**“:

- **einstöckig**: den Bereich zwischen einer Tür und dem Durchgang.
- **doppelstöckig**: den Raum, der sich von der Betriebstür bis zur äußersten Kante der oberen Stufe (Abgrenzung des Durchgangs) ins Innere des Fahrzeugs erstreckt. Ist an der Tür keine

Stufe vorhanden, dann wird als Zugang der Raum betrachtet, der nach den Vorschriften in 5.7.1.1 (ECE-R 107 [29]) bis zu einem Abstand von 300 mm von der Ausgangsstellung der Innenseite des zweiteiligen Prüfkörpers aus gemessen wird.

1 Einleitung

Als Kraftomnibusse (Kom) bezeichnet man Fahrzeuge, mit denen ausschließlich ihres Fahrers neun Personen oder mehr befördert werden und die eine besondere Fahrerlaubnis der Klasse D verlangen. Seit 1995 werden Busse in der Unfallstatistik unterteilt in Reisebusse, Linienbusse und Schulbusse. Von derzeit etwa 85.000 Bussen sind 19.000 als Reisebusse definiert, sie haben einen Gepäckraum, einflügelige Türen und einen Hochboden. Reisebusse beinhalten jedoch keine Stehplätze. Ihre zulässige Höchstgeschwindigkeit ist auf 100 km/h begrenzt. Ein Reisebus legt im Jahr durchschnittlich 67.000 Kilometer zurück und ist bei einem Unfall im statistischen Mittel 6,6 Jahre alt [7].

Der Kraftomnibus ist, gemessen an seiner Verkehrsleistung nach Personenkilometern, als sicherstes Landverkehrsmittel einzuordnen (siehe Bild 1).

Dies ist unter anderem auf Sicherheitsvorkehrungen im Reisebus zurückzuführen. Dennoch zeigt sich an teils spektakulären Busunfällen, dass sich aus den Vorschriften, Richtlinien und anderen vom Fahrzeughersteller zu erfüllenden Kriterien noch Problembereiche und Möglichkeiten zur Weiterentwicklung speziell im Bereich des Notausstiegssystems ergeben.

Die vorliegenden Untersuchungen „Analyse der technischen Möglichkeiten für Notausstiege in Kom im Vergleich zu den ECE-Regelungen 36 und 52“ [6] und „Analyse der Sicherheit von Bussen“ [22] im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) beschäftigten sich daher bereits 1985 bzw. 1989 mit der Problematik des Notausstiegsvorganges.

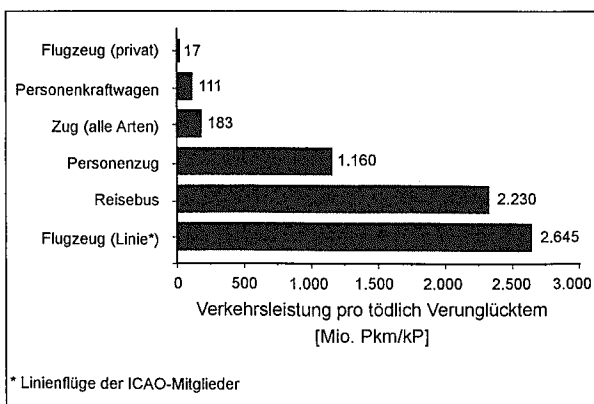


Bild 1: Sicherheitsvergleich von Verkehrsmitteln [18]

Seit dieser Zeit haben sich der konstruktive Aufbau der Busstruktur sowie Art und Umfang der Inneneinrichtung von Reisebussen erheblich weiterentwickelt.

Welche Trends waren nun in den letzten Jahren zu beobachten? Zum einen hat sich das europäische Regelwerk grundlegend geändert. Bestehende Regelungen wurden ergänzt bzw. verändert. Die ECE-Regelung Nr. 36 über einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftomnibussen hinsichtlich ihrer Konstruktionsmerkmale vom März 1973 wurde insgesamt zehnmal, zuletzt im Dezember 2000, modifiziert. Die ECE-Regelung Nr. 52 über die einheitlichen Bedingungen hinsichtlich der konstruktiven Merkmale von Kraftomnibussen des öffentlichen Verkehrs mit geringer Sitzplatzanzahl vom November 1982 wurde zweimal überarbeitet, zuletzt im September 1995.

Andere Regelungen entstanden neu. Hierzu zählen die ECE-Regelung Nr. 80 und Nr. 107. Dabei beinhaltet die ECE-R 80 die einheitlichen Vorschriften für die Genehmigung der Sitze von Kraftomnibussen sowie dieser Fahrzeuge hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit der Sitze und ihrer Verankerungen vom Februar 1989 (jetziger Stand: Februar 1999). Die ECE-Regelung Nr. 107 beschreibt die einheitlichen Bedingungen für die Genehmigung großer Doppelstockfahrzeuge zur Personenbeförderung hinsichtlich ihrer allgemeinen Konstruktionsmerkmale vom Juni 1998 (jetziger Stand: November 1998).

Zum anderen hat sich der konstruktive Busaufbau verändert. Hier sind verschiedene Trends zu erkennen: Durch eine Vergrößerung des Gepäckraumes wurden die Busse (einstöckige Hochdecker) immer höher.

Gleichzeitig wurde der Fahrerarbeitsplatz immer tiefer angeordnet, teilweise bis auf Unterflurniveau. Bei den Scheiben hat die Klebung die Spanndichtung nahezu vollständig verdrängt. Außerdem gibt es seit 1994 Dachnotluken aus Einscheibensicherheitsglas auf dem Markt.

Klimaanlagen, angeordnet im hinteren Dachbereich, werden häufiger als früher eingebaut. Die größten Veränderungen im Innenraum stellen die Sitze dar. Durch die Ausrüstungspflicht mit Sicherheitsgurten ändert sich die grundlegende Sitzstruktur. Unabhängig davon wurden die Sitzlehnen immer höher, die neue EG-Außenbusbreite von 2,55 m kam ebenfalls der Sitzbreite zu Gute. Die

gehobeneren Modelle weisen geschlossene Gepäckablagen, ähnlich wie in Flugzeugen, auf. Videomonitoring gehören fast zum Ausrüstungsstandard bei Reisebussen. Bei Doppelstockfahrzeugen ist nach den neuen ECE-Regelungen ein zweiter Aufgang zum Oberdeck erforderlich.

Die o. g. Veränderungen haben Auswirkungen auf die Auslegung des Notausstiegsystems. Als Notausstiegsystem werden Einrichtungen im Reisebus zur Unterstützung der Eigen- und Fremddrettung verstanden.

Als Komponenten des Notausstiegsystems sind zu nennen:

- Betriebstüren und Nottüren, das heißt deren Anzahl, Lage, Öffnungskinetik, Betätigung und Verriegelung;
- Notluken als Dach- oder Bodenluken;
- Notfenster, speziell deren Öffnungsmechanismen, wenn schwer zerstörbares Verbundsicherheitsglas (VSG) an Stelle von Einscheibensicherheitsglas (ESG) eingesetzt wird;
- das Sitzrastrer und die Seitenverstellung der Bestuhlung, das heißt die Auswirkungen auf den Gangverlauf und die Gangbreite sowie die Gestaltung von Sitzverstellungen, Armlehnen und Fußstützen;
- Innenausbauten wie Gepäckunterbringung, Schranken, Stufenküchen, Toiletten und Fahrer nebensitze;
- Haltegriffe und -stangen als Stand- und Gehhilfen sowie Ausstiegshilfen, die für Aufgaben der Rettung und Bergung geeignet sind;
- Kennzeichnung, Wegweisung, Beleuchtung und weitergehende Kommunikationshilfen.

Als zusätzliche Problematik wurden die Beeinflussung der oben genannten Komponenten durch unfallbedingte Deformationen sowie das Brandverhalten der Innenausstattung in diesem Projekt untersucht. Weiterhin sind personenbedingte Faktoren wie die Größe und die Betätigungskräfte der Passagiere, eine eventuelle Rollstuhlbenutzung oder körperliche Behinderung bis hin zur Bewegungsunfähigkeit bei der Bergung Verletzter, zu berücksichtigen.

Ein weiterer Untersuchungsschwerpunkt sind die Betätigungen bzw. die Verriegelungen von Notausstiegsystemen. Hierbei wurde unter anderem un-

tersucht, ob durch automatisch aktivierte Systeme (in Verbindung mit einem Crashesensor) eine Verbesserung des Notausstiegsvorganges zu erwarten ist. Durch einen Vergleich mit anderen Verkehrssystemen, wie Flugzeuge und Bahnen, lassen sich eventuell weitere Schwachstellen bzw. Lösungsansätze ableiten.

2 Vorgehensweise und Zielsetzung

Entsprechend der Aufgabenstellung durch die BASt geschah die Bearbeitung des Projektes in folgenden Schritten:

Betrachtet wurden im Folgenden nur Reisebusse der Klassen III bzw. B (Fahrzeuge, die ausschließlich für die Beförderung sitzender Fahrgäste gebaut sind). Grundlage für alle weiterführenden Arbeiten war das nationale und europäische Regelwerk. Aus diesem Grund wurden die entsprechenden Paragraphen in Anlage V systematisch zusammengestellt und verglichen. Ergänzend wurden die teilweise erheblich abweichenden Regelungen in den USA, Japan und Australien betrachtet. Die Kernaussagen der einzelnen Länder wurden tabellarisch zusammengefasst, um einen bestmöglichen Überblick zu erhalten.

Eine erste Schwachstellenanalyse aus Hersteller- bzw. Konstrukteurssicht wurde erstellt. Basis hierfür war eine international angelegte Literatur- und Patentrecherche mit besonderer Berücksichtigung der EU-Länder und Ländern in denen die ECE-Regelungen angewendet werden, sowie wiederum der USA, Japan und Australien.

Darauf folgten Expertengespräche in der Fahrzeug- und Zulieferindustrie sowie international tätigen Prüforganisationen. Hier wurden die bestehenden und in der Entwicklung befindlichen konstruktiven Lösungen von Rohbau, Ausbau und Innenausstattung von Reisebussen ermittelt und systematisiert.

Eine zweite Schwachstellenanalyse beinhaltete die Aspekte des Gebrauchs und Missbrauchs sowie des Notfalls und der Rettung.

Als Ausgangslage dienten Einsatzberichte und Befragungen von Feuerwehr und THW sowie Unfallgutachten. Außerdem wurden Busunternehmen und deren Fahrer befragt. Hieraus resultieren Erkenntnisse über den täglichen Gebrauch von Kom-

ponenten des Notausstiegssystems. Ergänzend wurden bereits durchgeführte Evakuierungsversuche eines Reisebusses in Normallage betrachtet. Die Notausstiegselemente wurden zunächst einzeln und anschließend im Zusammenspiel untersucht.

Als nächster Schritt wurden Evakuierungsversuche am Reisebus in Seitenlage durchgeführt. Sie dienten dazu, die bisher gewonnenen Erkenntnisse näher zu untersuchen, zu ergänzen und zu belegen, sowie dazu, neue Erkenntnisse zu gewinnen.

Die Versuche erfolgten in drei Schritten:

- Eigenrettung: Gruppenversuche;
- Eigenrettung: spezielle Situationen werden mit Einzelpersonen durchgespielt;
- Fremdrettung durch Rettungskräfte von außen.

Besonderes Augenmerk wurde auf die Ergonomie des Notausstiegsvorgangs gelegt.

Die Evakuierungsversuche wurden durch CAD-Simulationen mittels des CATIA-Moduls RAMSIS erweitert.

In einem Workshop mit Experten aller betroffenen Bereiche wurden die erarbeiteten Schwachstellen und Lösungsmöglichkeiten diskutiert, systematisiert und hinsichtlich ihrer Relevanz bewertet. Die Ergebnisse flossen in die entsprechenden Kapitel des Berichtes ein. Eine Teilnehmerliste findet sich in Anhang VII.

Die gewonnenen Erkenntnisse wurden zu einem „Lastenheft für ein optimiertes Notausstiegssystem bei Reisebussen“ zusammengefasst.

Die nach der Bearbeitung der oben genannten Arbeitspunkte noch offen stehenden Fragen wurden als Forschungsbedarf formuliert.

3 Ausgangslage

3.1 Unfalltypen und zugrunde liegendes Datenmaterial

Seit Mitte der 80er Jahre werden Daten über Busunfälle von den Prüf- und Versicherungsorganisationen gezielt gesammelt und ausgewertet. Eine Vorreiterrolle spielt hier die „Zentrale Unfallauswertung im Straßenbau in Bayern“, die seit 1976 alle Unfälle in Bayern zentral sammelt und auswertet.

Seit 1998 wird hier die Kategorie der Reisebusse getrennt erfasst. Die verschiedenen Datensätze der einzelnen Organisationen umfassen Unfallmerkmale wie

- Kollisionsart,
- Unfallort,
- Unfallart,
- Aufprallart,
- Überdeckungsgrad,
- Kollisionsgeschwindigkeit,
- Witterungs- und Straßenverhältnisse,
- Bustyp,
- Busalter zum Unfallzeitpunkt,
- Beschädigung innen,
- Beschädigungen außen,
- Anzahl der Fahrgäste,
- Verletzungsschwere und -verteilung nach Sitzplatz.

Entsprechend umfangreiche Auswertungen finden sich zudem in dem BAST-Bericht „Zur Sicherheit von Reiseomnibussen“ [1] oder in der Veröffentlichung „Sicherheit von Bussen - Analysen, Ergeb-

Unfallart	Anzahl	Prozent
Abkommen von der Fahrbahn + Umkippen	5	10,2
Abkommen von der Fahrbahn + Hindernisaufprall	4	8,2
Gegenverkehrsunfall	21	42,9
Gegenverkehrsunfall + Abkommen von der Fahrbahn + Umkippen	1	2
Gegenverkehrsunfall + Abkommen von der Fahrbahn + Überschlag	1	2
Gegenverkehrsunfall + Abkommen von der Fahrbahn	1	2
Ausweichmanöver + Abkommen von der Fahrbahn + Umkippen	1	2
Auffahrunfall auf anhaltenden Lkw/Kom/Pkw	5	10,2
Auffahrunfall auf vorausfahrenden Lkw	3	6,1
Auffahrunfall auf stehenden/parkenden Lkw	3	6,1
Kollision mit einbiegenden Pkw	1	2
Kollision im Kreuzungsbereich	2	4,1
Kollision mit überholtem Traktor	1	2
Insgesamt	49	100

Tab. 1: Unfallarten der 49 Fälle [2]

nisse und Bewertungen der DEKRA-Unfallforschung“ [18, 19]. Daten über den Evakuierungsvorgang selbst findet man aber in keinem dieser Datensätze. Um an ergänzende Informationen zu gelangen, wurden deshalb Unfallgutachten ausgewertet und die beteiligten Rettungsdienste befragt.

Einige der erfassten Daten lassen aber Schlussfolgerungen auf den Evakuierungsvorgang zu. So lässt beispielsweise die Endlage des Busses Schlussfolgerungen über die nach dem Unfall noch zur Verfügung stehenden Notausstiege zu. Zudem lässt sich grob durch die Verletzungsart und die Verletzungsschwere abschätzen, ob die Insassen noch zu einer Eigenrettung fähig waren und die Verletzungen beim Unfall selbst oder bei der Evakuierung auftraten.

3.1.1 Unfallart

Für die weiterführende Betrachtung sind folgende Hauptunfallarten von besonderer Bedeutung. Tabelle 1 zeigt deren Häufigkeit. Ausgangslage waren 49 Reisebusunfälle aus den Jahren 1985-1993, die bei der DEKRA erfasst wurden [2].

Die Daten der Tabelle 1 zeigen, dass die Aufprallart „Umkippen/Überschlag“ jeweils im Zusammenhang mit der Unfallart „Abkommen von der Fahrbahn“ auftritt. Die Unfallart „Gegenverkehrsunfall“, die mit 42,9 % den größten Anteil ausmacht, entfällt je zur Hälfte auf die Kollisionsart „Kom/Lkw“ (11 Fälle) und „Kom/Kom“ (8 Fälle). Zweimal wurde diese Unfallart bei der Kollisionsart „Kom/Kom“ notiert. In 8 von insgesamt 11 Fällen steht die Unfallart „Auffahrnfall“ im Zusammenhang mit der Kollisionsart „Kom/Lkw“. Die übrigen Unfallarten haben für die weitere Untersuchung keine Bedeutung [22].

Aus diesen Unfallarten resultieren Beschädigungen am Bus. Wie die anteilmäßige Verteilung dieser Beschädigungen verteilt ist, zeigt Bild 2.

3.1.2 Verletzungsverursachende Teile der Innenausstattung

Die für den Insassen gefährlichsten Unfalltypen sind Umsturzunfälle und Kollisionen mit Lkw. Obwohl der Busumsturz hier nur einen Anteil von 42,1 % hat, sind hierbei 52,2 % der Schwerverletzten und 92,3 % der getöteten Businsassen zu verzeichnen [10]. Welche Fahrzeugteile die Verletzungen der Fahrgäste hervorrufen, zeigt Bild 3.

Besonders häufig werden als Verletzungsursache beim Umsturz Sitze/Kopfstützen, die Seitenscheiben und der Dachbereich genannt. Das Aufprallen auf die Sitze ist im Grunde zwangsläufig, da es das Ausstattungselement ist, das sich in unmittelbarer Nähe des Buspassagiers befindet. Da andererseits die Sitze auch bei fast allen anderen Kollisionstypen mit teilweise nur leicht verletzten Insassen als verletzungsverursachend genannt werden, liegt die Vermutung nahe, dass Sitze meist nur zu leichten Verletzungen führen. Die häufigen Nennungen des Dachbereichs, wozu auch die Kleingepäckablage und mit Einschränkungen Seitenscheiben zu zählen sind, weisen wiederum auf das Herumschleudern von Insassen während des Kippvorganges hin. Zur Verbesserung der passiven Sicherheit von Reisebussen könnte eine energieabsorbierende Polsterung dieser Ausstattungselemente

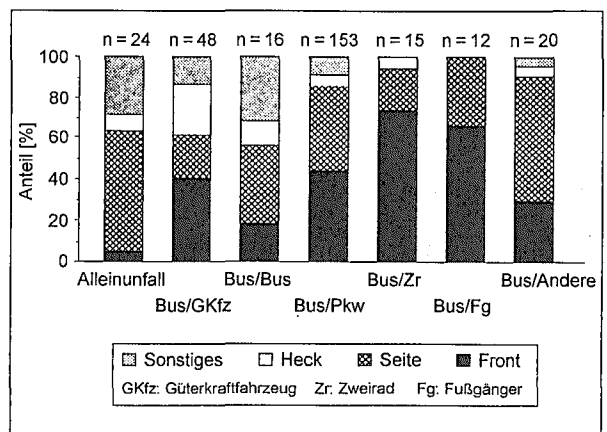


Bild 2: Lage der Hauptbeschädigungen am Bus [19]

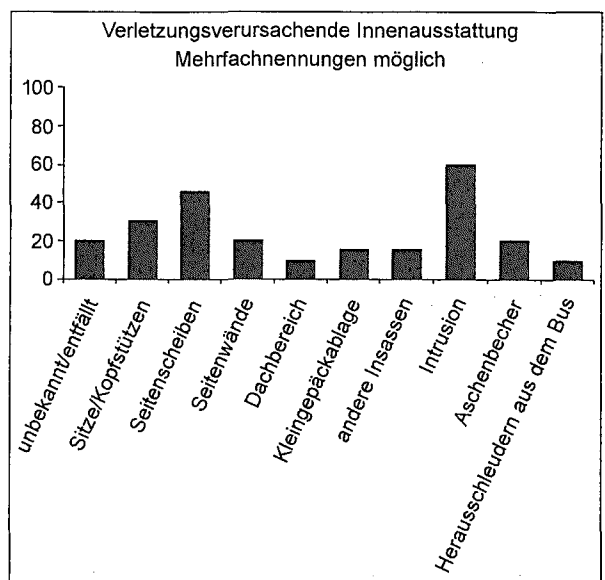


Bild 3: Verletzungsverursachende Teile der Innenausstattung (Häufigkeit in %) [2]

einen Beitrag leisten. Dies betrifft auch die Aschenbecher, die bei anderen Kollisionstypen häufig als Verletzungsverursachend genannt werden [2].

Auffällig ist, dass mehr als die Hälfte der getöteten Mitfahrer älter als 65 Jahre ist. Auch bei den Verletzten nimmt diese Altersgruppe einen Anteil von rund einem Drittel ein [17]. Gründe für diese Auffälligkeit ist, dass wesentlich mehr ältere Menschen den Bus als Beförderungsmittel benutzen und die biomechanische Belastungsgrenzen dieser Personengruppe niedriger als die von jüngeren Personen sind.

3.1.3 Endlage des Busses nach dem Unfall

Im Zusammenhang mit der Evakuierung der Insassen von Bussen ist die Endlage des Fahrzeuges von Bedeutung, da hierdurch Teile des Notausstiegssystems für die Insassen und die Rettungskräfte zur Evakuierung nicht genutzt werden können. Dabei ist unter der Endlage die Position des Busses nach Fahrzeugstillstand, das heißt nach der Auslaufphase des Unfallgeschehens, also in aufrechter, in Seiten- oder in Dachlage, zu verstehen [22].

Wegen der relativ geringen Anzahl an Reisebusunfällen gibt es jedoch keine ausreichend genauen und zum Teil widersprüchlichen Ergebnisse bezüglich der Endlage des Busses. Eine Untersuchung von 46 Fällen aus den Jahren 1986 [22] kommt zu einer Aufteilung, wie in Tabelle 2 dargestellt.

Beim Abkommen von der Fahrbahn (Bundesautobahnen BAB ohne Fremdeinwirkung), mit eventuell nachfolgendem Umsturz, kam 1991 mehr als die Hälfte der Busse nach links von der Fahrbahn ab. 1985 war es noch umgekehrt: Fast 2/3 kamen nach rechts von der Autobahn ab [1]. Zu beachten ist, dass das Abkommen nach einer Seite nicht zwangsläufig die Umsturzseite darstellt, und somit sind diese Ergebnisse keine verlässlichen Indikatoren für die Bestimmung der Endlage.

Endlage des Busses (n = 46)	Häufigkeit (in Prozent)
auf den Rädern	73,9
auf der Fahrerseite	6,5
auf der Beifahrerseite (Seite der Betriebstüren)	15,2
auf dem Dach	2,2
nach dem Überschlag auf den Rädern	2,2

Tab. 2: Endlage des Busses [22]

Der Überschlag des Reisebusses ist ein extrem seltenes Ereignis. Er ist nur an einer extrem steilen und tiefen Böschung bzw. an ausgeprägten Geländestufen möglich. Eine Simulation eines Busherstellers zeigt, dass eine steile und kurze Böschung (z. B. 60° Böschungswinkel, 2 m Tiefe) auch bei einer großen Anfangsrotationsgeschwindigkeit um die Fahrzeuglängsachse für einen Überschlag nicht ausreichend ist [5].

Den ungünstigsten Fall bezüglich der verbleibenden Notausstiege stellt die Seitenlage dar, weil die Notausstiege einer gesamten Fahrzeugseite ausfallen. Deshalb wurde diese Endlage des Busses im weiteren Verlauf in Evakuierungsversuchen und CAD-Simulationen näher untersucht.

3.1.4 Überlebensraum

Eine der Grundvoraussetzungen für die Selbstbefreiung Verunglückter aus dem Businnenraum ist deren psychische und physische Unversehrtheit nach dem Notfallereignis. Nur wenn der Überlebensraum an jeder Sitzposition sichergestellt wird, ist der für ein Entkommen aus dem Fahrzeuginnenraum erforderliche Entscheidungs- und Handlungsspielraum des Einzelnen gewährleistet [6].

Der Fahrgastraum ist besonders bei Kollisionen mit Lkw und anderen Bussen sowie beim Überschlag gefährdet, da hier große Deformationen auftreten können. Diesen Unfalltypen sind 92,3 % der getöteten Businsassen zuzuordnen [10]. Die ECE-R 66 regelt deshalb die Strukturfestigkeit beim Überschlag. Das Verhalten der Busstruktur wird hierbei primär durch die Eigenschaften der Fenstersäulen geprägt. Diese dürfen einerseits nicht zu steif sein, um die Fahrzeugverzögerung beim Überschlag nicht auf ein insassenunverträgliches Maß ansteigen zu lassen. Andererseits soll auch ein ausreichender Überlebensraum der Businsassen gewährleistet sein [22]. Eine tragende Rolle neben den Fenstersäulen spielen auch Überrollbügel, siehe Bild 4. Er besitzt im

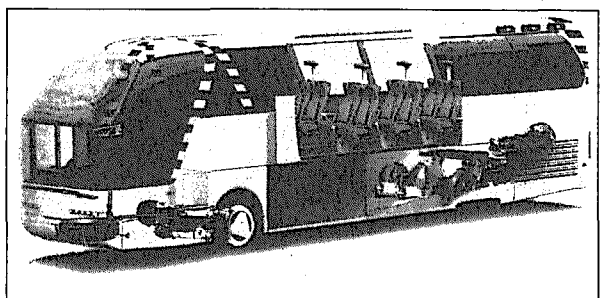


Bild 4: Überrollbügel eines modernen Reisebusses [11]

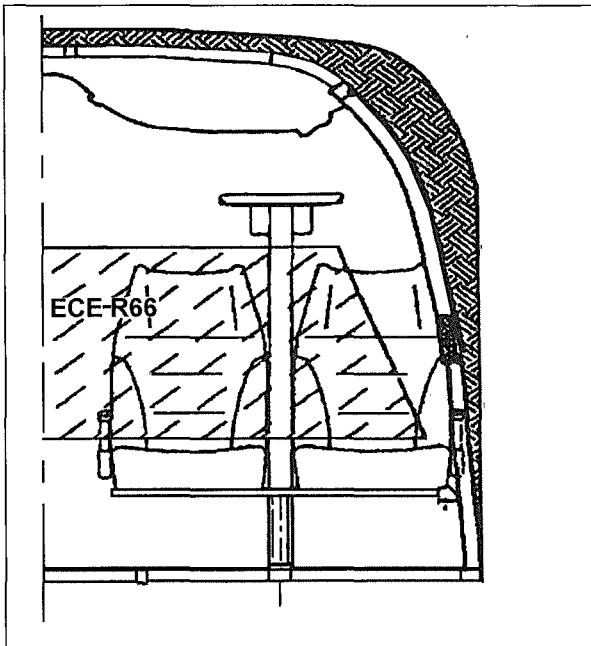


Bild 5: Neuer Sitztyp mit Mittelkonsole [11]

vorderen Wagenbereich eine Dreieckssäule, die als Überrollbügel so ausgestattet ist, dass sie Kräfte aus allen drei Richtungen aufnehmen kann. Parallel zu diesem Überrollbügel ist eine zweiter Überrollschutz in das Wagenheck integriert.

Im Gegensatz zu dem Umsturzversuch nach ECE-R 66 auf eine ebene Fläche kann ein lokales Versagen, wie es bei realen Unfällen beim Auftreffen auf unebene Flächen auftritt, mit einer solchen Konstruktion nicht verhindert werden [10]. Eine interessante Ergänzung sind deshalb Doppelsitze mit über den Kopfstützen herausstehender Mittelkonsole. Sie nimmt unter anderem die Sicherheitsgurte auf, bietet jedoch auch die Möglichkeit, bei einem vollständigen Umsturz des Fahrzeuges ca. 2 t pro Doppelsitzbank aufzunehmen. Bei gleichmäßiger Verteilung und 22 solcher Mittelkonsolen können hier bis zu 44 t abgestürzt werden, ohne dass der Überlebensraum (in Bild 5 schraffiert dargestellt) der angegurtenen Fahrgäste beeinträchtigt wäre [11].

4 Vergleich der nationalen und internationalen Regelungen

Im Folgenden sind die einzelnen Regelungen für Europa, die USA, Australien sowie Japan in ihren wichtigsten Punkten verglichen worden, da teilweise erhebliche Abweichungen bestehen. Zielsetzung war, sowohl einen Anhaltspunkt für deutsche

Bushersteller zu geben, die für andere Märkte produzieren, sowie Vorteile der Regelungen anderer Länder zu erkennen.

Es wurden folgende Regelwerke verglichen:

- Für Europa: ECE-R 36, 52 und 107 sowie die im Februar 2002 neu veröffentlichte Richtlinie 2001/85/EG (siehe „Zusammenfassung der europäischen Regelungen“ in Anlage V) [27, 28, 29, 30]
- Für die USA: FMVSS 217 Bus emergency exits and window retention and release [35]
- Für Australien: ADR 58 Requirement for omnibuses designed for hire and reward [36]
- Für Japan: Safety regulations for road vehicles, Article 26: Emergency exits [34]

Die StVZO für Deutschland wurde hier nicht weiter betrachtet, da kein Hersteller nur ausschließlich für den deutschen Markt produziert und die Unterschiede zu den ECE-Regelungen gering sind. Eine Abweichung jedoch ist die Höhe der ersten Stufe über der Fahrbahn von 400 mm. Die ECE-Richtlinien erlauben für Klasse A und I höchstens 360 mm. Des Weiteren sind Schiebetüren in der StVZO als Notausstiege nicht zulässig, bei Kleinbussen erlaubt sie die ECE-R 52 unter bestimmten Bedingungen.

4.1 Definition „Bus“

Tabelle 3 ist zu entnehmen, ab wann in den einzelnen Ländern ein Fahrzeug als Bus bezeichnet wird. Zu erkennen ist die Grenze von 4,5 bis 5 t zwischen leichten und schweren Bussen.

	Passagiere	Klassen	Notausstiege
Europa	≥ 8	M2 (≤ 5t) M3 (> 5t)	immer
USA	≥ 10	≤ 10.000 pound (4,536 t) ≥ 10.000 pound (4,536 t)	immer
Australien	—	Light Omnibus MD1 (≤ 3,5 t; ≤ 12 Sitzplätze) bis MD4 (≤ 5 t; > 12 Sitzplätze) Heavy Omnibus ME (> 5 t)	ab 11 Sitzplätze
Japan	≥ 10	—	a) ≥ 30 Sitzplätze oder b) Transport von Kindern

Tab. 3: Länderspezifische Busdefinitionen

4.2 Mindestanzahl der Notausstiege

Sie wird in Europa definiert als die Anzahl der Notausstiege pro Raum bzw. Deck, in den anderen Ländern als Anzahl pro Bus. Die Mindestanzahl der Notausstiege ist im Allgemeinen abhängig von der Sitzplatzanzahl.

Europa

Sitzplätze	Notausstiege
1-8	2
9-16	3
17-30	4
31-45	5
46-60	6
61-75	7
76-90	8
91-110	9

Tab. 4: Mindestanzahl der Notausstiege

USA

Hier gibt es 2 Möglichkeiten, unter denen der Konstrukteur wählen kann. Im ersten Fall ist eine Hecknottür vorgegeben. Die zusätzlich erforderlichen Notausstiege können den unten stehenden Tabellen entnommen werden. Der zweite Fall erfolgt analog, hier ist eine Seitentür links und ein Heck-Push-Out-Fenster vorgegeben.

Fall I: 1 Hecktür und zusätzlich

Sitzplätze	Notausstiege
1-45	kein weiterer
46-62	1 Tür links oder 2 Notfenster
63-70	1 Tür links oder 2 Notfenster und 1 Dachluke
> 70	1 Tür links oder 2 Notfenster und 1 Dachluke und eine beliebige Kombination aus Türen, Fenstern und Luken, so dass ihre Punkte (aus Tabelle 7) + 70 die Sitzplatzanzahl überschreiten

Tab. 5: USA - Fall I

Fall II: 1 Seitentür links, 1 Heck-Push-Out-Fenster und zusätzlich

Sitzplätze	Notausstiege
1-57	kein weiterer
58-74	1 Tür links oder 2 Notfenster
75-82	1 Tür links oder 2 Notfenster und 1 Dachluke
> 82	1 Tür links oder 2 Notfenster und 1 Dachluke und eine beliebige Kombination aus Türen, Fenstern und Luken, so dass ihre Punkte (aus Tabelle 7) + 82 die Sitzplatzanzahl überschreiten

Tab. 6: USA - Fall II

Ausstiegstyp	Punkte
Seitentür	16
Fenster	8
Dachluke	8

Tab. 7: Punkte je Ausstiegstyp (zur Berechnung in Tabelle 5/6)

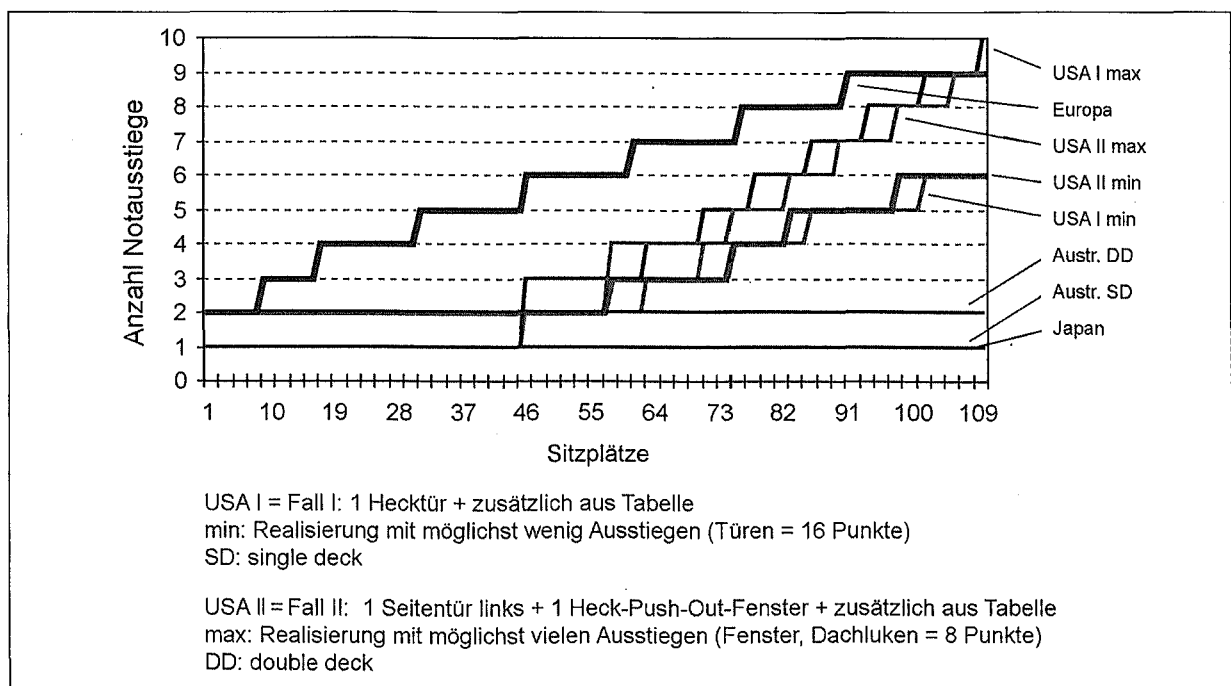


Bild 6: Übersicht über die Mindestanzahl der Notausstiege in Abhängigkeit von der Fahrgastzahl

Australien

Hier sind bei einstöckigen Bussen einer, bei Doppelstockfahrzeugen zwei Notausstiege erforderlich.

Japan

Unabhängig von Fahrgast- oder Deckanzahl wird lediglich ein Notausstieg vorgeschrieben.

Mit der europäischen Mindest-Notausstiegsanzahl werden somit die Regelungen der anderen Länder bei weitem übertroffen. Dies verdeutlicht Bild 6.

4.3 Notausstiegsarten

Die zur Zeit erhältlichen Notausstiegsvarianten sind, wie Tabelle 8 zeigt, nicht in allen betrachteten Ländern zugelassen:

	Tür seitlich	Tür hinten	Klapp- Fenster	Schiebe- Fenster	ESG Fenster	Heck- Fenster	Dach- luke	Boden- luke
Europa	X	X	X	X	X	X	X	(X)*
USA	X	X	X	X	X	X		
Australien	X	X	X	X	X	X		
Japan	X	X						

* Das bisherige ECE-Reglement sprach nur von Notluken, definiert als Dachöffnung. Zukünftig erfolgt jedoch eine Erweiterung auf Bodenluken. (siehe Richtlinie 2001/85/EG)

Tab. 8: Länderspezifische Zulassung der Notausstiegsvarianten

4.4 Mindestgröße der Notausstiege

	Tür	Heck-Fenster	Fenster	Dachluke	Bodenluke
Europa bis 3,5 t & 12 Sitzplätze:	1250 mm x 550 mm	1550 mm x 350 mm	0,4 m ²	0,4 m ²	0,4 m ²
	1100 mm x 550 mm				
USA (school bus)	1140 mm x 610 mm	1220 mm x 410 mm	Ellipse d1 = 330 mm; d2 = 550 mm	410 mm x 410 mm	
Australien	small omnibus: 1200 mm x 550 mm	small omnibus: 0,52 m ²	small omnibus: 0,52 m ²	0,32 m ²	
	large omnibus: 1375 mm x 550 mm	large omnibus & DD: 0,7 m ²	large omnibus & DD: 0,7 m ²		
Japan	1200 mm x 400 mm				

Tab. 9: Länderspezifische Mindestgröße der Notausstiege

4.4.1 Erläuterungen zur Mindestnotausstiegsgröße

Die Mindestnotausstiegsgröße ist folgendermaßen geregelt:

Europa

Die Abmessungen der 0,4 m² Mindestnotausstiegsfläche können nicht völlig frei gewählt werden. Den Notfenstern und -luken muss ein Rechteck von 500 mm x 700 mm einbeschrieben werden können.

Bei dem Heckfenster dürfen die Ecken mit R ≤ 250 mm abgerundet sein.

Der Abstand der unteren Kante der Notfenster zum Boden darf betragen:

- bei Klapp-Notfenster zwischen 650 mm und 1000 mm
- bei ESG-Notfenster zwischen 500 mm und 1000 mm

USA

Die erforderliche Notausstiegsgesamtgröße errechnet sich nach der folgenden Formel:

Gesamtfläche = mindestens 432 x Sitzplatzanzahl in cm²

Die Fenster und die seitlichen Luken müssen das Durchführen eines Ellipsoides, entstanden aus einer Ellipse (d1 = 330 m, d2 = 500 m) rotierend um d1 (vertikale Achse) erlauben.

Bei den Nottüren gibt es keine Angabe der Größe für Reisebusse. Ersatzweise wurden die Angaben von Schulbussen verwendet.

Australien

Hier erfolgt neben der Unterteilung nach dem Gewicht nach light und heavy omnibus auch noch eine Unterteilung nach der Sitzplatzanzahl:

- Small Omnibus: ≤ 25 Sitzplätze,
- Large Omnibus: > 25 Sitzplätze.

Jede einzelne Abmessung des Notausstieges muss mindestens 500 mm betragen.

Für die Nottüren waren keine Größenangaben vorhanden, deshalb sind hier die Abmessungen für Betriebstüren angegeben.

Bei Notfenstern bzw. seitlichen Luken muss sich die untere Kante des Ausstieges zwischen 500 mm und 1000 mm vom Boden aus befinden.

Japan

Die Regelung spricht als einzigen Notausstieg nur von Nottüren mit den Abmaßen 1200 mm x 400 mm (Höhe x Breite). In unvermeidbaren Fällen kann es eine Reduzierung der Breite im unteren Teil der Tür geben:

- bei vorstehende Radabdeckungen: ≥ 250 mm bis zu einer Höhe von 450 mm
- nach vorne gerichtete Sitze: ≥ 300 mm bis zu einer Höhe von 650 mm

Bei Bussen für (Klein-)Kinder und maximal 30 Passagiere betragen die Mindestmaße 1000 mm x 300 mm (Höhe x Breite).

4.5 Lage der Notausstiege

Europa

Eine Betriebstür, die unter Umständen als Nottür genutzt werden kann, muss sich in der rechten vorderen Hälfte befinden. Der Abstand zwischen zwei Türen beträgt mindestens 40 % der Fahrzeuggesamtlänge.

Die Dachluken befinden sich im mittleren Drittel des Fahrgastraumes. Zwischen zwei Luken muss der Mindestabstand 2 m betragen.

Jede Seite des Busses muss die gleiche Anzahl von Notausstiegen haben. Die Notausstiege müssen gleichmäßig über die Fahrzeuglänge verteilt sein und mindestens ein Notausstieg muss sich in der Front oder im Heck befinden. Dies gilt bei Doppelstockfahrzeugen zusätzlich im Oberdeck.

Bis 22 Passagiere ist ein Notausstieg in Front oder Heck nur erforderlich, wenn keine Dachluke vorhanden ist.

USA

Es gibt zwei Kategorien, die unter 5.2.2 und 5.2.3 aufgeführt werden. Die Hersteller allgemeiner Busse können zwischen beiden wählen, Schulbusse müssen 5.2.3 entsprechen.

5.2.2

a) $\leq 4,536$ t

Die Notausstiege müssen sich an Seite und Heck befinden. Wenn dies im Heck nicht möglich ist, kann der Notausstieg alternativ in der hinteren Hälfte des Daches angeordnet werden.

b) $> 4,536$ t

Die Notausstiege können als Türen oder Fenster gebaut werden.

5.2.3

a) Im ersten Fall ist eine Hecktür vorgegeben, die zusätzlich erforderlichen Notausstiege ergeben sich aus Tabelle 10 und 12.

Sitzplätze	Notausstiege
1-45	kein weiterer
46-62	1 Tür links oder 2 Notfenster
63-70	1 Tür links oder 2 Notfenster und 1 Dachluke
> 70	1 Tür links oder 2 Notfenster und 1 Dachluke und eine beliebige Kombination aus Türen, Fenstern und Luken, so dass ihre Punkte (aus Tabelle 12) + 70 die Sitzplatzanzahl überschreiten

Tab. 10: Hecktür und zusätzlich erforderliche Notausstiege

b) Im zweiten Fall sind eine Seitentür links und ein Heck-Push-Out-Fenster vorgegeben, die zusätzlich erforderlichen Notausstiege ergeben sich wiederum systematisch aus Tabelle 11 und 12:

Sitzplätze	Notausstiege
1-57	kein weiterer
58-74	1 Tür links oder 2 Notfenster
75-82	1 Tür links oder 2 Notfenster und 1 Dachluke
> 82	1 Tür links oder 2 Notfenster und 1 Dachluke und eine beliebige Kombination aus Türen, Fenstern und Luken, so dass ihre Punkte (aus Tabelle 12) + 82 die Sitzplatzanzahl überschreiten

Tab. 11: Seitentür links und Heck-Push-Out-Fenster mit zusätzlich erforderlichen Notausstiegen

Ausstiegstyp	Punkte
Seitentür	16
Fenster	8
Dachluke	8

Tab. 12: Punkte je Ausstiegstyp (zur Berechnung in Tabelle 10/11)

Generell gilt für die USA:

Lage der Nottüren:

1. Nottür, seitlich: links in der Mitte des Fahrgastraumes
2. Nottür, seitlich: rechts
3. Nottür, seitlich: rechts oder links

Es dürfen jeweils keine 2 Türen im selben Segment angeordnet sein.

Lage der Dachluken:

- 1 Dachluke: in der Mitte des Fahrgastraumes
- 2 Dachluken: jeweils in der Mitte der vorderen und hinteren Hälfte des Fahrgastraumes
- 3 Dachluken: gleichmäßig über die gesamte Länge des Fahrgastraumes verteilt

Lage der Notfenster:

Ihre Anzahl muss links und rechts gleich sein.

Australien

Die Notausstiege befinden sich

- a) im Heck;
- b) im Dach mit einem zusätzlichen Notausstieg in der rechten Seite jeweils in der hinteren Hälfte des Passagierabteils;
- c) bei Doppelstockfahrzeugen (DD): 1 Notausstieg unten, 1 Notausstieg oben, jeweils im Hinterteil des Busses angeordnet.

Japan

Die vorgeschriebene Nottür befindet sich rechts oder im Heck.

4.6 Kinematik und Betätigungskräfte

Europa

Alle Notausstiege müssen von außen und innen zu öffnen sein, eine Verriegelung von außen ist aber zu

Parkzwecken zulässig. Bei Entriegelung eines Notausstieges ergeht eine Warnung an den Fahrer.

Die Nottüren müssen sich ohne Hilfskraft öffnen lassen. Ihr Scharnier bzw. ihre Aufhängung muss sich vorne befinden. Die Öffnung erfolgt nach außen. Der äußere Handgriff zur Öffnung ist in einer Höhe von maximal 1800 mm über dem Boden angebracht.

Klappfenster müssen sich nach außen öffnen und offen gehalten werden. Notluken dürfen abwerfbar, klappbar oder aus leicht zerstörbarem Sicherheitsglas sein. Es gibt keine Angaben über die zulässigen Betätigungskräfte zur Notausstiegsöffnung.

USA

Die Nottüren müssen sich ohne Hilfskraft öffnen lassen. Ihr Scharnier bzw. ihre Aufhängung muss sich vorne befinden. Die Öffnung erfolgt nach außen wobei die Türen offen gehalten werden müssen.

Bei der Dachluke befindet sich das Scharnier bzw. die Aufhängung vorne. Sie öffnen nach außen und müssen sich von innen und außen öffnen lassen.

Klappfenster müssen sich nach außen öffnen und offen gehalten werden, alternativ sind Schiebefenster zulässig.

Erfolgt die Verriegelung des Notausstieges mit einem Verschluss, so muss dieser mit 2 Bewegungen zu öffnen sein. Sind am Notausstieg zwei Verschlüsse angebracht, so müssen diese mit jeweils einer Bewegungen geöffnet werden können. Zur Verriegelung eines Notausstieges sind maximal zwei Verschlüsse bzw. Verriegelungen zulässig. Bei der Entriegelung muss eine Warnung an den Fahrer ergehen.

Es gibt zwei Bereiche für die Größe der Betätigungskraft:

- Low-Force-Access-Region: 89 N,
- High-Force-Access-Region: 178 N.

Siehe hierzu „Figure 1–3“ in der FMVSS 217 in Anlage I.

Australien

Die Notausstiege müssen sich nach außen öffnen lassen.

Bei Fenster und Luken beträgt die zulässige Öffnungskraft 445 - 700 N.

Es besteht eine Öffnungsmöglichkeit von innen und von außen.

Japan

Die vorgeschriebene Nottür öffnet nach außen und darf sich nicht durch ihr Eigengewicht wieder schließen. Die Öffnung muss ohne Werkzeug oder Schlüssel erfolgen können.

4.7 Mindestbreite der Zugänge

Europa

Um die Mindestbreite der Zugänge zu gewährleisten, muss das Hindurchführen des Prüfkörpers nach Bild 7 möglich sein.

Die Breite des unteren Zylinders des Prüfkörpers beträgt für Klasse III 300 mm, der obere hat einen Durchmesser von 450 mm. Bei Fahrzeugen der Klasse III dürfen die Sitze auf einer oder beiden Seiten des Durchgangs seitlich verschiebbar sein. In diesem Fall kann die Breite des Durchgangs auf einen Wert verringert werden, der dem Durchmes-

ser von 220 mm für den unteren Zylinder entspricht, vorausgesetzt, die Betätigung einer an jedem Sitz befindlichen und von einer im Gang stehenden Person leicht erreichbaren Einrichtung gestattet es, den Sitz selbsttätig, auch wenn er besetzt ist, in eine Position zurückzufahren, die einer Mindestbreite von 300 mm entspricht (siehe auch die Zusammenfassung der Europäischen Regelungen in der Anlage V: 5.7.1 Zugang zu den Betriebstüren).

USA

In den USA beträgt die Mindestbreite des Ganges zwischen Tür und Mittelgang 300 mm. Für den Mittelgang gibt es keine Angaben.

Australien

Die Gangbreite in Australien für einen „large omnibus“ und Doppelstockfahrzeuge ist mit 380 mm vorgeschrieben. Wenn keine Stehplätze vorhanden sind, beträgt die Mindestbreite, bei allen Bustypen, 300 mm.

Japan

Für Japan gibt es keine Angaben.

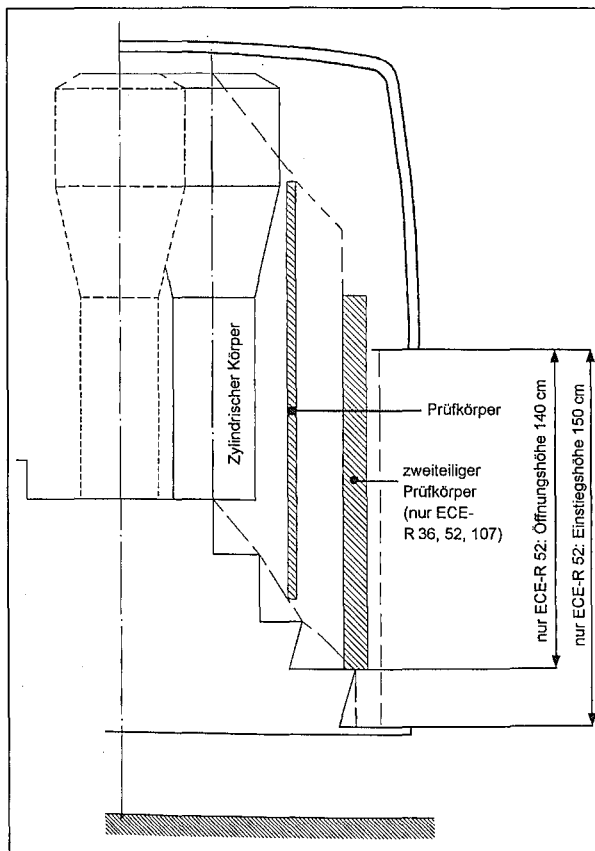


Bild 7: Zugang zu den Betriebstüren [27, 28, 29]

5 Aspekte der Reisebuskonstruktion

Im Vergleich zu Pkw und Lkw ist der Reisebussektor ein relativ kleiner Markt. Die Hersteller exportieren nahezu weltweit, teils mit eigenen Produktionsstätten vor Ort. Homologationsabteilungen sichern die Einhaltung der Vorschriften der jeweiligen Exportländer.

Die Produktion der Reisebusse ist handwerklich geprägt und nur teilweise automatisiert. Der daraus resultierende Vorteil ist die große Flexibilität bezüglich der individuellen Ausstattungsvarianten. Die Hersteller können schnell auf Kundenwünsche reagieren. Sonderanfertigungen oder Berücksichtigungen länderspezifischer Besonderheiten, wie z. B. Hecknottüren für den japanischen Markt, stellen kein größeres Problem dar. Um die Kosten trotz dieser Typenvielfalt gering zu halten, modularisieren die Hersteller ihre Produkte und verwenden vorgefertigte und bauartgeprüfte Einbauteile wie z. B. Dachluken.

Außerdem sind zahlreiche Patente der Hersteller ein Beleg für die Entwicklungen im Sicherheitsbereich. Auffällig ist, dass vieles davon noch nicht umgesetzt wird, obwohl es technisch realisierbar wäre. Ausschlaggebend für die Einführung neuartiger Komponenten ist der Kundenwunsch, das heißt der Bedarf der Busunternehmer und seiner Fahrgäste.

Ein Mehrpreis für nicht sichtbare Sicherheitstechnik, wie z. B. eine nach dem Öffnen des Heckfensters als Notrutsche nach oben schwenkende Motorraumklappe, wird von den Kunden meist nicht akzeptiert (Aussage der Busbetreiber). Investiert wird vorzugsweise in sichtbare Komfortmerkmale.

Ursache ist der harte Wettbewerb der europäischen Reisebusunternehmer. Im Augenblick gibt es eine zu große Anbieterzahl, tendenziell sinkende Preise und eine bei weitem nicht auslastende Nachfrage [23]. Zudem können die langlebigen Kapazitäten nicht schnell genug an die vorhandene Nachfrage angepasst werden.

Ausschlaggebend für die Kundenakzeptanz sind außerdem:

- die Kapazität: Eine zusätzliche Nottür kostet zwangsläufig Sitzplätze,
- das Komfort- und Raumgefühl: Es wird unter anderem bestimmt durch Kopffreiheit-, Sitz- und Gangbreite,
- die Sicht: Gewünscht sind große Fensterflächen mit niedriger Fensterunterkante. Prof. APPEL (TU Berlin) empfiehlt als Schutz vor dem Herausschleudern aus dem Bus bei einem Umsturz eine Mindestbrüstungshöhe von 850 mm [2, 11]. Von den Herstellern teilweise verwirklicht, wurde es jedoch von den Kunden nicht angenommen.

Wegen der hohen Nutzungsdauer der Reisebusse sind eine lange Haltbarkeit und Wartungsfreiheit Grundvoraussetzung, um die laufenden Kosten möglichst gering zu halten.

Als Ausgangslage diente ein umfassender Fragenkatalog für ausgewählte Hersteller in Deutschland und den Niederlanden (siehe Anlage II). Diese Ergebnisse wurden ergänzt durch international angelegte Literatur- und Patentrecherchen.

Im Folgenden werden die einzelnen Notausstiegs-elemente aus Hersteller- bzw. Konstrukteurssicht betrachtet.

5.1 Betriebstüren als Nottüren

Bei Bussen unterscheidet man zwischen drei Türmechanismen:

- Innenschwenktüren,
- Außenschwingtüren,
- Schwenkschiebetüren.

Alle Türen gibt es in ein- und zweiflügeliger Bauweise mit pneumatischem oder elektrischem Antrieb.

In Reisebussen wird hauptsächlich die einflügelige Außenschwingtür verwendet. Der Antrieb erfolgt pneumatisch, da hier (im Gegensatz zu Linienbussen) bei relativ seltenen Türöffnungsvorgängen in der Regel ein Luftüberschuss vorhanden ist.

Vorgeschrieben ist laut ECE-R 36, 52 und 107 [27, 28, 29] für Klasse-III-Busse unabhängig von der Fahrgastzahl nur eine Betriebstür, Gelenkreisebusse benötigen in jedem starren Fahrzeugabschnitt eine Tür. Die Reisebusse verfügen jedoch standardmäßig über zwei Betriebstüren, die vorne und hinten meist vor den Achsen auf der fahrbahnabgewandten Seite angeordnet sind. Die Türen müssen so voneinander getrennt sein, dass der Abstand zwischen den vertikalen Querebenen durch den Mittelpunkt ihrer jeweiligen Fläche mindestens 25 % der Gesamtlänge des Fahrzeugs oder 40 % der Gesamtlänge des Fahrgastraums im unteren Deck beträgt (ECE-R 36 und 107).

Spielraum in Längsrichtung für die Lage der Türen existiert nur bei der hinteren Tür.

So hätte die Anordnung der vorderen Tür hinter der Vorderachse folgende Auswirkungen:

Die vordere Sitzbank würde entfallen und somit zum Sitzplatzverlust führen. Außerdem würde eine vordere Sitzbank vor der Vorderachse und somit vor der Betriebstür die Fahrgäste im Falle eines Frontaufpralles einem deutlich erhöhten Risiko aussetzen. Des Weiteren würde der ohnehin schon knappe Gepäckraum noch mehr eingeschränkt und die Tür würde sich nicht mehr im direkten Sichtbereich des Busfahrers befinden. Dem gegenüber steht die deutlich höhere Ausfallsicherheit dieses Notausstiegs. Wie in Unfällen immer wieder auffällt, verklemmen die vorderen Betriebstüren bereits bei Frontalkollisionen mit einem Pkw oder einem Kraftrad [22].

Die mögliche Lagevariation der hinteren Tür lässt sich am Beispiel eines so genannten Kombibusses zeigen [8]. Er ist durch sein Modulkonzept individuell vom Niederflur- bis zum Reisebus zusammenstellbar. Bild 8 zeigt die möglichen Türvarianten. Kombiniert werden können:

- Breite (einfach - doppelt),
- Art (Außenschwing-, Innenschwenk- und Schwenkschiebemechanismus) und
- Lage (hintere Tür vor oder hinter der Hinterachse).

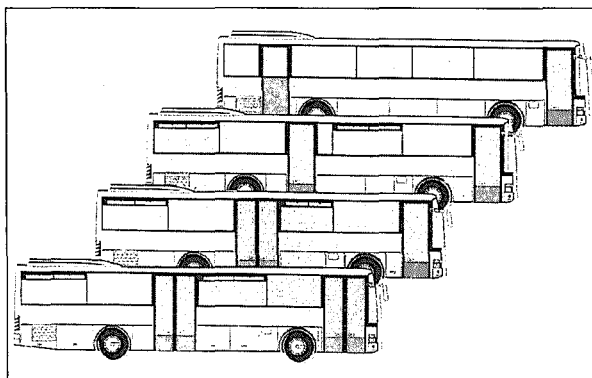


Bild 8: Mögliche Türvarianten [8]

Eine Einschränkung für die Anordnung der hinteren Tür hinter der Hinterachse ist der Platzbedarf von Motor und Getriebe.

Die Betriebstüren können gleichzeitig Nottüren sein. Für die Zulassung als Notausstieg ist eine Notöffnungsmöglichkeit vorgeschrieben. Die Notöffnung erfolgt über so genannte Nothähne. Diese bewirken ein Drucklosmachen des pneumatischen Systems oder eine mechanische Entriegelung bei elektrischen Systemen. Die Notbetätigungseinrichtung befindet sich direkt an der Tür oder bis zu 300 mm davon entfernt in einer Höhe von nicht weniger als 1600 mm über der ersten Stufe (ECE-R 36).

Zu beachten ist, dass der gesamte Türnotöffnungsvorgang nur in Normallage des Busses überprüft wird. Gesetzliche Anforderung für das Öffnen in Seiten- oder Dachlage gibt es nicht. Da die Tür beim Schließen über einen Pneumatikzylinder um 10-15 mm angehoben und gegen Keile im Türrahmen gedrückt wird, ist zum Öffnen ein vollständiges Absenken erforderlich. Dies geschieht nicht alleine durch das Eigengewicht der Tür, zusätzlich wird eine Feder eingebaut. Deren Vorspannung beträgt ungefähr das Dreifache der Gewichtskraft der Tür (Information eines Komponentenherstellers). Bei den im weiteren Verlauf durchgeführten Evakuierungsversuchen eines Reisebusses in Seitenlage wurde diese Problematik ebenfalls näher untersucht.

Die Notentriegelung erfolgt in Europa und Asien für jede Tür einzeln. In USA und Kanada können alle Türen nur zentral vom Fahrer entriegelt werden. Letzteres ist wegen dem eventuellen Ausfall des Fahrers nicht empfehlenswert. In Verbindung mit einem Crashsensor ist hier jedoch eine automatisierte Notöffnung denkbar. Da diese Lösung noch nicht umgesetzt wurde, besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

Einen neuen Trend zeigt eine Schwenkschiebetür für Omnibusse. Sie hat folgende Vorteile:

- bei gegebenem Portalmaß hat sie die größte lichte Weite,
- durch die minimale Drehung der Drehsäule ist diese als Haltestange nutzbar,
- die Notöffnung erfolgt durch mechanische Entriegelung per Notbetätigungsgriff (über Bowdenzug), in Folge können die Türflügel sofort per Hand aufgeschoben werden [9].

Die Vorteile der pneumatischen Außenschwingtüren sind eine gute Abdichtung, da das Türblatt nach dem Schließen angehoben und gegen Keile im Türrahmen gedrückt wird. Außerdem beansprucht sie keinen Platz im Innenraum und engt den oben angebrachten Lüftungskanal nicht ein, wenn der Antrieb unten angebracht ist.

Nachteilig ist jedoch der große Zeitbedarf bei der Notöffnung. Bis das System drucklos ist, vergehen bis zu 8 s (gesetzliche Vorgabe in Frankreich). In Deutschland fehlt eine zeitliche Begrenzung des Notöffnungsvorganges. Einige Bustürenhersteller haben eine Zeit von maximal 5 s für alle Märkte verwirklicht. Elektrische Systeme sind im Gegensatz dazu nach der Entriegelung sofort verzögerungs- und kraftfrei zu öffnen. Bei den pneumatisch betätigten Außenschwingtüren ist durch die beidseitige Verklammerung der Tür mit der Fahrzeugwand eine oft geforderte zweite Notöffnungsmöglichkeit des noch unter Druck stehenden Systems mit Körperkräften von innen nicht möglich. Außerdem müssen die Keile bei der Montage exakt justiert und von Zeit zu Zeit nachgestellt werden.

Es sind Zentralverriegelungslösungen für alle Bustüren erhältlich. Wichtig ist hierbei der eigene Stromkreis. Die Stromversorgung muss auch nach

Betätigung des Notschalters (Batterietrennschalters) gewährleistet bleiben, um die Funktionalität des Notausstiegssystems in allen Situationen zu ermöglichen.

Vergleiche hierzu ECE-R 36, 52 und 107: 5.5.5.3.2:

„Betätigung eines Batterietrennschalters, der möglichst nahe bei den Batterien angebracht ist und mindestens einen Batteriepol vom Stromkreis trennt - außer von dem Stromkreis, der für die Funktion gemäß 5.5.5.3.3 erforderlich ist, und den Stromkreisen, die für die ununterbrochene Funktion des Fahrtschreibers und der Einrichtungen vorgesehen sind, deren plötzliches Abschalten eine größere Gefahr als die abgewendete darstellen würde und zu denen zum Beispiel folgende gehören:

- Notinnenbeleuchtung,
- [...]
- zentrale elektronische Türverriegelung.“

Es ist zu prüfen ob diese Systeme ein automatisiertes Öffnen im Notfall erlauben bzw. hierzu erweiterbar sind.

5.2 Reine Nottüren

Die reinen Nottüren sind in den ECE-Regelungen generell erlaubt, in einigen Ländern sind sie sogar fest vorgeschrieben (Großbritannien und Belgien: gegenüber der hinteren Betriebstür; USA und Japan: im Heck). An Scharnieren angebrachte Nottüren an den Seiten des Fahrzeugs müssen vorn angeschlagen sein und sich nach außen öffnen. Die Nottüren müssen sich bei stehendem Fahrzeug von innen und von außen leicht öffnen lassen. Diese Vorschrift schließt jedoch nicht aus, dass die Tür von außen verriegelt werden kann, sofern sie stets von innen mit dem normalen Öffnungsmechanismus zu öffnen ist.

Nottüren dürfen weder als fremdkraftbetätigte Türen noch als Schiebetüren ausgeführt sein und sind immer mit einem Sitzplatzverlust verbunden. Dies wird von den Busbetreibern als nachteilig bewertet.

Eine Ausnahme für Kleinbusse stellt ECE-R 52 [28] dar:

„Wurde nachgewiesen, dass eine Schiebetür ohne Verwendung von Werkzeugen nach einer Frontal-aufprallprüfung gegen einen Betonblock nach der Regelung Nr. 33 geöffnet werden kann, so kann sie als Nottür zugelassen werden.“

5.3 Notfenster

Notfenster müssen den gesetzliche Anforderungen nach StVZO und ECE-R 36, 52 und 107 genügen, das heißt, sie müssen sich leicht und schnell öffnen, zerstören oder entfernen lassen.

Die momentan realisierte Größe ist für einen komplikationslosen Notausstieg ausreichend. In den letzten Jahren ging der Trend zu immer größeren Fensterflächen, die Mindestmaße von 500 mm x 700 mm laut ECE werden generell überschritten, da kein Fenster ausschließlich nur als Notfenster konzipiert wird.

Die Notfenster befinden sich in den Seiten- und Heckscheiben. In Deutschland bestehen sie üblicherweise aus Einscheibensicherheitsglas (ESG) mit einer Stärke von 5 bis 6 mm. Wahlweise könnte ein Notausstieg in der Frontscheibe, nur in Verbundglas (VSG) auf dem Markt, den in der Heckscheibe ersetzen. Kunststoff-Fenster scheiterten bislang an der fehlenden Kratzfestigkeit. Zudem sind Klapp-, Push-Out- und Schiebefenster als Notausstiege laut den ECE-Regelungen zulässig, haben sich aber außer beim Fahrerseitenfenster nicht durchgesetzt.

Eigenschaften gerahmter VSG-Fenster:

- + Die Instandsetzungskosten nach dem Notgebrauch sind geringer, da das Glas nicht zerstört wurde.
- + Die Notöffnungszeiten sind deutlich kürzer, weil nicht wie bei ESG-Notfenstern die Scheibe zerstört und ausgeräumt werden muss.
- + Die Betätigungskräfte zum Öffnen des Fensters sind höher als bei ESG-Notausstiegen.
- Je nach verwendeter Mechanik ist die altersbedingte Funktionsfähigkeit problematisch.
- Die Öffnungsmöglichkeit durch Fahrgäste stört die Klimatisierung des Busses.

Die Busscheiben sind im Allgemeinen geklebt. Durch geklebte Scheiben lässt sich die Torsionssteifigkeit der Karosserie um bis zu 25 % erhöhen, welches als Hauptvorteil dieser Scheibenbefestigung zu sehen ist.

Geht man von zwei Betriebstüren aus, die zugleich Nottüren sind, kommt man nach Tabelle 13 bei bis zu 60 Fahrgästen auf 4 Notfenster, die auf beide Seiten des Busses gleichmäßig verteilt werden müssen.

Die Ausweisung aller Fenster als Notausstieg stellt keinen großen Kostenfaktor dar, weil sie nur abhängig von der Anzahl der Nothämmer und ihrer Kennzeichnung ist. Sie ist ohne weiteres nachträglich möglich. Je nach Hersteller ist jedes Seitenfenster ein Notausstieg, teilweise auch nur jedes zweite.

Notausstiege in ESG müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Die Scheibe muss mittels Serien-Nothammer beim ersten Schlag mit einer, zahlenmäßig nicht näher erfassten, Normschlagkraft zerstört werden können. Die Nothämmer sind in Griffreichweite, üblicherweise an den Fensterholmen, angebracht.
- Das Ausräumen der Scheibe muss mittels leichter Stöße mit dem Griffücken des Nothammers erfolgen.
- Dabei darf die ausführende Person keinerlei Verletzungen davontragen.

Vorteile geklebter ESG-Notausstiegswfenster aus Herstellersicht:

- Die Steifigkeit der gesamten Struktur wird erhöht.
- Die Außenhaut bleibt glatt.
- Das Gewicht ist geringer, da ein Rahmen entfällt.
- Die Montage ist einfach und kostengünstig.
- Der Notausstieg ist kostengünstig, weil nur ein Nothammer erforderlich ist.
- Die Klimatisierung des Busses wird nicht gestört, da die Fenster nicht zu öffnen sind.

Anzahl der Fahrgäste pro Raum oder Deck	Mindestgesamtzahl der Ausstiege
1 - 8	2
9 - 16	3
17 - 30	4
31 - 45	5
46 - 60	6
61 - 75	7
76 - 90	8
91 - 110	9
110 - 130	10
> 130	11

Tab. 13: Vorgeschriebene Notausstiege laut ECE-R 36, 52 und 107 sowie 2001/85/EG

Die Nachteile geklebter ESG- Notausstiegswfenster, die vor allen Dingen den Gebrauch betreffen, sind:

- Die Wärmedämmung ist relativ schlecht, dadurch muss eine Isolierverglasung doppelt ausgeführt werden.
- Es besteht eine erhöhte Verletzungsgefahr. Durch das Verwinden der Karosserie oder den Umsturz wird die Verglasung direkt und vollständig zerstört. Auch ein Herumschleudern der Insassen kann bereits ausreichend sein, die Seitenscheiben zu zerstören [2]. Neben Schnittverletzungen besteht die Gefahr des teilweisen oder vollständigen Herausschleuderns aus dem Bus. Besonders nicht angegurte Fahrgäste sind hiervon betroffen. Herausgeschleuderte Fahrgäste haben nur eine geringe Überlebenschance.
- Das Zerstören der Glasscheiben stellt eine Hemmschwelle dar. Besonders beim Zerstören einer Scheibe über Kopf bewirken die damit auf alle Fahrgäste plötzlich herunterfallenden Glassplitter in manchen Fällen das Abbrechen des Öffnungsversuches [6].

Notausstiege bei geklebtem VSG für Reisebusse sind noch nicht auf dem Markt. Eine Ausnahme existiert in Hongkong: Hier ist ein Notausstieg in der Frontscheibe durch eine vom Fahrer handbetätigte Scheibensäge zu finden. Dies genügt - besonders in Brandfällen - nicht den zeitlichen Anforderungen eines wirksamen Notausstiegswsystems.

Ein Notausstieg bei geklebten VSG-Scheiben ist aus zwei Gründen wünschenswert:

- 1) Der Notausstieg kann in der Frontscheibe ermöglicht werden. In den meisten vorliegenden Unfallgutachten werden bei umgestürzten Bussen die Passagiere durch die Frontscheibe evakuiert. Die Öffnung erfolgte hierbei von außen durch Rettungskräfte mit schwerem Gerät.

Beispiele zeigen folgende Unfallgutachten:

- umgestürzter Doppeldecker-Reisebus [22],
- umgestürzter Renault FR1 GTX Bus [16],
- umgestürzter Scania K112 Bus [16],
- umgestürzter Van Hool Bus [16],
- umgestürzter Van Hool TD 824 Bus (Doppelstockfahrzeug) [16],
- umgestürzter Doppeldecker-Reisebus [6].

Die Insassen aller Busdecks wurden jeweils durch die Feuerwehr durch die Frontscheibe evakuiert.

Dieser Ausgang bietet im Vergleich mit anderen Notausstiegen die größte freie Fläche und einen direkten Zugang zum Mittelgang, aus welchem Grunde er als Notausstieg geradezu prädestiniert ist.

2) Der Einsatz von VSG-Seitenfenstern, die auch Notausstieg sind, wird ermöglicht.

Hierfür sprechen

- die mögliche Gewichtsreduzierung von VSG gegenüber ESG,
- die höhere Wärmedämmung durch spezielle Folien im Glas,
- der bessere Verletzungsschutz: Weniger Schnittverletzungen und kein ganzes oder partielles Herausschleudern der Insassen, da die Scheibe als Ganzes im Rahmen verbleibt.

Ein großer Nachteil ist der höhere Preis im Vergleich zu ESG, insbesondere wenn VSG mit entsprechend behandelten Folien zur Wärmedämmung eingesetzt wird.

Welche Möglichkeiten der Notöffnung gibt es?

Schneidfäden, früher im Gummi und heute in der Klebnaht, sind wegen der zu hohen Betätigungskräfte umstritten. Parallelen gibt es in der Automobilindustrie. Alternativ gibt es Erfolg versprechende Techniken, die Scheibe wegzusprennen. Patente zeigen im Wesentlichen zwei Varianten:

- 1) Eine Sprengschnur in der Klebnaht, beispielsweise Mildetonating tubes oder Hivelites, beides schnurartige Gebilde, die mit Sprengstoffen gefüllt sind und die eine Druckwelle bzw. Detonationswelle nach der Auslösung erzeugen, welche die Klebnaht aufreißt und die Scheibe herausdrückt.
- 2) Ein pyrotechnischer Gasgenerator mit einem aufblasbaren Schlauch in der Klebnaht, die dadurch ebenfalls zerstört wird.

Ein Beispiel zeigt das Patent DE 197 54 814 A1 [40]:

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Lösen einer Fensterscheibe (5) aus ihrem Rahmen (4), wobei zwischen dem Rahmen (4) und dem Fenster (5) ein aufblasbarer Druckschlauch angeordnet ist, der im aufgeblasenen Zustand die Fensterscheibe (5) aus dem Rahmen (4) drückt. Damit ein sicheres

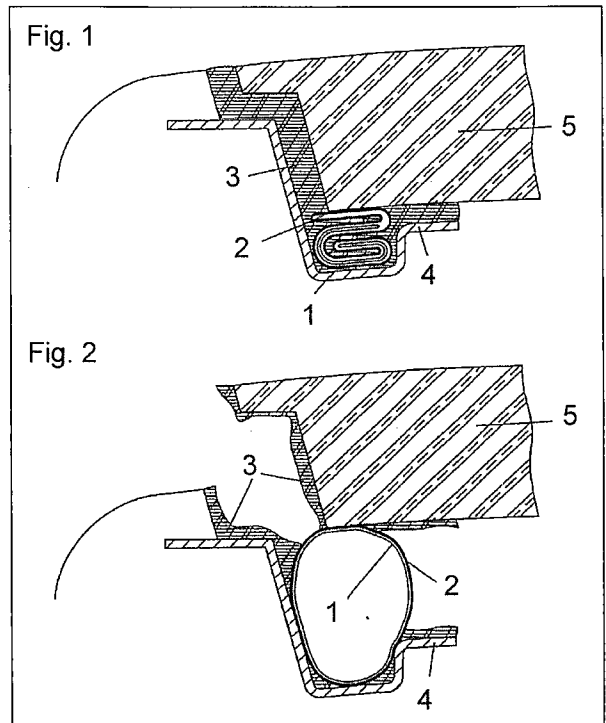


Bild 9: Patent DE 197 54 814 A1 [40]

und einwandfreies Lösen der Fensterscheibe aus dem Rahmen gewährleistet ist, wird vorgeschlagen, dass der Druckschlauch (1, 2) aus einer hochfesten bzw. wenig dehnfähigen flexiblen Hülle (2) und einem luftdichten Schlauch (1) im Inneren besteht.

Diese oben genannten Systeme finden bereits in Sonderschutzfahrzeugen mit Panzerglasscheiben (bis zu 170 kg/m^2) Anwendung.

Vorteile, vor allen Dingen aus der Gebrauchssicht:

- Der Notausstieg ist in VSG (und ESG) möglich.
- Der Ausstieg steht ohne merkliche zeitliche Verzögerung nach Auslösung direkt zur Verfügung.
- Die Bedienung ist auch in schwierigen Lagen ohne Kraftaufwand möglich.
- Es kann eine zentrale und automatisierte Auslösung, von außen und innen, realisiert werden.
- Es besteht eine geringere Verletzungsgefahr, da keine Spliterränder vorhanden sind und kein manuelles Ausräumen der Scheibenreste erforderlich ist.
- Es existiert keine Hemmschwelle der Passagiere wie beim Zerschlagen von Glas.

Die Nachteile liegen auf der Herstellerseite:

- Die Auslösefähigkeit muss auch bei Verformung der Karosserie bzw. des Scheibenrahmens gewährleistet bleiben. Hier besteht noch Forschungsbedarf.
- Für Missbrauchs- und Fehlbedienungschutz muss ein sehr hoher Aufwand betrieben werden.
- Bei automatisierter Auslösung ist eine umfangreiche Ansteuerung erforderlich, eventuell durch ein Zündbussystem.
- Bei der Variante mit Sprengstoff in der Klebnaht gibt es durch die Explosionsgefahr ein erhöhtes Risiko bei Reparaturarbeiten.
- Die Haltbarkeit der Sprengvorrichtung muss der langen Lebensdauer des Reisebusses entsprechen.
- Diese Punkte stellen einen nicht unerheblichen Kostenfaktor dar.

5.4 Notluken

In Reisebussen kommen nur Dachluken zum Einsatz, die im Folgenden nur als Notluken bzw. Luken bezeichnet werden. Bodenluken werden wegen des darunter liegenden Gepäckraumes (Hochdecker) nicht eingebaut.

Die Luken werden in der Regel als fertiges und bauartgeprüftes Modul geliefert. Dabei müssen Notluken sich leicht von innen und außen öffnen oder entfernen lassen. Sie dürfen jedoch für Parkzwecke verriegelt werden, sofern sie stets von innen durch den normalen Öffnungsmechanismus zu öffnen oder zu entfernen sind.

Die Dachluken erfüllen meist eine Doppelfunktion. Sie dienen der Klimatisierung des Busses und als Notausstieg. Dem entsprechend vielseitig ist das Marktangebot. Es gibt Schiebe-, Ausstell- und Klappluken. Jeweils mit oder ohne Notausstiegsfunktion, mit manuellem und zunehmend elektrischem Antrieb. Außerdem sind auch Notluken mit eingebautem Ventilator zur Belüftung erhältlich.

Bei abwerfbaren oder aufklappbaren Notluken werden durch den Notgriff die Lagerbolzen aus den entsprechenden Lagerböcken gezogen. Dieser Ausstieg steht ebenfalls ohne zeitliche Verzögerung zur Verfügung.

Alternativ dürfen die Luken auch aus leicht zertrümmerbarem Sicherheitsglas sein, welches eine interessante Alternative darstellt.

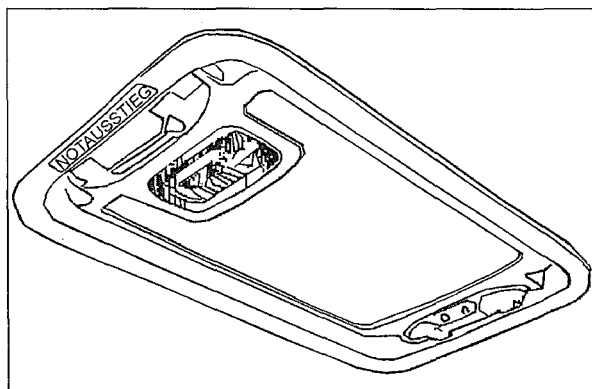


Bild 10: Patent DE 44 44 038 A1 [41]

Diese Luken (Patent DE 44 44 038 A1 [41]) verfügen über ein kleines Fenster im Innendeckel, durch das mit einem herkömmlichen Nothammer der Außendeckel aus ESG zerstört werden kann. Der Innendeckel fängt die hierbei entstehenden Glasbruchstücke auf. Der Nothammer ist hierbei gut sichtbar an der Luke angebracht. Die Öffnungsmöglichkeit mittels Nothammer ist selbsterklärend und jedermann bekannt.

Bei der ESG-Dachluke entfallen mechanische Verriegelungs- und auch Diebstahlsicherungssysteme, dadurch kommt es zu einer Gewichts- und Kostenreduzierung.

Vorgeschrieben sind laut ECE bei Fahrzeugen bis 50 Fahrgäste eine Dachluke, darüber zwei.

Die Größe der Notluke muss in Europa mindestens $0,4 \text{ m}^2$ und darin einem Rechteck von $500 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$ entsprechen. Da die Dachluken bei der Seitenlage als Notausstieg empfehlenswerter als die Seitenscheiben und durch den kürzeren Fluchtweg auch als die Heckscheibe sind, müssen die Anforderungen an Größe und Anzahl neu überdacht werden. Um möglichst vielen Insassen den direkten Ausstieg ohne langen Fluchtweg zu ermöglichen, sind bei der heute üblichen Reisebusgröße 3-5 gleichmäßig über die Fahrzeuglänge verteilte Luken erforderlich. Die Größe von $0,4 \text{ m}^2$ ermöglicht zwar unverletzten Insassen den Ausstieg, eine Fremdrettung oder Hilfestellung von außen bzw. das Durchführen von Krankentragen für Schwerverletzte ist bei diesen Abmessungen nur schwer möglich. Eine denkbare Verbesserung wäre eine Verbreiterung der Dachluke auf die gesamte Fahrzeugbreite. Dies würde in Seitenlage einen effektiven Ausstieg im „Türformat“ ergeben, lediglich durch die Luftführung und Gepäckablage ergäben sich leichte Einschränkungen in der Breite.

Zu beachten ist allerdings, dass größere Dachluken eine Strukturveränderung des Daches erforderlich machen. Auswirkungen auf die Überrollfestigkeit und Stabilität des Aufbaus müssten untersucht werden.

Vereinzelt wird von Öffnungsschwierigkeiten durch unfallbedingte Deformation berichtet. Hier besteht noch Forschungsbedarf, um Verklemmungen bei den üblichen Konstruktionen zu verhindern. Besonders die Funktionsfähigkeit von Schiebedachluken nach einem Umsturz ist problematisch. Bei ihnen reichen bereits geringe Deformationen des angrenzenden Aufbaus aus, um die Luke zu verklemmen. Abhilfen bieten hier absprengbare Dachluken oder die durch ESG verschlossenen Dachluken.

Eine Besonderheit stellen die Dachluken im Oberdeck der Doppelstockfahrzeuge dar. Durch die geringe Oberdeckhöhe ist ein Herausstrecken des Kopfes auch, ohne auf die Sitze zu klettern, möglich. Bei Fahrzeughöhen bis zu 4 m besteht, im normalen Reiseverkehr, akute Verletzungsgefahr bei Unterführungen und Ähnlichem, da hier kein ausreichender Sicherheitsabstand mehr gewährleistet werden kann. Aus diesem Grunde sind diese Luken im Oberdeck besonders gesichert. Bei dieser Sicherung muss allerdings die Notöffnungsmöglichkeit gewährleistet bleiben. In einem Umsturzunfall eines Doppelstockfahrzeuges [6] waren die Notluken mit Gitterstäben gesichert, die erst mit entsprechender Verzögerung durch die Feuerwehr entfernt werden konnten. Dieses Beispiel zeigt einen klaren Zielkonflikt zwischen Betriebs- und Notfallsicherheit.

Zur Zeit gibt es deshalb zwei Varianten auf dem Markt: reine Notausstiegsluken im Oberdeck (nicht zu Belüftungszwecken zu öffnen) und Gitterstäbe aus Weichaluminium. Diese sind im Notfall ohne weiteres auseinander zu biegen.

5.5 Mittelgang

Die in den ECE-Regelungen vorgeschriebene 300 mm Mindestbreite im unteren Bereich wird in den meisten Konstruktionen übertroffen. Ein Mehr an zulässiger Gesamtbusbreite, z. B. eine Erhöhung auf 2,60 m, würden die meisten Hersteller lieber in breitere (gleich komfortablere) Sitze als in die Breite des Mittelganges investieren. Durch die seitlich verschiebbaren Sitze darf der Mittelgang bis auf 220 mm Breite reduziert werden. Ein Begehen des

Gangbereiches ist bereits im Normalbetrieb nur noch schwer möglich, im Evakuierungsfall fast unmöglich. Durch das auf dem Sitz lastende Gewicht des Fahrgastes und den relativ kleinen unten angebrachten Auslösehebel ist eine Rückstellung, besonders im Notfall, schwierig.

Eine automatisierte Rückführung der Sitze im Notfall ist noch nicht auf dem Markt erhältlich. Verwendet man beispielsweise Rückholfedern, sind die Betätigungskräfte beim Ausfahren zu hoch. Eine Lösung mit Pneumatikzylindern an allen Sitzen ist zu kostenaufwändig.

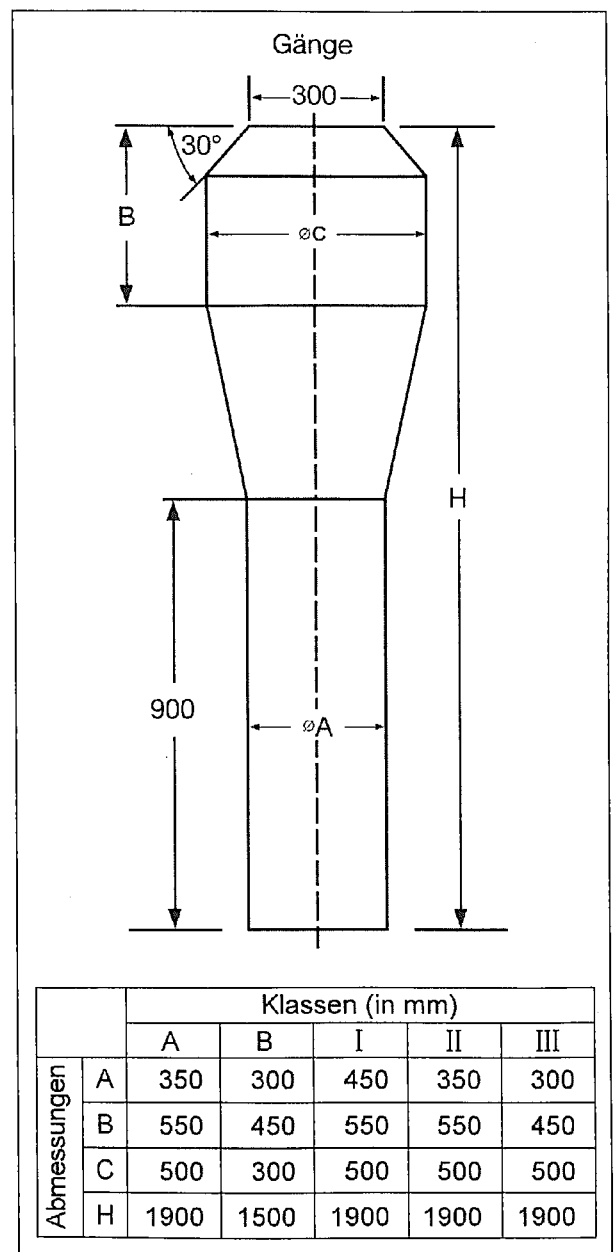


Bild 11: Breite des Mittelganges nach ECE-R 36, 52 und 107 [27, 28, 29]

Eine gute Lösung ist die versetzte Sitzanordnung links und rechts. Dadurch wird ein Durchgehen im Zickzackgang erleichtert.

5.6 Handläufe und Haltegriffe

Üblich in Reisebussen ohne Stehplätze ist ein beidseitiger Handlauf oben längs der Gepäckablage. Zusätzlich sind die Sitzlehnen mit ein oder zwei Haltegriffen (Rückseite der Lehne oben und Eckhaltegriffe) ausgestattet.

Bei Einstiegen, Türen und Treppen entsprechen die Hersteller den gültigen ECE-Regelungen. Danach muss der Durchmesser zwischen 20 und 45 mm betragen. Der Abstand zur Karosserie muss 40 mm betragen, bei Türen sind 35 mm ausreichend. Die Anbringung von Haltegriffen an Türöffnungen oder Treppen muss in einer Höhe von 800 bis 1000 mm (ECE-R 36 [27]) bzw. 1100 mm (ECE-R 52 [28] und 107 [29]) erfolgen.

5.7 Gepäck

Loses Handgepäck bei Unfällen ist zum einen ein Verletzungsrisiko bei starker Abbremsung oder einem Aufprall und kann zum anderen Fluchtwege versperren. Geschlossene Gepäckablagen wie im Flugzeug können hier Abhilfe schaffen und werden bereits bei einigen Modellen eingesetzt.

5.8 Kennzeichnung

Zur Anwendung kommen, bei der Kennzeichnung von Notausstiegen, Piktogramme und Beschriftungen. Die Bedienelemente sind in der Signalfarbe Rot gehalten, die Beschilderung erfolgt in Grün analog zur Notausgangswegweisung in Gebäuden.

Die (einsprachigen) Beschriftungen weisen entweder auf den Notausstieg hin („Notausstieg“ an der Dachluke), beschreiben das Bauteil („Notbahn“) oder erläutern die genaue Funktion (beispielsweise „Nothammer - bei Gefahr Scheibe einschlagen“).

Bei Nacht sind diese Hinweise/Piktogramme schlecht oder gar nicht zu erkennen, da sie nicht gesondert beleuchtet sind (siehe auch: 5.10, Beleuchtung).

5.9 Notfallinformationen

Die einfachste Möglichkeit den Fahrgästen Informationen über das Verhalten im Notfall zukommen zu lassen, stellt eine Durchsage des Fahrers oder Begleitpersonals dar. Wesentlich effektiver sind jedoch Faltblätter oder Notfallvideos.

Faltblätter an jedem Sitz geben einen Überblick über alle Notausstiege mit den dazugehörigen Fluchtwegen. Sie werden von einigen Herstellern bereits angeboten. Die Auswertung der Umfrage der Busunternehmen ergab, dass das Auslegen der Faltblätter vor Fahrtantritt als ein unzumutbarer Mehraufwand für den Fahrer angesehen wird. Wegen der großen Bedeutung solcher Notfallinformationen sollte jedoch nicht so ohne weiteres auf sie verzichtet werden. An der Sitzlehne befestigte Informationsblätter oder -karten erfordern keinen Mehraufwand des Buspersonals, da nur eine einmalige Anbringung nötig ist.

Neu auf dem Markt ist das Omnibus-Bordmagazin „startklar“ des ETM-Verlages. Es ist vergleichbar mit Bordmagazinen, die z. B. von der Bahn oder in Flugzeugen seit längerer Zeit eingesetzt werden. Inhalt zur Zeit: Werbung des Busunternehmers und Berichte rund ums Thema Busreisen. Hier ist ebenfalls eine Erweiterung auf den Sicherheitsbereich denkbar und wünschenswert. Abzuwarten bleibt, wie das neue Magazin von den Busunternehmen angenommen wird.

Eine Weiterentwicklung stellen Notfallvideos dar. Hierdurch entstehen ebenfalls keine Folgekosten und die Reisebusse sind bereits überwiegend mit Monitoren ausgestattet. Diese Videos sind in Planung bzw. teilweise auch schon verwirklicht. Soll allerdings das Video mehrsprachig vertont werden, muss jeder Sitz mit individuellem Audioterminal und Kopfhörer ausgestattet werden. Dies entspricht zur Zeit noch nicht dem Standard in Reisebussen.

5.10 Beleuchtung

Es werden drei getrennte Innenbeleuchtungssysteme eingebaut: eine helle Normalbeleuchtung mit Betonung des Mittelganges und der Einstiege, eine Nacht- oder Schlafbeleuchtung und zusätzlich getrennt schaltbare Leselampen an den Sitzen.

Eine eigene Beleuchtung der Notausstiegs-elemente ist dringend erforderlich, da über 40 % der Unfälle bei schlechten Lichtverhältnissen passieren (1991: 10,9 % in der Dämmerung und 30,3 % in

der Nacht [1]). Die Hersteller jedoch halten die normale Nachtbeleuchtung im Notfall für ausreichend. Sie befindet sich an der Decke längs des Mittelganges oder unterhalb der Gepäckablage.

Die Nothähne werden größtenteils beleuchtet, die Nothämmer sowie die Öffnungsmechanik der Notluken nicht.

Sinnvoll ist die Aufteilung auf zwei Stromkreise, wie sie auch in der Richtlinie 2001/85/EG [30] vorgesehen ist:

„Für die Innenbeleuchtung müssen mindestens zwei Stromkreise vorgesehen werden, so dass durch den Ausfall eines Stromkreises der andere nicht beeinträchtigt wird. Ein Stromkreis für die ständige Beleuchtung der Ein- und Ausstiege kann als einer dieser Stromkreise gelten.“

Bisher keine Beachtung im bestehenden Regelwerk findet die Frage der Funktionstüchtigkeit der Fahrzeugbatterie in Seiten- oder Dachlage des Busses. Von einem eventuellen Ausfall der Batterie in solchen Endlagen sind neben der Notbeleuchtung auch andere Sicherheitstechniken wie z. B. eine Zentralentriegelung oder -öffnung von Notausstiegen betroffen. Laut der Informationen der Batteriehersteller kommen bei Reisebussen zur Zeit zwei Batterietypen zum Einsatz:

- Herkömmliche Blei-Säure-Batterien oder
- Blei-Gel-Batterien

Blei-Säure-Batterie:

- Sie ist günstig in der Anschaffung und dem Unterhalt.
- Bei Seiten- und Kopflage läuft Säure aus, so dass die elektrochemische Reaktion nicht oder nicht mehr verlässlich stattfinden kann und kein Strom mehr fließt.

Blei-Gel-Batterie:

- Sie ist auslaufsicher und damit lageunabhängig.
- Ihr Preis ist hoch, da die konventionellen Ladegeräte wegen der anderen Ladecharakteristik nicht verwendet werden können.

Tendenzen:

Bei der Anschaffung von kompletten Fahrzeugparks empfiehlt sich die Gel-Batterie, bei der Anschaffung einzelner Fahrzeuge zu einem bestehenden älteren Fahrzeugpark die Blei-Säure-Variante.

Mit dem konsequenten Einsatz der Blei-Gel-Batterie bereits als Erstausrüsterteil könnte ein großer Sicherheitsgewinn erreicht werden. Dies gilt besonders in Bezug auf die immer umfangreicher werdende elektrische Ansteuerung von Notfallsystemen.

5.11 Schutz vor Missbrauch

Nothämmer und die Notöffnungsmechanik der Dachluken sind überwiegend verplombt. Dies stellt allerdings keinen wirklichen Schutz vor Missbrauch dar, weil es nur eine abschreckende bzw. behindernde Wirkung hat.

Eine geschwindigkeitsabhängige Verriegelung, ähnlich wie bei Türen, ist technisch ohne weiteres denkbar und bei Dachluken auch empfehlenswert. Bei Nothämmern, unter Umständen an jedem Fenster, ist dies aber mit nicht unerheblichen Kosten verbunden.

Nothähne „müssen durch eine Einrichtung geschützt sein, die leicht zu entfernen oder zu zerstören ist, um den Zugriff zur Notbetätigungseinrichtung zu ermöglichen; die Bedienung der Notbetätigungseinrichtung oder das Entfernen einer Schutzabdeckung über der Betätigungseinrichtung muss dem Fahrzeugführer sowohl akustisch als auch optisch angezeigt werden“ (aus ECE-R 36, 52 und 107). Der Schutz der Nothähne wird meist durch eine transparente Plastikabdeckung verwirklicht.

Lobenswert ist die Sperrung der Nothähne über 3 km/h. Sie wird aber noch nicht flächendeckend eingesetzt. Unfälle in der Vergangenheit, bei denen Kinder während der Fahrt über den Nothahn die Tür öffneten und aus dem Bus fielen, können so wirksam verhindert werden. Während Reisebusse für die Märkte Frankreich und Spanien häufig mit diesem Sicherheitsmerkmal ausgerüstet sind, ist dies in Deutschland selten. Lediglich zwei Hersteller verwenden die geschwindigkeitsabhängige Überbrückung des Nothahnes. Der Preis hierfür liegt bei ungefähr dem Dreifachen eines normalen Nothahnes, so dass die Busunternehmer diese Ausstattungsvariante nur sehr selten ordern.

5.12 Gesamtsystem der Notausstiege

Es müssen mindestens zwei Hauptfluchtrichtungen gewährleistet sein.

Die Hersteller befolgen die einzelnen ECE-Regelungen bzw. die StVZO, teilweise werden die Anforderungen übertroffen. Dies ist z. B. der Fall, wenn jedes Seitenfenster mit Nothammer ausgestattet ist und als Notausstieg gekennzeichnet ist (siehe hierzu Kapitel 4, Vergleich der nationalen und internationalen Regelungen).

Die Notausstiege sind:

- in der Normallage die Betriebs- bzw. Nottüren, die Notfenster links und rechts, das Heckfenster (oder Hecknottür) sowie die Dachluken,
- in den Seitenlagen die Dachluken, die oben liegenden Seitenfenster, das Heckfenster (bzw. die Hecknottür) und ggf. die Betriebs- bzw. Nottüren,
- in der Dachlage die Seiten- und Heckfenster (bzw. die Hecknottür) sowie die Betriebstüren.

Bisher werden bei den Herstellern keine Evakuierungstests oder rechnerische Simulationen durchgeführt, um das Zusammenwirken der einzelnen Notausstiege zu untersuchen und die individuelle Fluchtweglänge zu optimieren. Dies wird deshalb im zweiten Teil der Ausarbeitung näher untersucht werden.

6 Aspekte von Notfall und Rettung

Folgende Aspekte werden näher beleuchtet:

- Bedienung: Hierunter versteht sich der Gebrauch der Notausstiegseinrichtungen im Notfall bzw. bei der Doppelfunktion eines Bauteiles die Bedienung im Normal- und Notfall.
- Fehlbedienung: Wo liegen die Ursachen hierfür? Ist beispielsweise eine missverständliche Kennzeichnung dafür verantwortlich?
- Missbrauch: Welche Missbrauchsarten gibt es, welche Folgen resultieren daraus und wie kann man sie wirksam verhindern?
- Notfall: Betrachtung des gesamten Ausstiegsvorganges mit einer Unterscheidung in Eigen- und Fremdrettung.

Daraus werden dann Schwachstellen und Optimierungsmöglichkeiten abgeleitet.

Als Ausgangsdaten dienen:

- Unfallberichte von Feuerwehren und Unfallgutachten;
- eine Befragung der Busunternehmer und deren Fahrer. Befragt wurden über 70 Busunternehmen in ganz Deutschland. Die Mehrzahl dieser meist kleinen Unternehmen konnte allerdings von keinem eigenen Unfall berichten (siehe hierzu Anlage III);
- eine Befragung von Feuerwehr, Rettungsdienst und Bergungsdiensten;
- bereits durchgeführte Evakuierungsversuche (Bus in Normallage) aus [6].

Im Anschluss folgten dann eigene Evakuierungsversuche an einem Reisebus in Seitenlage und rechnerische Simulationen bezüglich der Ergonomie mittels des CATIA-Moduls RAMSIS.

6.1 Einzelne Elemente

6.1.1 Betriebstüren als Nottüren

Bedienung im Normalfall:

Sie erfolgt fremdkraftbetrieben und automatisiert vom Fahrer aus.

Bedienung im Notfall:

1. Eigenrettung (von innen)

Die Notöffnung erfolgt über so genannte Notähne. Diese bewirken ein Drucklosmachen des pneumatischen Systems oder eine mechanische Entriegelung bei elektrischen Systemen, dadurch kann die Tür von Hand aufgestoßen werden. Zur Betätigung des Nothahnes sind keine nennenswerten Kräfte erforderlich. Die Notbetätigungseinrichtung befindet sich direkt an der Tür oder bis zu 300 mm davon entfernt in einer Höhe von nicht weniger als 1600 mm über der ersten Stufe. Durch die räumliche Nähe wird sie mit der Tür in Verbindung gebracht. Die relativ hohe Anbringung macht sie für auf dem Boden stehende Kinder unerreichbar und ist als eine gravierende Beeinträchtigung zu werten. Ursache sind hier primär versicherungsrechtliche Gründe.

2. Fremdrettung (von außen)

Eine Notöffnung alleine von außen ist nicht möglich. Lediglich eventuell vorhandene Glasscheiben können zerstört werden. Die außen

angebrachten Griffmulden ermöglichen das Öffnen der Tür erst nach einer Nothahnbetätigung von innen. Sie stellen also keine wirkliche Notöffnungsmöglichkeit dar und sind eher als Notöffnungshilfe zu bewerten. Ist im Innenraum kein Fahrgast mehr in der Lage, den Nothahn zu erreichen, sind sie nutzlos. In Frankreich befinden sich Nothähne bzw. Notbetätigungseinrichtungen innen und außen.

Die Feuerwehr wird in den meisten Fällen bei einflügeligen Außenschwingtüren zuerst die Scharnierseite mit einem Brecheisen oder Spreizer nach außen hebeln und anschließend die Riegelschlösser auf der anderen Seite mit dem Spreizer aufbrechen [32].

Zeiten

Die Zeit, bis die Tür bei den heute verwendeten pneumatischen Systemen kraftfrei geöffnet werden kann, liegt bei 5-8 s. Elektrisch betätigte Türen lassen sich sofort öffnen.

Kennzeichnung

Die Tür selbst ist nicht gekennzeichnet, der Nothahn ist beschriftet und mit Pfeilen versehen, welche die Betätigungsrichtung angeben. Er ist meist beleuchtet und somit auch bei Nacht erkennbar.

Fehlbedienung

Da der Nothahn keine Doppelfunktion hat und nicht in der Nähe ähnlich aussehender Bedienelemente angebracht ist, ist eine Fehlbedienung praktisch ausgeschlossen.

Missbrauch

Eine Betätigung des Nothahnes bzw. bereits die Entfernung der Schutzabdeckung wird dem Fahrer mitgeteilt. Dies konnte jedoch in Vergangenheit nicht verhindern, dass vereinzelt Kinder den Nothahn öffneten, die Tür aufstießen und während der Fahrt aus dem Fahrzeug fielen. Die Nothähne sind zwar außerhalb der direkten Reichweite von Kindern angebracht, können aber nach Klettern auf den Sitz von ihnen erreicht werden.

Die Zeit für den Fahrer zwischen Erkennen einer Nothahnbetätigung bis zum völligen Stillstand des Fahrzeuges (auch abhängig von der jeweiligen Verkehrssituation) ist einfach zu hoch. Einen wirksamen Missbrauchsschutz stellt eine Verriegelung,

z. B. bei einer Fahrgeschwindigkeit von mehr als 3 km/h dar, wie es bereits teilweise verwirklicht ist. In Folge kann dann auch der Nothahn niedriger und somit in Kinderreichweite angebracht werden.

Ergonomie und Akzeptanz

Die Türen sind bereits vom normalen Fahrbetrieb als Ausstieg bekannt und werden deshalb im Notfall als Erstes gewählt. Die Absprunghöhe von der untersten Stufe beträgt 230 mm (ECE-R 52) bis 400 mm (StVZO). Dieser Notausstieg zeichnet sich generell durch eine hohe Akzeptanz und Leistungsfähigkeit aus. Die Notbetätigungseinrichtung ist laut Richtlinie 2001/85/EG in einer Höhe von mindestens 1600 mm über der ersten Trittstufe im Umkreis von max. 300 mm von der Tür angebracht.

Um auch Kindern die Notöffnung zu erlauben und um generell den Zeitbedarf für die Notfallentriegelung zu verkürzen, wird oft gefordert, das Verriegelungssystem zusätzlich auf eine gewaltsame Türöffnung mit Körperkräften vom Innenraum aus zu erweitern.

Ein anderer Ansatz ist die Anbringung der Notbetätigungseinrichtung nicht wie bisher neben oder über, sondern an der Tür selbst. Sie dort anzubringen ist nahe liegender als die räumliche Trennung von Tür und „Türklinke“. Welche Art der Betätigungseinrichtung ist nun aus ergonomischer Sicht sinnvoll für die Notöffnungsfunktion? Allgemein sind sinnfällige Bewegungsrichtungen der Funktion „Öffnen“ abwärts, vorwärts oder drücken [39]. Die klassische Türklinke erfüllt diese Anforderungen und die Türnotöffnung könnte so nahezu intuitiv erfolgen. In Türmitte angebracht und mit einem Missbrauchsschutz (s. o.) versehen, würde diese neue Betätigungseinrichtung Kindern und Erwachsenen gleichermaßen den sicheren Notausstieg ermöglichen.

6.1.2 Reine Nottüren

Sie bieten im Vergleich zu Notfenstern eine höhere Akzeptanz und Leistungsfähigkeit. Sie sind bodengleich und es muss keine hohe Fensterunterkante überstiegen werden. Dadurch eignen sie sich besonders für Kinder und ältere Fahrgäste als Notausstieg. Die Nottür muss laut ECE/StVZO von innen und außen zu öffnen sein und deshalb beiderseits über eine wirksame Kennzeichnung verfügen. Als Missbrauchsschutz bietet sich ebenfalls die Verriegelung über 3 km/h an.

Für die Größe der Nottür sind die Mindestmaße der ECE-Regelungen 1250 mm x 550 mm (bis 3,5 t und 12 Personen jedoch nur 1100 mm x 550 mm) vorgesehen. Die Breite ist für eine einzelne durchgehende Person ausreichend. Die Höhe ist zu gering angesetzt. Sie macht aus diesem Grunde ein Bücken erforderlich, welches zu einer leichten Reduzierung des Personendurchsatzes führt bzw. bei Nichtbeachtung der oberen Türkante ein Verletzungsrisiko darstellt. Die Mindesthöhen für Nottüren der Länder USA, Australien und Japan liegen ebenfalls zwischen 1140 mm und 1375 mm. Anzustreben ist eine Höhe von mindestens 1650 mm wie bei den Betriebstüren der Klasse III.

Ein Nachteil aus unternehmerischer Sicht ist der Verlust von Sitzplätzen. Verletzungsgefahr besteht an der Tür selbst nicht, lediglich der Absprung auf die Fahrbahn führt besonders bei Älteren Fahrgästen durch die abnehmenden biomechanischen Belastungsgrenzen zu Verletzungen. Bei Nottüren im Oberdeck eines Doppelstockfahrzeuges werden deshalb Trittmulden in die Außenhaut eingelassen. Sie erfordern aber nach dem Durchschreiten der Tür ein Umdrehen, Umgreifen und sorgfältiges Absteigen, welches bei nachdrängenden Insassen schwer fällt.

Eine bessere Variante zeigt eine Studie aus Japan (Bild 12), es ist eine Kombination aus Hecknottür mit einer aufblasbaren Notrutsche. Diese Variante eignet sich wegen der relativ hohen Absprunghöhe bei Hochdeckern speziell für ältere Personen [14]. Zudem ist sie, im Gegensatz zu Trittmulden in der Außenhaut, eine direkt sichtbare und Vertrauen erweckende Ausstiegshilfe.

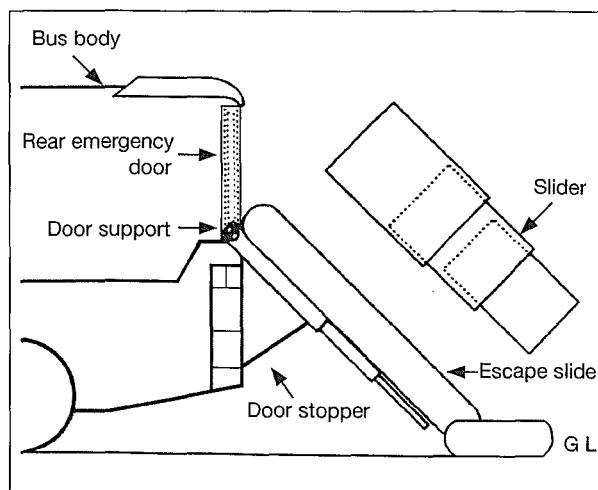


Bild 12: Kombination aus Hecknottür mit einer aufblasbaren Notrutsche [14]

6.1.3 Notfenster

Bedienung im Normalfall

Sie entfällt bei den verwendeten nicht zu öffnenden Scheiben aus ESG.

Bedienung im Notfall

Das Zerstören der Scheibe und das Entfernen der Glasreste erfolgen mit einem in Scheibennähe und Griffreichweite befestigten Nothammer. Für die Zerstörung der Scheibe ist ein Schlag ausreichend, der Schutzbügel am Griff des Nothammers schützt dabei die Hand des Fahrgastes vor Schnittverletzungen. Die Öffnung kann wahlweise von innen oder von außen durch Rettungskräfte erfolgen.

Zeitbedarf

Der Zeitbedarf für das Einschlagen und vollständige Ausräumen der Glasreste liegt bei 10 - 15 s [6]. Dies ist relativ viel im Vergleich zu gerahmten Notfenstern (Klapp- oder Push-Out-Fenster) oder dem Wegsprengen der Scheiben. Das Öffnen einer doppelten Isolierverglasung geht ebenfalls im gleichen Zeitrahmen leicht vonstatten.

Kennzeichnung

Der Nothammer und die dazugehörige Seitenscheibe sind mit einer Beschriftung oder mit einem Piktogramm versehen. Die Halterung des Nothammers ist nicht beleuchtet und somit in der Dunkelheit schwer zu erkennen. In diesem Zusammenhang sei die Hecksitzbank als Hindernis vor der Hecksitzscheibe erwähnt. Um die volle Notausstiegsfläche freizugeben, müssen die Lehnen abgeklappt werden.

Da hier eine Kennzeichnung fehlt, ist sich kaum ein Fahrgast dieser wichtigen Ausstiegserleichterung bewusst. Für ältere Fahrgäste, die kaum über die Sitzlehnen steigen können, fällt hier unter Umständen ein ganzer Notausstieg aus.

Fehlbedienung

Die Anbringung der Nothammer erfolgt an den Fensterholmen, wo sie leicht durch die dort hängenden Vorhänge verdeckt werden.

Dies belegt auch das Unfallgutachten eines umgestürzten Doppeldecker-Reisbusses, bei dem alle vier Nothammer des Unterdecks vorhanden waren,

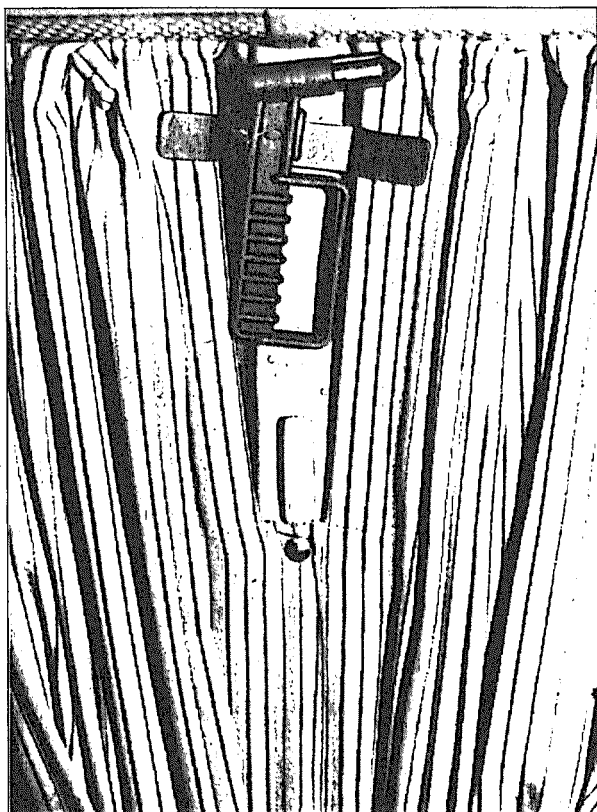


Bild 13: Lösung für nicht verdeckte Anbringung des Nothammers [22]

aber nicht gebraucht worden sind. Der direkten Sicht der Fahrgäste waren sie durch die an den Fenstersäulen gerafften Textilgardinen entzogen. Selbst wenn von der Kenntnis über die Existenz der Nothämmer an diesen Orten ausgegangen werden kann, hätten für ihren Gebrauch zunächst die Gardinen beiseite geräumt werden müssen. Die Sichtverdeckung dieses Notfallwerkzeuges muss als erheblicher Sicherheitsmangel gewertet werden, der im konkreten Unfall Versuche zur Selbstbefreiung aus dem Insassenraum von vorneherein zunichte gemacht haben kann [6].

Mit einfachen „Flügeln“ seitlich an der Nothammerhalterung bleibt der Nothammer in nahezu jeder Position sichtbar, wie Bild 13 zeigt. Dieses nützliche Accessoire ist bereits erhältlich, wird aber wegen geringer Mehrkosten selten eingebaut.

Missbrauch

Die übliche Verplombung gegen Missbrauch und Diebstahl ist nicht ausreichend. Dass die Busunternehmer ständig gestohlene Nothämmer ersetzen müssen, stellt einen nicht zu unterschätzenden Kostenfaktor dar. Einige Betreiber befestigen deshalb die Nothämmer an dünnen Stahlseilen. Dies

wird inzwischen auch von den Busausstattern angeboten. Die Bedienung wird durch das Abwickeln oder Herausziehen des Drahtseiles nur geringfügig erschwert und verzögert. Von wirklichen Missbrauchsfällen, in denen die Scheibe mutwillig zerstört wurde, wurde bei der Befragung der Busunternehmer nicht berichtet. Im Gegensatz dazu ist die Missbrauchsquote bei klappbaren Notfenstern deutlich höher, da hier die Hemmschwelle offensichtlich geringer ist.

Ergonomie und Akzeptanz

Die Bedienung eines Nothammers ist auch Laien hinreichend bekannt, allerdings muss als Voraussetzung für den kompletten Ausstiegsvorgang von einem Vollbesitz des Bewusstseins und der körperlichen Bewegungsfähigkeit des Einzelnen ausgegangen werden. Die ist natürlich nicht immer gewährleistet. Zum Ausstieg muss nach dem Öffnen die Fensterunterkante überstiegen werden. Deren Höhe beträgt laut ECE-R 36, 52 und 107, 500-1000 mm. Aus Gründen der Ergonomie des Ausstieges sollte sie möglichst tief liegen. In [2] wird dagegen eine möglichst hohe Brüstungshöhe von 800 - 850 mm empfohlen. So kann der Fahrgast bei einem möglichen Kippunfall im Schulterbereich abgestützt werden und ein vorzeitiges Herausschleudern unterbunden werden [2, 11]. Von den Herstellern wurde dies teilweise verwirklicht, jedoch empfanden die Fahrgäste die verkleinerten Fenster als Komforteinbuße.

Die momentan realisierten Brüstungshöhen liegen zwischen ca. 560 mm und 780 mm.

Das Zögern der Insassen vor dem Absprung aus dem Bus in die Tiefe wird durch nachdrängende Personen zwangsweise überwunden. Ein Unfallgutachten zeigt, dass selbst bei dem Sprung aus dem Oberdeck eines brennenden Doppeldeckerreisebusses keine knöchernen Verletzungen auftraten. Die Sprunghöhe betrug 3,2 m [6]. In einer lebensbedrohlichen Situation wie dieser stellt selbst der Sprung aus dem Oberdeck eines Doppeldeckerbusses keine ernsthafte Hemmschwelle dar. Das Alter der Passagiere des Unfallbusses betrug jedoch 20 bis 30 Jahre, es kann davon ausgegangen werden, dass ältere Personen Verletzungen davongetragen hätten.

Wegen vergleichbarem Stand der Technik und ähnlicher Absprung- bzw. Fallhöhe liegt eine Behandlung eines Omnibusses hinsichtlich der Evakuierung wie ein Flugzeug nahe. Zu überlegen wäre

beispielsweise die Installierung von Notrutschen an den Notausgängen im Obergeschoss, um die Verletzungsgefahr in Folge der großen Absprungshöhe zu verringern.

Um den Ausstieg der Passagiere zu erleichtern, gibt es die Möglichkeit, die nicht in Serie verwirklicht wird, die Heckklappe nach Öffnen des Fensters schräg nach oben zu schwenken, um so als Rutsche zu dienen. Ein Beispiel dafür zeigt folgendes Patent (DE 35 26 881) [42]:

In Bild 14 ist das Heckteil (1) eines Omnibusses gezeigt. Der Ausstieg durch das Heckfenster (2) ermöglicht das Verlassen des Omnibusses im Gefahrenfall auf der erfahrungsgemäß am wenigsten betroffenen Seite, wobei die Verletzungsgefahr beim Aussteigen durch Anordnung einer Rutsche, die von der automatisch bei Fensteröffnung oder Fensterabwurf in Schrägstellung übergehenden Heckklappe (3) des Motorraumes gebildet wird, weiter gemindert wird. Das Öffnen oder Entfernen des Heckfensters (2) erfolgt über Zugbügel (4), der gegen unzulässiges Öffnen verplombt ist.

Ähnliches wie das oben genannte Heckklappen-system ist auch mit den Gepäckklappen unterhalb der Seitenfenster denkbar, um auch hier die Folgen des Absprunges zu reduzieren. Die Heckscheibe sollte transparent sein, um sie deutlich als Ausstiegsmöglichkeit zu kennzeichnen.

Ein weiteres Verletzungsrisiko stellen die ESG-Scheiben dar. Zum einen können sie bereits beim Unfall oder Umsturz zerstört werden. Dies kann neben Schnittverletzungen auch ein Herausschleudern zur Folge haben. Zum anderen können Schnittverletzungen beim Ausstieg entstehen wie sich aus der Analyse der Medizinischen Hochschule Hannover [33] ergibt. Eine Lösung hierfür wären z. B. vorgespannte Abdeckkappen, die sich beim Zerstören der Scheibe über die Öffnungskanten legen [6].

Sonderfall ESG-Notfenster mit Werbefolie beklebt:

ESG-Notfenster können ganz oder teilweise mit Werbefolie beklebt sein. Die verwendeten Folien sind bauartgeprüft durch das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA). Bei durchgeführten Versuchen und Gutachten zeigte sich, dass die Folie beim Zerstören der Scheibe keinen nennenswerten Widerstand leistet und direkt zerreißt. Bei vollständig mit (aus optischen Gründen meist perforierter) Folie beklebten Scheiben muss dazu beachtet werden, dass

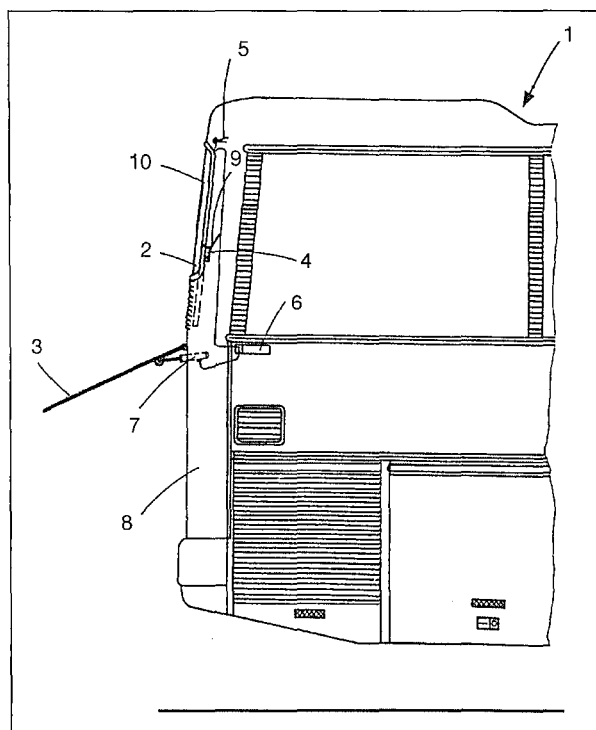


Bild 14: Patent DE 35 26 881 [42]

ein freier Rand von 0,5 bis 1 cm verbleibt. Überprüft wurde bisher nur der Notöffnungsvorgang bei einem aufrecht stehenden Bus in Normallage. In Seitenlage wirkt sich die Folie allerdings negativ aus:

Beim Zerstören eines ESG-Notfensters (siehe 8.4.6, Einzelversuch 1) fallen in Sekundenbruchteilen bis zu 50 kg Glas auf die ungeschützten Insassen herab. Normalerweise zerfällt die Scheibe dabei in sehr kleine Bruchstücke. Mit Werbefolie beklebt, fällt sie unter Umständen als Ganzes oder in größeren zusammenhängenden Bruchstücken herab. Der Zusammenhalt durch die Folie ist nicht groß, die Verletzungsgefahr aber erhöht sich dadurch deutlich.

6.1.4 Notluken

Bedienung im Normalfall

Die Dachluken werden meist gleichzeitig zu Belüftungszwecken eingesetzt. Die Bedienung dieser Funktion erfolgt manuell oder zunehmend elektrisch vom Fahrer aus.

Bedienung im Notfall

1. Eigenrettung (von innen): Durch die Betätigung eines Hebels oder Ähnlichem an der Dachluke

lässt sie sich aufschieben, abwerfen oder aufklappen. Eine Ausnahme stellt die durch ESG verschlossene Dachluke dar, die mit einem konventionellen Nothammer geöffnet wird.

2. Fremdrettung (von außen): Sie erfolgt bei der ESG-Nötluke analog zur Eigenrettung von innen. Die Öffnungsmöglichkeit von außen bei den anderen Lukensystemen, wie Klapp- oder Schiebeluken, erfolgt durch einen Notgriff. Sie muss ebenfalls von außen gekennzeichnet und zu Parkzwecken verriegelt sein.

Kennzeichnung

Sie erfolgt mittels Beschriftung oder Piktogrammen. Der Notgriff ist oftmals in der Signalfarbe Rot ausgeführt.

Festzustellen ist hierbei, dass die zur Zeit übliche Größe und Anbringung der Beschriftung bei dieser Art des Notausstieges nicht ausreichend sind. So befindet sich meist an einer Schmalseite der Dachluke eine kleiner Schriftzug „Notausstieg“ neben dem Notgriff zum Öffnen der Dachluke. Die Dachluke selbst ist nicht besonders farblich hervorgehoben und in der Farbe des Fahrzeughimmels gehalten. Im Notfall wendet sich der Fahrgast zuerst den bekannten Ausstiegen wie den Türen oder den Fenstern zu, die durch ihre Transparenz ebenfalls als Ausstieg erscheinen. Da die heutigen Dachluken oftmals wegen der Klimaanlage nur noch die Notausstiegsfunktion haben, werden sie im normalen Betrieb vom Fahrgast kaum wahrgenommen. Somit ist für den Notfall eine wesentlich auffälliger Kennzeichnung erforderlich. Diese sollte sich aus zwei Elementen zusammensetzen: zum einen dem Schriftauszug „Notausstieg“ über der gesamten Breite der Dachluke und zum anderen der farblichen Hervorhebung des Lukenrandes, um die Größe des, sich oftmals kaum vom Fahrzeughimmel unterscheidenden, Notausstieges deutlich zu machen.

Fehlbedienung

Busunternehmer berichten von vereinzelt manuellen Öffnungsversuchen an elektrisch betätigten Dachluken, die zu Beschädigungen führten.

Missbrauch

Besonders im Schulbetrieb kommt es zum gelegentlichen Abwurf von Notluken. Auch hier sieht

man, dass eine Verplombung oder Ähnliches keinen wirksamen Schutz darstellt, da dies nur eine abschreckende Wirkung hat. Hier empfiehlt sich, wie bei den Türen, eine geschwindigkeitsabhängige Überbrückung der Notbetätigungseinrichtung.

Ergonomie und Akzeptanz

Die Dachluken eignen sich weniger als Notausstieg für die Normallage, ihre wirklichen Stärken kommen erst in der Seitenlage zur Geltung. In den Anforderungen für den Zugang zu Notluken gehen die geltenden Bestimmungen am Kernproblem vorbei. Die Anordnung einer Luke oberhalb eines Sitzes oder anderen Ausstiegshilfen unterstellt das Verlassen des Fahrzeuges nach oben hin. Für eine aufrecht stehende Endposition und optimierte Notausstiege zu den Seiten hin erscheint diese Richtung durch den aufwändigen Kletterweg nach oben nicht als sinnvoller Fluchtweg. Demzufolge wird vorgeschlagen, eine Mindestzahl von drei Dachluken hinreichender Flächengröße verbindlich und nicht ausgleichsfähig zu anderen Ausstiegen vorzuschreiben.

Ihre Anordnung muss laut den ECE-Richtlinien symmetrisch zur Längsmittlebene und gleich verteilt über die effektive Länge des bestuhlten Fahrgastraumes erfolgen. Für Fahrzeuge mit der zulässigen Aufbauhöhe sind die Dachluken durch zusätzliche, nicht sicht- oder fluchtbehindernde Absperrungen zu versehen.

Für das untere Passagierdeck von Doppelstockfahrzeugen sollte der Zwischenboden mit der entsprechenden Anzahl und Verteilung von „Notklappen“ versehen werden [6]. Mit diesen Maßnahmen kann ein hohes Maß an „Durchlässigkeit“ in der vertikalen Fahrzeugrichtung (vom Dach zum Boden) erwartet werden, die sich in Seitenlage als wirksamste Hauptfluchtrichtung erwiesen hat.

6.1.5 Notfallinformation

Wegen der vielfältigen fahrzeugspezifischen Ausstattungsvarianten bei Bussen ist insbesondere der Fahrgast mit den Notfallsystemen nicht vertraut [22].

Daher ist es angebracht, die Fahrgäste - ähnlich wie in Flugzeugen - über die einzelnen Notfalleinrichtungen hinsichtlich Art, Unterbringungsort, Gebrauch und Verhaltensweise der Bussinsassen in Notfällen zu informieren.

Es gibt im Wesentlichen die Möglichkeit, mittels Faltblättern und Filmen über das Verhalten in Notfallsituationen zu informieren. Daneben sind auch noch Durchsagen bzw. zur Entlastung des Fahrers oder Begleitpersonals, (Audio-)Kassetten denkbar. Beide Medien dienen nicht ausschließlich der Notfallinformationen. In erster Linie informieren sie über die Komforteinrichtungen des Busses, z. B. die Sitzhandhabung.

Für den Notfall werden Informationen über

- Notausgänge (Nothahnbetätigung, Nothammer-einsatz),
 - Verhalten im Brandfall und Lage der Feuerlöcher,
 - Lage des Erste-Hilfe-Materials
- gegeben.

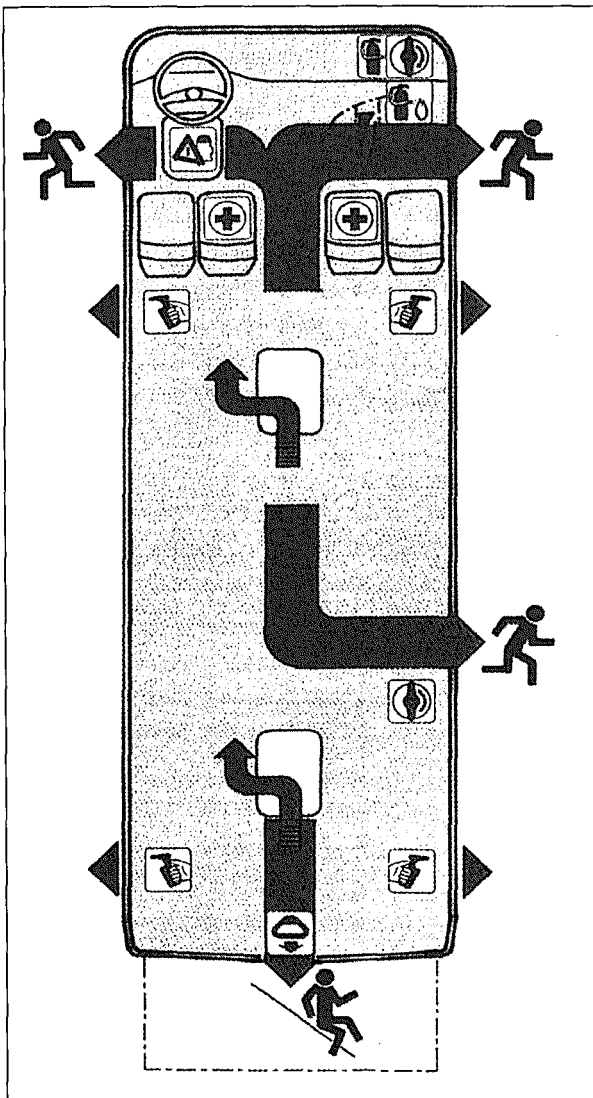


Bild 15: Notfallinformationen [12]

a) Faltblätter

Sie informieren mittels Piktogrammen, in schriftlicher Form oder in einer Kombination aus beiden. Piktogramme sind sprachenunabhängig. Teilweise sind sie allerdings schwierig zu interpretieren. Eine einheitliche Normung würde hier Abhilfe schaffen. Schriftliche Informationen können mehrsprachig ausgeführt sein. Am wirkungsvollsten ist eine Kombination aus Piktogrammen und erläuternder Beschreibung.

b) Film

Es ist das ansprechendere Medium, allerdings ist die Mehrsprachigkeit mit einem gewissen Aufwand verbunden (siehe Kapitel 5.9, Notfallinformationen).

c) Markierung des Fluchtweges:

Ein nachahmungswertes Beispiel zeigt eine Studie aus Japan: Beschriftete Pfeile auf dem Fußboden des Mittelganges weisen den kürzesten Weg zum jeweiligen Notausstieg [14]. Diese Art der Kennzeichnung würde besonders Kindern helfen. Sie haben durch die hohen Lehnen im Reisebus, nicht nur im Notfall, keinen Überblick und somit deutliche Orientierungsschwierigkeiten [6].

6.1.6 Beleuchtung

Der Beleuchtung kommt im Falle einer Notsituation bei schlechten Lichtverhältnissen (1991 geschahen 10,9 % der Unfälle in der Dämmerung und 30,3 % in der Nacht [1]) die wichtige Rolle zu, den Weg zum nächsten Ausstieg zu weisen und die dortige Öffnungsmöglichkeiten und deren Beschilderung hervorzuheben. Momentan sind die einzigen beleuchteten Notausstiegselemente die Nothähne der Betriebstüren. Eine vollständige und ständige Beleuchtung der anderen Notausstiege wird, laut Aussage einiger Hersteller, von den Kunden als störend empfunden.

In der Regel wird der Bus durch eine so genannte Nachtbeleuchtung in ein meist farbiges Dämmerlicht gehüllt. Dies hat drei Nachteile:

- Die Gesamthelligkeit reicht zur Orientierung und Evakuierung nicht aus.
- Nothämmer, Notluken und Treppenstufen werden nicht hervorgehoben, da sich die Beleuchtung auf den Mittelgang konzentriert.

- c) Ist die Beleuchtung farbig, z. B. grün, kommt es zu einer verfälschten Farbwahrnehmung. Die eigentlichen Signalfarben, wie z. B. ein roter Notgriff an der Dachluke, erfüllen ihre Funktion nicht mehr.

Folgerung

Die Notbeleuchtung sollte farblos, das heißt weiß oder gelb, und von ausreichender Helligkeit sein. Weißes Licht transportiert keine Informationen und irritiert somit nicht. Die einzelnen Ausstiege sowie Nothämmer, Nothähne und Treppenstufen müssen einzeln durch eine gesonderte Beleuchtung hervorgehoben sein. Um eine gedimmte Nachtbeleuchtung weiterhin zu ermöglichen, sollte im Notfall eine Umschaltung von Nacht auf Notbeleuchtung erfolgen. Da der Busfahrer für diese Maßnahme unter Umständen nicht mehr zur Verfügung steht, ist der Einsatz eines Crashsensors erforderlich, um die Umschaltung automatisiert erfolgen zu lassen.

Als Grundvoraussetzung muss natürlich die Stromversorgung durch den Einsatz getrennt abgesicherter Stromkreise und lageunabhängiger Batterien gesichert sein.

6.1.7 Rollstühle

Für auf einen Rollstuhl angewiesene Personen gibt es drei Möglichkeiten, den Bus als Transportmittel zu nutzen:

- Im speziell umgerüsteten Kleinbus: Hier finden sich anstelle von Sitzen Halteschienen auf dem Boden, in denen der Rollstuhl durch das Begleitpersonal befestigt wird. Ein Lösen dieser Befestigung ist dem Insassen selbst nicht möglich. Der Zugang in den Bus erfolgt mittels einer Rampe oder einer Hubvorrichtung. Beide Einstiegshilfen sind nur bei aufrecht stehendem Bus funktionsfähig.
- Im normalen Reisebus für den Fall einzelner Rollstuhlfahrer in einer Reisegruppe: Als möglicher Stellplatz bietet sich der für Fahrräder oder Kinderwagen freigehaltene Raum im Bereich der hinteren Betriebstür an. Der Rollstuhl kann hier nicht befestigt werden, bei einem Unfall stellt der Rollstuhl eine Gefahr für die Insassen dar.
- Im nicht umgerüsteten Klein- oder Großbus, wenn der oder die Rollstuhlfahrer vom Begleitpersonal in die normale Bestuhlung des Busses

umgesetzt wird: Der Rollstuhl kann dann, ggf. zusammengeklappt, im Gepäckraum mitgeführt werden.

Für alle drei Fälle gilt: Eine Eigenrettung des körperlich behinderten Insassen ist so gut wie auszuschließen. Der Rollstuhlbenutzer wird deshalb vereinfachend wie ein verletzter und dadurch bewegungsunfähiger nicht körperlich behinderter Insasse betrachtet. Dieser muss dann durch Rettungskräfte von außen evakuiert werden, hierfür müssen ausreichend große Notöffnungsquerschnitte zu Verfügung stehen.

6.2 Gesamtsystem der Notausstiege

Um die Wirksamkeit eines Notausstiegssystems zu bewerten, reicht es nicht aus, die einzelnen Ausstiegstypen getrennt zu betrachten. Aus diesem Grunde ist es unbedingt notwendig, die Gesamtheit aller Notausstiege mit den dazugehörigen Fluchtwegen zu analysieren, um so Engpässe zu vermeiden und Optimierungsmöglichkeiten zu schaffen. Dabei sind gesetzlich mindestens zwei Hauptfluchtrichtungen vorgeschrieben, die in allen denkbaren Endpositionen des Busses gewährleistet werden müssen.

Eine Rolle im Zusammenwirken der Notausstiege spielen:

- die Endlage des Busses (Normal-, Seiten- oder Dachlage);
- ein eventueller Ausfall einzelner Ausstiege durch unfallbedingte Deformation bzw. Beschädigung;
- die physische und psychische Verfassung der Passagiere;
- die Personenkapazität der Ausstiege;
- der individuelle im Bus zurückzulegende Fluchtweg des Einzelnen;

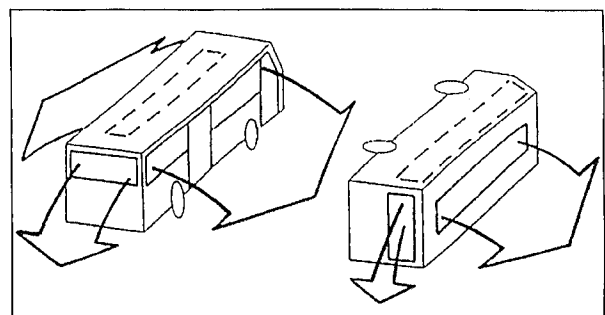


Bild 16: Hauptfluchtrichtungen [6]

- die Versperrung des Fluchtweges durch herausgerissene Innenausstattung und Handgepäck;
- und - besonders wichtig - die Akzeptanz des Ausstieges durch den Fahrgast: Hierdurch wird bestimmt, welchem der mehr oder weniger weit entfernten Notausstiege der Fahrgast sich zuwendet.

Hierbei muss unbedingt beachtet werden, dass durch den Unfall und dessen Folgen meist der Verlust einiger Notausstiege zu verbuchen ist. Folgende Situationen können auftreten:

- a) Durch die Seitenlage des Busses wird eine komplette Seite mit Notfenstern und gegebenenfalls Nottüren unbrauchbar.
- b) Die Dachlage hat den Verlust der Dachluken zur Folge. Durch den Überschlag kann es auch zum Verklemmen der Nottüren kommen.
- c) Durch unfallbedingte Deformation können folgende Bereiche in Mitleidenschaft gezogen werden:

- Die Front: Sie ist mit 70 % der häufigste Anstoßbereich bei Busunfällen mit zwei oder mehr Unfallbeteiligten [3]. Durch die nachgiebige Frontstruktur des Busses können sich große Deformationstiefen bis zu 1,2 m ergeben [19]. Dadurch kann zum einen der Überlebensraum des Fahrers nicht mehr gewährleistet werden, zum anderen kann auch die vordere Betriebstür als Notausstieg unbrauchbar werden. Bereits Kollisionen mit Pkw und Krafträdern, die eigentlich keine größere Gefahr für die Businsassen darstellen, können zu einem Verklemmen der vorderen Betriebstür führen [22].
- Die Seite: Hier können einzelne Seitenfenster und gegebenenfalls Türen in Mitleidenschaft gezogen werden. Die Deformationstiefen sind geringer, sie liegen zwischen 200 und 300 mm [22]. Auch wenn die Außenhaut im Wesentlichen erhalten bleibt, werden als Deformationsfolge die Sitzbänke aus der Verankerung gerissen und bis zu 300 mm gängeinwärts verschoben. Dies hat einen vollständigen Verlust des Mittelganges zur Folge [4].
- Das Heck: Der Heckaufprall macht bei Kollisionen zwischen Bus und Lkw nur rund 5 % aus [2], das heißt, der Ausstieg durch Heckfenster oder -nottür steht mit großer Wahr-

scheinlichkeit noch zur Verfügung. Der Notausgang im Heck funktioniert unabhängig von Seiten- und Dachlage des Busses.

- Der Überschlag: Auch wenn nach dem Überschlag der Überlebensraum im Bus nach ECE-R 66 erhalten bleibt, können durch die Verformungen des Aufbaus Dachluken und Türen verklemmt sein.
 - Der relativ seltene Brandfall ist zu 64 % ein Motorbrand [21]. Er hat den Verlust des heckseitigen Notausstieges zur Folge (siehe hierzu auch das Kapitel 7, Brandfall).
- e) Der Sonderfall Wasserung führt je nach Endlage des Busses auch zu erheblichen Einschränkungen der Notausstiegsmöglichkeiten. Hierzu lagen aber wegen der geringen Fallzahl keine auswertbaren Materialien vor.

Fluchtweglänge

Ziel ist es, die individuelle Fluchtweglänge des Einzelnen zu minimieren. Die Fluchtweglänge variiert stark je nach Sitzplatz und den nach dem Unfall zur Verfügung stehenden Notausstiegen. Für die aufrechte Normallage des Busses ist der kürzeste Fluchtweg der seitliche Ausstieg durch die Seitenfenster. Ist nicht jedes Fenster ein Notausstieg, erfolgt ein Ausweichen über den Mittelgang, welches mit einer Behinderung der anderen Flüchtenden einhergeht.

Fluchtwegerhaltung

Der Mittelgang als zentraler Fluchtweg ist schon ohne zusätzliche Hindernisse eine Engstelle. Durch seitlich verschiebbare Sitze darf er bis auf 220 mm reduziert werden (ECE-R 36 und 107). Durch den Aufprall oder Deformationen herausgerissene Innenausstattung und loses Handgepäck kann ein Durchkommen ebenfalls erschwert und sogar verhindert werden.

Akzeptanz

Hierzu muss man sich in den einzelnen Fahrgast hineinversetzen, um herauszufinden, welchem der Notausstiege er sich bevorzugt zuwenden würde.

Die Türen sind bereits als Ausstieg bekannt und werden deshalb im Notfall intuitiv als Erstes gewählt. Durch die, auch im Linienbusbetrieb übliche Praxis, vorne ein- und hinten auszusteigen, wendet

sich die Mehrheit der Passagiere auch im Notfall der hinteren Tür zu. Bei dieser Ausstiegsart besteht zudem keine Angst vor Verletzungen und somit keine Hemmschwelle.

Die Fenster ermöglichen den Blick nach draußen und wecken somit das Bestreben und die begründete Einschätzung, auf diesem Wege das Fahrzeug auch verlassen zu können. Allerdings stellt das Einschlagen einer Glasscheibe eine nicht zu unterschätzende Hemmschwelle dar.

Dachluken sind besonders für die Endposition des Busses in Seitenlage empfehlenswerter als ein Ausstieg nach oben durch die Seitenfenster mit nachfolgendem Absprung 2,5 m auf die Fahrbahn. Eine Verletzungsgefahr an der Luke selber besteht nicht.

In einer vorliegenden DTLR-Studie aus Großbritannien [25] mussten sich die befragten Personen für die Notausstiege entscheiden, deren Betätigung ihnen bekannt und verständlich erschien. 59 % der befragten Personen wählten die Türen als Notausstieg, 38 % die Fenster und 3 % die Dachluken. Eine japanische Studie [15] kommt zu ähnlichen Ergebnissen. Hieraus ergibt sich deutlich der Bedarf nach besserer Kennzeichnung und einheitlicher Bedienung bei den Dachnotluken.

Kapazität

Sie bestimmt, wie viele Personen den Notausstieg pro Sekunde passieren können. Die Kapazität ist abhängig von der Größe, ergonomischen Hilfsmitteln und der körperlichen und psychischen Verfassung der Insassen.

Evakuierungszeiten

Sie hängen direkt von der Anzahl der zur Verfügung stehenden Notausstiege ab. Bild 17 zeigt die Abhängigkeit der Evakuierungszeit von der Fensteranzahl. Ausgangslage waren Versuche an einem japanischen Reisebus mit Schiebefenstern in Normallage [14].

Ähnliche Versuche an Bussen in aufrechter Normallage und bei optimalen Ausgangsbedingungen belegen, bei der Nutzung aller zur Verfügung stehender Notausstiege, Zeiten unterhalb einer Minute [6]. Eine grobe Abschätzung der Gesamtheit aller genannten Einzelflüsse ergibt eine Größenordnung vom etwa Dreifachen des experimentell ermittelten Zeitbedarfs, wenn ältere Businsassen von

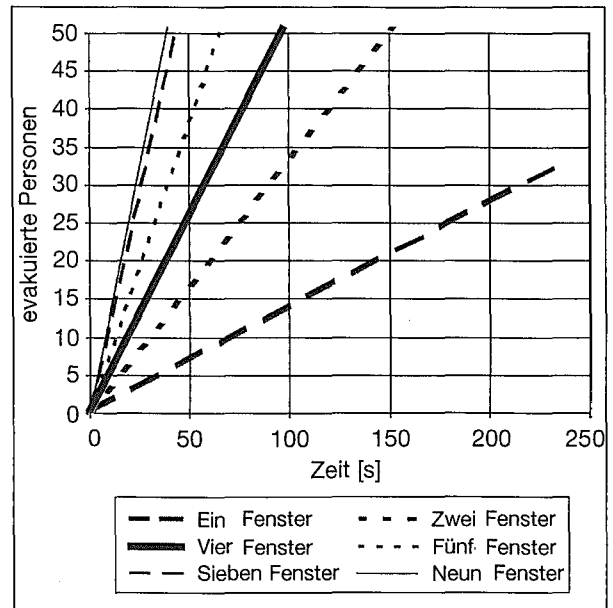


Bild 17: Abhängigkeit der Evakuierungszeit von der Fensteranzahl (Versuchsbus mit 9 Fenstern und 35 Insassen) [14]

einem Notfallereignis überrascht werden und das Fahrzeug sich in aufrecht stehender Normalposition befindet [6].

Flugzeuge sind in dieser Situation, durch einen ähnlichen Entwicklungsstand und eine Absturzgefahr bis zu 3 m an den Ausstiegen, vergleichbar mit einem Reisebus. Die vereinfachte Leistungsanforderung an das Notausstiegssystem von Flugzeugen schreibt vor, dass der voll besetzten Passagierraum innerhalb von 90 s zu räumen ist [6]. Diese Prüfanforderung ist in einem Evakuierungstest nachzuweisen.

Beispiel: Ein Airbus mit 286 Personen kann in 70 s über 6 Notausstiegsöffnungen mit Notrutschen evakuiert werden [6].

6.2.1 Normallage

In dieser Position ist der Ausstieg durch jeden der einzelnen Notausstiege möglich. Das Verlassen des Busses durch die Dachluken empfiehlt sich jedoch nur für Sonderfälle wie z. B. eine Wasserung.

Die Wirksamkeit der Betriebstüren als Ausstiege für den Notfall hängt entscheidend von den Zugangsmöglichkeiten im Innenraum ab. Sie wäre noch zu verbessern, wenn die klappbaren Sitze an den Einstiegen wegfallen würden. Im Bereich der hinteren Betriebstür sind sie generell problematisch, da zur Rückstellung zuerst die dort sitzenden Fahrgäste den Platz verlassen müssen und danach

der Doppelsitz manuell entriegelt und hochgeklappt werden muss. Im vorderen Einstieg ergibt sich die gleiche Problematik. Vertretbar sind nur solche Sitze, deren Sitzfläche nach Entlastung automatisch nach oben klappt und somit den Zugang freigibt. Von der Anordnung von zwei dieser Sitze nebeneinander sollte dennoch abgesehen werden.

Bei einem aufrecht stehenden Reisebus wurden 1985 bereits umfangreiche Evakuierungsversuche vom TÜV Rheinland durchgeführt [6]. Sie belegen anschaulich das Zusammenspiel der einzelnen Elemente und decken Schwachstellen auf.

Versuchsbedingungen

Die Evakuierungstests wurden mit zwei Personengruppen durchgeführt.

Eine Gruppe bildeten 34 Kinder im Alter von acht bis zehn Jahren, die von vier Erwachsenen begleitet wurden. Die andere Personengruppe wurde von 41 Männern und Frauen im Alter von ca. 20 - 60 Jahren dargestellt. Die Probanden waren vor dem Test lediglich allgemein um ihre Mitwirkung in Versuchen mit Omnibussen ersucht worden. Sie hatten weder Kenntnis von der Zielsetzung des Vorhabens noch von Einzelheiten der Notausstiege und ihrer Benutzung.

Versuchsablauf

In drei Versuchsläufen wurden jeweils bei einem Reisebus (und einem hier nicht näher betrachteten Linienbus)

1. zunächst die Türen,
2. dann nur für die Erwachsenengruppe zwei linksseitige Notfenster und
3. schließlich ebenfalls nur für die Erwachsenengruppe Türen und die bereits zerstörten linken Notfenster als

Hauptfluchtwege angewiesen.

Die Öffnung der Betriebstüren wurde durch die zentralen Öffnungsbetätigungen vom Fahrer zeitgleich mit seiner Ansage vorgenommen. Die Auswahl und Inanspruchnahme der Notfenster wurde so gesteuert, dass bis auf zwei Nothämmer alle weiteren vor dem Test eingezogen wurden.

Die erwachsenen Begleiter der Kindergruppe waren zu je zwei Personen in Türnähe positioniert.

Ergebnisse

1. Fluchtweg Türen

- t_{\max} Kinder = 40 s
- t_{\max} Erwachsene = 33 s
- Je etwa zwei Drittel der Insassen wählten die hintere Tür als Fluchtweg.
- Der Zeitbedarf der Evakuierung betrug ca. eine halbe Minute. Er wurde nur durch die Kindergruppe im Reiseomnibus geringfügig überschritten.
- Die Kapazität der vorderen Tür als Fluchtweg wurde nicht voll ausgeschöpft.
- Mit den Innenaufnahmen zu diesem Versuch können auch Orientierungsprobleme von Kindern hinsichtlich der Türenlage anschaulich belegt werden. Der verhältnismäßig schmale, vierstufige und steile Treppenniedergang zur hinteren Betriebstür des Reiseomnibusses ist aus Augenhöhe der Kinder und in Anbetracht der Massierung an diesem Ort nur schwer zu erkennen.
- Aus der Sicht der Außenkameras wird auch deutlich, dass die ergonomischen Ausstiegshilfen, wie Handläufe, Griffe, Stufenhöhen mehr den Erfordernissen Erwachsener als Kindern dieses Alters angepasst sind. So kann mit dem beschriebenen Orientierungsproblem im Innenraum und mit den erschwerten Ausstiegsbedingungen am Treppenniedergang das vergleichsweise verzögerte Bewegungsverhalten der Kinder im Bereich beider Betriebstüren erklärt werden.
- Die Trennlinie zwischen der nach vorn und hinten gerichteten Insassenbewegung verlief in etwa zwischen dem ersten und zweiten Drittel des Fahrgastraumes. Im Bereich der hinteren Tür, die zwischen dem zweiten und letzten Drittel der Fahrzeuglänge liegt, kommt es folglich zur Begegnung zweier entgegengesetzter gerichteter Insassenströme und damit zum Rückstau an diesem Ausstieg. Die Abänderung der einmal gewählten Richtungsentscheidung und Hinwenden zum anderen Ausgang war nicht festzustellen.

2. Fluchtweg linke Fahrzeugseite, Fenster

- t_{\max} Erwachsene = 52 s
- Ein Viertel dieses Zeitraumes vergeht für das Zerstören der Einfach- oder Doppelverglä-

sung und für das Ausräumen einer hinreichenden Öffnungsflächengröße.

- Die Filmaufnahmen aus dem Innenraum lassen erkennen, dass vor allem der schmale Mittelgang des Reiseomnibusses die Bewegungen der Flüchtenden hemmt. Die letzten der Insassen an der Ausstiegsöffnung Fenster kamen jeweils aus der am weitesten entfernten Sitzposition der rechten Sitzreihen.
- Wichtig ist die an die Fahrzeugbestuhlung angepasste Lage von Notfenstern. Nach den Höhen- und Breitenmaßen können die Notfenster zugleich von zwei Personen durchstiegen werden. Voraussetzung dafür ist, dass die davor liegenden Sitzbänke als Trittstufen zu nutzen sind. Die Sitzlehne überragt die untere Fensterkante um 200 - 300 mm. Je nach dem Sitzteilerabstand können maximal zwei Rückenlehnen in die Fensteröffnung hineinragen. Aus der äußeren Kamerapersicht ist zu belegen, dass mit einer mittigen Anordnung der Sitzlehne zur Fensterbreite ein maximaler Personendurchsatz zu erzielen ist. Damit können Zug um Zug je zwei Personen zugleich den Fensterausstieg durchqueren. Bei unsymmetrischer Lage der Sitzlehne in Bezug auf die Breite des Notfensters hingegen besteht die Gefahr der Einklemmung und Selbstbehinderung. Dann muss, wie bei dem hinteren Notfenster des Reiseomnibusses, mit einem verminderten Durchsatzwert gerechnet werden.

3. Fluchweg nach zwei Seiten

Im dritten Versuchslauf lautete die Notfallanweisung, das Fahrzeug so schnell wie möglich nach zwei Seitenrichtungen hin durch die Türen und die bereits geöffneten zwei Notfenster zu verlassen.

- t_{\max} Erwachsene = 24 s
- Bei alternativen Hauptfluchtrichtungen durch Türen und freie Notfenster der linken Fahrzeugseite wählen etwa zwei von drei Insassen die Türausstiege.
- Von allen Türbenutzern streben zwei von dreien die hintere Tür an, wobei ein Rückstau dort in Kauf genommen wird.

4. Bewertung der Versuchsergebnisse aus 1 bis 3:

Die Auswertung zeigt, dass in keinem der acht Versuchsläufe die Zeitdauer einer Minute für die Evakuierung voll- bzw. teilbesetzter Omnibusse über-

sritten wurde. Das Zertrümmern und Ausräumen von Notfenstern durch erwachsene Insassen nehmen etwa eine viertel Minute in Anspruch. Dies gilt auch für doppelt verglaste Notfenster.

Bei alternativen Hauptfluchtrichtungen zu den Fahrzeugseiten hin werden die Türen von knapp zwei Dritteln aller Insassen bevorzugt. Wiederum davon zwei Drittel wenden sich der hinteren Fahrzeugtür zu und bewirken damit eine Massierung und Rückstau vor diesem Ausgang. Entscheidungsänderungen und die Bewegungsumkehr zu einem anderen freien Ausgang waren nicht festzustellen.

Bezogen auf die vordere Tür könnte mit einer veränderten Einbaulage der hinteren Tür - beispielsweise hinter der Hinterachse - eine Gleichverteilung der Werte des Personendurchsatzes erzielt werden.

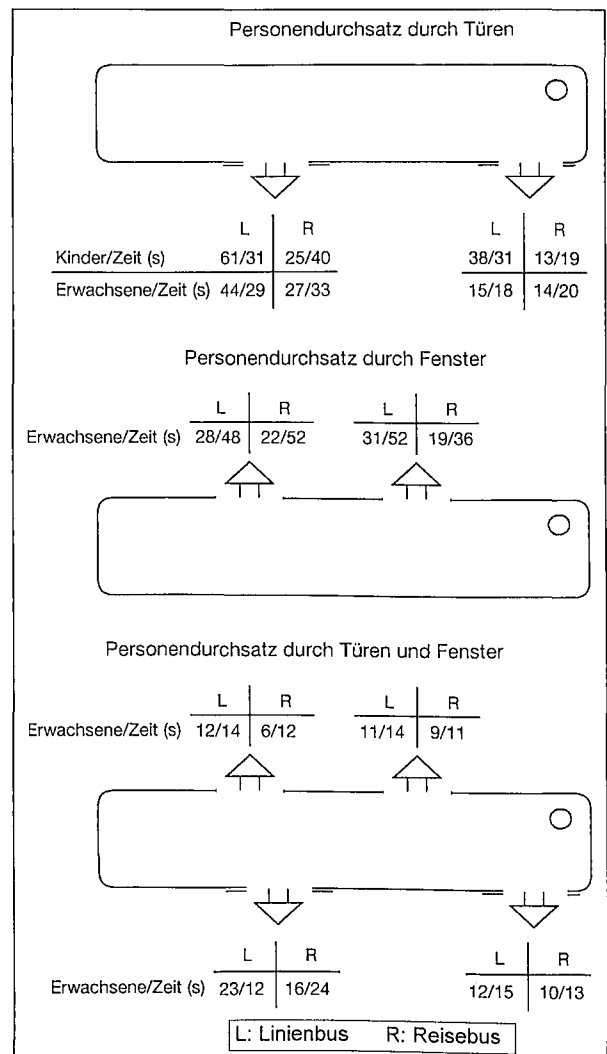


Bild 18: Personendurchsatz in Fahrgäste pro Zeiteinheit [6]

Nach den berechneten Werten des Personendurchsatzes für alle in Gebrauch genommenen Ausstiege verlassen die Kinder den Linienbus annähernd doppelt so schnell wie die Erwachsenen. Im Reiseomnibus jedoch bewegen sich die Kinder deutlich langsamer als die Erwachsenen. Die Gründe dafür liegen an Orientierungsschwierigkeiten der Kinder im Bereich vor der hinteren Tür. Auch die ergonomische Auslegung des Treppenniederganges erscheint mehr den Erfordernissen Erwachsener zu entsprechen und bedingt eine verzögerte Fluchtbewegung der Kinder.

Die Breite des Mittelganges von Reiseomnibussen führt zu Rückstau und Zeitverlust, wenn sich die Bewegung der Insassen in Fahrzeuginnenrichtung bewegt. Die Fluchtbewegung sollte deshalb zu den Fahrzeugseitenflächen hin gerichtet werden. Den kürzesten individuellen Fluchtweg erhält man, wenn man jedes Seitenfenster zum Notausstieg macht. Allerdings erhöht sich damit die Zahl derer, die selbst eine Scheibe zerstören müssen.

Die in den Versuchen zugrunde gelegte Ausgangssituation ging davon aus, dass alle Insassen durch das vorausgehend angenommene Notfallereignis unverletzt waren. Weiterhin waren die Versuchspersonen gesund, beweglich und hellwach. Das verunfallte Fahrzeug befand sich in aufrecht stehender Normalposition. Das Szenario einer realistischen, lebensbedrohlichen Notfallsituation konnte damit nicht getroffen, bestenfalls in erster Annäherung dargestellt werden [6].

6.2.2 Seitenlage

In der Seitenlage stehen folgende Ausstiege zur Verfügung:

Die Seitenscheiben

Sie bieten eine ausreichend große Ausstiegsfläche. Allerdings müssen sie über Kopf geöffnet bzw. eingeschlagen werden. Die aufzubringende Kraft für den Erstschlag und das Ausräumen der Glasreste ist nicht das Hauptproblem. Abschreckend wirken vielmehr die auf die Passagiere herabregnenden Glassplitter. Nach dem Einschlagen der Scheiben wird das nach oben Klettern erleichtert durch:

- ausgeklappte Armlehnen,
- seitlich auseinander geschobene Sitze,
- Fußstützen,

- die Handläufe an der Gepäckablage oder den Einstiegen und
- Haltegriffe an den Sitzlehnen.

Erschwerend wirken hingegen:

- herausgerissene Innenausstattung,
- loses Handgepäck und
- verletzte Personen.

Die Ausrüstungspflicht (und Anlegepflicht) für Sicherheitsgurte bringt eine neue Problematik mit sich. Die angegurten Insassen werden zwar während des Unfalles und Umstürzens des Busses sicher auf ihren Plätzen gehalten, ob sie jedoch in Seitenlage selbst den Gurt lösen können, wurde noch nicht ausreichend untersucht. Für die oben, das heißt auf der umsturzabgewandten Seite, sitzenden Fahrgäste besteht eine Absturzgefahr von bis zu 2,5 m. Besonders die gegenüber der hinteren Betriebstür sitzenden Fahrgäste haben keine Möglichkeit, nach dem Öffnen des Sicherheitsgurtes sich nach unten abzustützen, da die gegenüberliegenden Sitzbänke fehlen. Diese Thematik wurde ebenfalls im weiteren Verlauf in Versuchen an einem Reisbus in Seitenlage und CAD-Simulationen ausführlich untersucht.

Haben die Fahrgäste den Bus nach oben verlassen, stehen sie auf dem Bus in 2,5 m Höhe über der Fahrbahn. Da hier Abstiegsmöglichkeiten völlig fehlen, bleibt nur der Sprung in die Tiefe. Denkbare Abstiegs Hilfen reichen von Trittstufen oder Leitern im Fahrzeugunterboden bis hin zu ausklappbaren oder aufblasbaren Notrutschen. Trittstufen oder eine Leiter im Fahrzeugunterboden sind für den Fahrgast von oben nicht oder nur schwer zu erkennen. Sie erfordern zusätzlich ein sehr sorgfältiges Absteigen der sich in Panik befindlichen Unfallopfer. Aus diesem Grund ist der Rutsche der Vorzug zu geben.

Die Heckscheibe (bzw. Hecknottür)

Sie ermöglicht in der Seitenlage einen nahezu ebenerdigen Ausstieg. Um allerdings die volle Notausstiegsfläche freizugeben, muss die hintere Sitzbank umgeklappt werden. Dazu ist eine nach innen - gegen den Flüchtlingsstrom - gerichtete Zugbewegung nötig. Somit können in einer entstehenden Panik wertvolle Sekunden benötigt werden, bis der Weg aus dem Unfallobjekt frei ist. Hier liegen die

Vorteile einer heckseitigen Nottür die in allen Lagen einen freien Zugang besitzt.

Ein Nachteil bei diesem Notausstieg ist, besonders bei vorne sitzenden Fahrgästen, der lange Fluchtweg, der ebenfalls versperrt sein kann.

Die Dachluken

Hier liegt der wirkungsvollste Notausstieg für die Seitenlage. Die Dachluken sind gleichmäßig über die gesamte Fahrgastraumlänge verteilt. Der Öffnungsquerschnitt ist allerdings für eine effektive Evakuierung deutlich zu klein. Der Ausstieg ist bei einer Höhe der unteren Kante von ca. 1 m mit dem Ausstieg aus dem Seitenfenster in Normallage vergleichbar. Um allen Fahrgästen den Ausstieg mit einem kurzen Fluchtweg zu ermöglichen, ist eine möglichst hohe Dachlukenanzahl anzustreben.

Die Frontscheibe

Für sie sind noch keine Notöffnungskonzepte realisiert worden. Durch ihre Größe und den direkten Zugang zum Mittelgang wird sie bevorzugt von Feuerwehrleuten zur Evakuierung genutzt. Vorgegangen wird in den folgenden Schritten [32]:

1. Zuerst wird mit einem Feuerwehrbeil o. Ä. ein kleines Loch geschaffen.
2. Von diesem Loch aus wird mit einer Glassäge oder einem elektrischen Fuchsschwanz die Scheibe ausgeschnitten. Entstehende Glassplitter können mit einer „dicken“ Wasser/Seifen-Lauge aus einer Handsprühflasche gebunden werden.
3. Wenn die Glasscheibe entfernt ist, werden bei Bedarf die A-Säulen abgeschnitten.

Die Betriebstüren

Sie stehen als Ausstieg für den Fall der Seitenlage auf der türabgewandten Seite zur Verfügung. Nachdem die Verriegelung geöffnet wurde, muss die Tür aufgestoßen werden. Sie muss dabei völlig geöffnet werden, also über den Totpunkt hinaus bewegt werden, da sie sonst wieder zufällt. Dies setzt eine ausreichende Abstützmöglichkeit und genügend Körperkraft der öffnenden Person im Inneren voraus. Wie sich hierzu die gegenüberliegenden Sitze sowie die Griffe und Haltemöglichkeiten im Einstiegsbereich eignen, werden die CAD-Simulationen und Evakuierungsversuche im Anschluss

zeigen. Im Vergleich mit dem Zerstören der ESG-Seitenscheiben ist der Aufwand deutlich höher, so dass der Ausstieg durch die Türen im Normalfall nicht empfehlenswert erscheint. Anders sieht es aus, wenn noch Hilfskraft vorhanden ist und die Türen, z. B. vom Fahrer, geöffnet werden können. Die Stufen am Einstieg erfüllen auch in Seitenlage nach einer Drehung des Busses um 90° genauso ihre Funktion. Nach Durchschreiten der Tür ergibt sich die gleiche Abstiegsproblematik wie nach einem Ausstieg durch die Seitenscheiben.

6.2.3 Dachlage

Es können alle Notausstiege bis auf die Dachluken verwendet werden. Nottüren, an Scharnieren seitlich angeschlagen, lassen sich ebenfalls problemlos öffnen. Der Ausstieg durch die mit großer Wahrscheinlichkeit durch den Aufprall und die Verwindung zerstörten Heck- bzw. Seitenscheiben gestaltet sich relativ einfach, da der Ausstieg ebenerdig erfolgt.

Das Hauptproblem dieser Endlage ist der vorausgegangene Umsturz und Überschlag des Busses. Als Folge treten Deformationen des Aufbaus, eine teilweise herausgerissene Innenausstattung sowie verletzte und bewegungsunfähige Businsassen auf. Die Verletzungen resultieren aus dem Aufprall der Insassen auf die Innenausstattung des Busses. Die verletzungsverursachenden Teile bei nicht angegurten Fahrgästen sind in Bild 19 dargestellt:

Besonders häufig werden als Verletzungsursache die Sitze bzw. Kopfstützen, die Seitenscheiben und

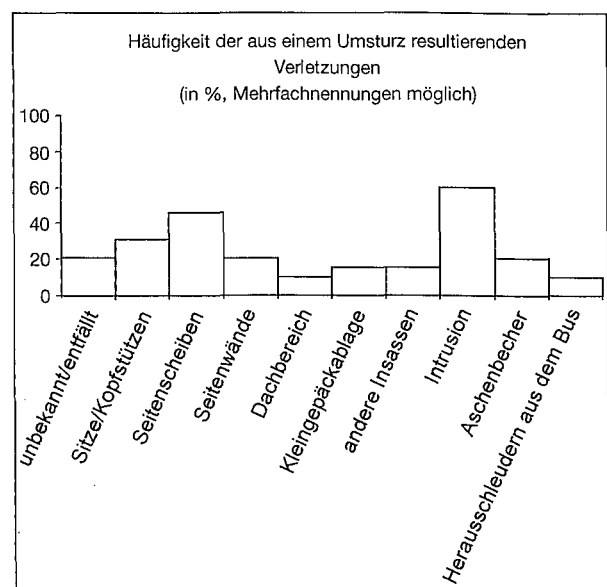


Bild 19: Aus einem Umsturz resultierende Verletzungen [2]

der Dachbereich genannt. Das Aufprallen auf die Sitze ist im Grunde zwangsläufig, da es das Ausstattungselement ist, das sich in unmittelbarer Nähe des Buspassagiers befindet. Die häufigen Nennungen des Dachbereichs, wozu auch die Kleingepäckablage und mit Einschränkungen Seitenscheiben zu zählen sind, weisen wiederum auf das Herumschleudern von Insassen während des Kippvorganges hin. Zur Verbesserung der passiven Sicherheit von Reisebussen könnte eine Polsterung dieser Ausstattungselemente einen Beitrag leisten. Dies betrifft auch die Aschenbecher, die bei anderen Kollisionstypen häufig als Verletzungsverursachend genannt werden [2].

Als Vorbild für eine Verletzungsverhindernde Innenausstattung sind hier die Schulbusse in den USA zu nennen. Sie verfügen über eine Energie absorbierende Innenraumpolsterung und hohe, beidseitig gepolsterte Sitzlehnen [13].

Bei angegurtenen Insassen ist die Problematik anders. Sie bleiben während des Umsturz- und Überschlagvorganges durch den Sicherheitsgurt auf ihren Plätzen, dadurch werden Verletzungen durch ein Auftreffen auf die Inneneinrichtung des Busses verringert. Bei der Gurtöffnung mit dem Kopf nach unten besteht jedoch erhebliche Absturzgefahr. Der Insasse wird mit dem Kopf auf die nicht oder nur leicht gepolsterte Gepäckablage auftreffen, wodurch schwere Kopfverletzungen auftreten können. Sie befindet sich laut ECE-R 36, 52 und 107 mindestens 900 mm über dem höchsten Punkt des unbelasteten Sitzpolsters. Die realisierten Maße bewegen sich im Bereich von 1100 mm.

In Versuchen zu überprüfen ist nun, ob eine Eigenrettung ohne größere Gefährdung möglich ist. Der Insasse muss mit einer Hand sein Körpergewicht abstützen und mit der anderen den Gurt öffnen. Ist dies nicht möglich, kommt nur eine Fremdrettung in Frage. Hierdurch vergeht wertvolle Zeit, weil normale Verkehrsteilnehmer als Ersthelfer, da nicht speziell ausgebildet, nicht in der Lage sind, auf diese Weise einen kompletten Reisebus zu evakuieren. Die Businsassen sind so unter Umständen auf eine Evakuierung durch geschulte Rettungskräfte angewiesen.

6.3 Rolle des Busfahrers und des Begleitpersonals

Busfahrer und Reiseleiter können im Gegensatz zum Fahrgast speziell geschult werden, damit sie

im Notfall koordinierend in die Evakuierung eingreifen können. Die jetzige Ausbildung ist in diesem Punkt allerdings unzureichend. Das Verhalten in Notsituationen ist in der Ausbildungsrichtlinie nicht vorgesehen. Außerdem können Busfahrer und Reiseleiter den Rettungskräften Informationen über die Fahrgastzahl geben.

Da das Begleitpersonal bzw. der Busfahrer nach einem Unfall, speziell bei einem Frontalaufprall, dazu unter Umständen nicht mehr in der Lage ist, fordert die Berufsfeuerwehr Trier (siehe Anlage VII) eine Art Check- bzw. Boardingliste. Auf dieser sollen die Personalien der Insassen vermerkt sein. Insbesondere die Personenzahl ist bei der Verletztenbergrung für die Rettungskräfte sehr nützlich. Des Weiteren könnten nach Anregung der DEKRA (siehe Anlage VII) diese Informationen durch einen Batterielageplan sowie die Lage der Notschalter ergänzt werden. Ein bestehendes Projekt der DEKRA befasst sich zur Zeit mit diesem Thema. In Zukunft ist hier beispielsweise eine Kombination aus einer GPS-Positionsbestimmung und einer GSM-Verbindung zur Leitstelle denkbar. Die zukünftig die Papier-Tachoscheibe ablösende fahrerbezogene elektronische Speicherung der Lenkzeiten und Geschwindigkeiten auf einer Tachografenkarte bietet sich als weiterer Speicherort für die Insassenliste an.

7 Brandfall

Die geringe Zahl von 190 bei den deutschen Versicherungen gemeldeten Brandfällen in Reisebussen im Jahr 1999 lässt eine Verbesserung des vorbeugenden Brandschutzes in dieser Fahrzeugklasse nahezu überflüssig erscheinen. Betrachtet man dagegen das Gefahrenpotenzial, welches aus derartigen Ereignissen resultiert, so übersteigt dieses das von Pkw um ein Vielfaches. Schlagartig ist eine größere Menge an Personen in einer für sie ungewohnten Umgebung einer direkt ersichtlichen Gefahr ausgesetzt [24]. Brandtests und Einsatzerfahrungen der Feuerwehr zeigen, dass es etwa vier Minuten dauert, bis von der Zündung eines kleinen Entstehungsbrandes an einem der Sitze der ganze Bus vollständig mit dichtem Rauch gefüllt ist. Nach etwa sieben Minuten ist die gesamte Inneneinrichtung im Vollbrand [32].

Es entsteht eine Paniksituation, die durch den Rauch noch verschlimmert wird. Notausstiege und die hinweisende Beschilderung werden nicht mehr wahrgenommen.

7.1 Ursachen

Eine finnische Studie [20] zeigt folgende Hauptursachen:

- Motorbrand (in rund zwei Dritteln der Fälle) z. B. durch einen Bruch der Kraftstoffleitung,
- Kurzschluss mit nachfolgenden Kabelbrand,
- überhitzte Bremsen.

7.2 Toxizität von Rauchgasen

Die aus einem Brand resultierende Gefahr besteht nur in zweiter Linie aus dem unkontrollierten Feuer selbst, Rauchvergiftungen stellen eine weitaus größere Gefahr dar. Deshalb wird die tolerierbare Zeitspanne für eine Evakuierung mit maximal 2 min angegeben [6].

Bei den Rauchbestandteilen müssen neben der Hitze und eventueller Brennbarkeit vier Gefahrschwerpunkte unterschieden werden:

- Akute Toxizität,
- systemische Wirkung,
- Verdrängung von Luftsauerstoffen,
- Reizung und Zusetzung der Atemwege durch Feststoffpartikel [24].

Unter akut toxischen Stoffen versteht man Atemgifte, die direkt in schädigender Form auf den Organismus wirken und abhängig von der Konzentration und aufgenommenen Menge innerhalb kürzester Zeit zu Gesundheitsschäden bis hin zum Tode führen [24].

Systemisch wirkend sind Stoffe, die erst einige Zeit nach der Exposition zu einer eventuellen Reaktion im Körper führen. Hierzu zählen z. B. kanzerogen (Krebs erregend), mutagen (Erbgut verändernd) und teratogen (Frucht schädigend) wirkende Stoffe [24].

Normale Atemluft beinhaltet eine Sauerstoffkonzentration von ca. 21 %. Die zum Überleben notwendigen Mindestkonzentration liegt bei 17 %. Brände führen auf zwei Arten zu einer Absenkung der Sauerstoffkonzentration in der Luft. Zum einen verbraucht die Verbrennung Sauerstoff, zum anderen verdrängen die gebildeten sauerstoffarmen Rauchgase die Umgebungsluft mit normalem Gehalt. Hierbei ist unerheblich, ob die Rauchgase toxische Komponenten beinhalten oder nicht. Durch eine verringerte Sauerstoffkonzentration wird aber

die unvollständige Verbrennung gefördert, welches wiederum zur Bildung eines größeren Anteils an toxischen Gasen im Rauch führt [24].

In Abhängigkeit des aerodynamischen Durchmessers von Schwebstoffen werden unterschiedliche Bereiche im Atemtakt erreicht. Große Partikel werden bereits durch die Nasenhärchen herausgefiltert, kleine können alveolargängig sein. Bei großen Mengen von Partikeln sind die Grenzen des körpereigenen Filtersystems schnell erreicht, es kommt zu Abwehrreaktionen wie Husten. Hierdurch kommt es zu einer Reizung der Atemwege, die durch die irritierende Wirkung einiger Gase verstärkt wird. Diese Reizwirkung ist panikfördernd [24].

Weitergehende Untersuchungen, die besonders darüber Aufschluss geben, wie sich mehrere Bauteile nebeneinander verhalten, wie sich die Rauchgaszusammensetzung gegenüber den üblichen Einzelproben ändert, ob sich die Abbrandgeschwindigkeit durch negative gegenseitige Beeinflussung erhöht, sowie eine Grenzwertbetrachtung sind Inhalt eines parallel laufenden von der DEKRA durchgeführten BAST-Projektes „Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen FE 82.187/2000“ [24]. Die DEKRA stellte uns freundlicherweise ihre bisher erarbeiteten Ergebnisse zur Verfügung.

7.3 Feuerlöscher

Für jedes Fahrzeug, das in Deutschland als Kraftomnibus zugelassen wird, ist mindestens ein Feuerlöscher mit 6 kg Löschmittel vorgeschrieben. Dieser ist an gut sichtbarer und leicht zugänglicher Stelle unterzubringen [22].

Die Bedienung erfolgt zu 70 % durch den Fahrer [20]. Einen der nach allen Zulassungsvorschriften geforderten Feuerlöscher unmittelbar im Zugriffsbereich des Fahrers vorzuschreiben erscheint durchaus zweckmäßig. Entsprechend der Bedeutung der hinteren Betriebstür, der etwa zwei Drittel aller Insassen im Notfall zustreben, könnte mit einem weiteren Feuerlöscher an dieser Ausstiegstelle ein weiterer Sicherheitsgewinn zu erzielen sein.

In Finnland zeigte sich, dass die üblichen 2-3 kg Pulverlöscher nicht ausreichend sind, nur in 12 % der Fälle war ein 6-kg-Pulverlöscher vorhanden [20].

Unbedingt empfehlenswert sind voll oder halb automatisierte Feuerlöschersysteme. Sie decken alle

wichtigen Zonen wie Koffer-, Fahrgast-, Motor- und Getrieberraum ab. Erste Systeme sind seit 1983 auf dem Markt, haben sich aber bisher noch nicht durchsetzen können [22]. Der hohe technische und finanzielle Aufwand steht einer relativ geringen Brandunfallzahl gegenüber. Sie können jedoch Brände bereits früh erkennen, im Anfangsstadium auslöschen und vom Fahrgastraum fernhalten, wodurch zum einen mehr Zeit für die Evakuierung zur Verfügung steht und zum anderen der Schaden am Bus selbst gering gehalten wird.

7.4 Ausbreitung

Die Ausbreitung erfolgt beim Motorbrand vom Heck aus, durch die Flammen wird die Heckscheibe von außen zerstört und das Feuer kann auf den Innenraum übergreifen. Die Feuerbeständigkeit des Motorraumes ist ausreichend, lediglich in 15 % der Fälle kamen die Flammen durch den Boden in den Innenraum [20].

Der Motorbrand zeichnet sich durch eine schnelle Ausbreitung aus, dafür ist der Entstehungsort, das Heck, bekannt. Ein dortiger Notausstieg (z. B. die Heckscheibe) wird somit unbrauchbar.

Ein Kabelbrand kann überall auftreten, auch innerhalb des Fahrgastraumes. Charakteristisch ist eine langsame Ausbreitung, deren Entstehung an verschiedenen Stellen möglich ist. Oftmals tritt ein Kabelbrand auch als Folge eines Motorbrandes auf. Durch diese Vielfältigkeit der Entstehungsorte lässt sich bei der Anordnung der Notausstiege nur schwerlich ein Brandfall berücksichtigen.

7.5 Evakuierung

Bei keinem einzigen der im Jahr 2000 in Finnland untersuchten 33 Fälle [20] traten größere Probleme auf. Lediglich bei körperlich Behinderten sind Probleme bei der Evakuierung zu erwarten.

Neben Bränden als eigenständige Unfallursache treten Brände auch als Unfallfolge auf. Dieser Fall stellt entsprechend höhere Anforderungen an das Notausstiegssystem des Busses. So sind häufig auftretende Unfallfolgen unbrauchbare Notausstiege sowie verletzte und in Panik geratene Passagiere. Tritt dann noch ein Brand auf, der durch den Unfallgegner noch gefördert werden kann, werden die höchsten Anforderungen an das Notausstiegssystem gestellt.

Den Extremfall stellt der Zusammenstoß mit einem Tankfahrzeug dar. Im nachfolgenden Fallbeispiel fuhr ein mit 41 Insassen besetzter Doppeldecker-Reisebus, während der Fahrt auf der Autobahn, mit seiner Vorderseite gegen das Heck eines langsamer vorausfahrenden, mit Kraftstoff beladenen Tankfahrzeuges [6]. In der Kollision wurden beide Windschutzscheiben des Busses und die hintere Wandung des Tankbehälters zerstört, so dass Kraftstoff in die Fahrgasträume gelangte und sich dort unmittelbar entzündete. Der Brand forderte das Leben von 20 Insassen, 18 davon kamen im Innenraum des Busses zu Tode.

Der Unfallablauf ist wie folgt zu beschreiben: Der Bus fuhr mit einer Geschwindigkeit von ca. 100 km/h auf den mit ca. 70 km/h vorausfahrenden Tankzug auf. Vom Kollisionsort bis zum Stillstand legte der Bus noch 122 m in 11-13 s zurück. Die ersten Insassen verließen das Fahrzeug erst nach dem Stillstand.

Das Oberdeck ist rechtsseitig mit 11, linksseitig mit 10 Doppelsitzreihen vor der viersitzigen letzten Sitzreihe bestuhlt. Der Raum bis zum hinteren Treppenniedergang enthält 12 Sitzplätze. Vor der vorderen Treppe sind 8 Sitzplätze angeordnet. In den sechs doppelverglasten Seitenfenstern des Oberdecks sind je zwei als Notfenster ausgewiesen. In Längsrichtung wird dieser Insassenraum durch die Windschutzscheibe vorn und durch die blecherne Außenwand des Fahrzeuges hinten begrenzt.

Durch die ermittelnde Polizeibehörde wurde ein Sitzplan zur Verfügung gestellt, der nach Aussagen Überlebender angefertigt wurde. Danach war das Unterdeck bis auf drei Fahrgastsitzplätze und den Reisebegleitersitz besetzt. Von den insgesamt 16 Insassen dort konnten sechs das Fahrzeug nicht mehr lebend verlassen. Einer der Entkommenen verstarb Tage später. Der Fluchtweg war nicht in allen Fällen zu ermitteln. Die meisten der Insassen des Unterdecks entfernten sich durch die hintere Tür. Über Versuche, durch die beiden Notfenster ins Freie zu gelangen, wurde nichts bekannt.

Im oberen Fahrzeugdeck befanden sich 25 Personen, von denen zwölf im Fahrzeug zu Tode kamen. Ein Getöteter wurde außerhalb des Fahrzeuges am Boden liegend unterhalb des fünften linken Seitenfensters aufgefunden. Getötet wurden vorwiegend die Insassen der vorderen Fahrzeughälfte, in die der Kraftstoff aus dem Tankbehälter unmittelbar einströmte. Vier Personen im Nahbereich des hinteren Treppenniedergangs blieben un-

verletzt. Sie, wie die anderen verletzten Entkommenen, benutzten die rückwärtige Treppe und die anschließende Tür als Fluchtweg. Für drei Insassen des oberen Decks ist nachgewiesen, dass ihnen die Flucht durch zwei Notfenster der linken Seite gelungen ist. Eine dieser drei Personen kam allerdings außerhalb des Fahrzeuges durch Brandeinwirkung zu Tode. Die beiden anderen trugen Brandverletzungen, aber angesichts der Sprunghöhe von ca. 3,2 m keinerlei knöcherne Verletzung davon.

Sie hatten mit den an den Fenstersäulen angebrachten Nothämmern die dritte und fünfte Seitenscheibe eingeschlagen. Der Zeitpunkt für den Entschluss, den alternativen Fluchtweg durch die Fenster zu wählen, ist nicht exakt bestimmbar. Das Fahrzeug muss sich jedoch bereits im Stillstand befunden haben. Andererseits muss ausweislich der Brandverletzungen die Flammenfront diese drei Insassen bis zum Durchqueren der Ausstiegsöffnung bereits erreicht haben. Schließlich ist davon auszugehen, dass die Wahl des Fluchtwegsfenster auch dadurch bestimmt wurde, dass der von den anderen Insassen benutzte Mittelgang und der Treppenniedergang bereits verstopft waren. In einer lebensbedrohlichen Situation wie diese, stellte selbst die Sprunghöhe aus dem oberen Fenster eines Doppelstockfahrzeuges keine ernsthafte Hemmschwelle dar [6].

In dieser Extremsituation zeigt sich, wie wichtig kurze Fluchtwege und kurze Notfallöffnungszeiten sind. Der kürzeste Fluchtweg beim aufrecht stehenden Bus ist immer noch der seitliche Ausstieg durch die Fenster, die ohne großen finanziellen und technischen Aufwand alle mit Nothämmern ausgerüstet und somit zu Notausstiegen gemacht werden sollten.

Den zweiten Ansatzpunkt stellen die Zeiten zum Öffnen des Notausstiegs dar. Hier kann man von ca. 15 s zum Einschlagen und Ausräumen eines ESG-Notfensters und ca. 8 s zur Nothahnöffnung einer pneumatischen Reisebustür ausgehen. Dazu kommt noch der Zeitbedarf zur Bewältigung des Fluchtweges von in diesem Fall 4-5 m. Dies ist in solchen Situationen deutlich zu viel. Wertvolle und unter Umständen lebensrettende Sekunden lassen sich durch schneller zu öffnende gerahmte Notfenster (Klapp- oder Push-Out-Fenster), absprengbare Notfenster sowie elektrisch angetriebene und mechanisch verzögerungsfrei entriegelbare Betriebstüren einsparen.

7.6 Anforderungen an Notausstiegssysteme für den Brandfall

- Extrem kurze Fluchtwege: Dies wird erreicht durch eine hohe Anzahl der Notausstiege (jedes Fenster als Notausstieg, möglichst viele Luken, zwei Treppenaufgänge bei Doppelstockfahrzeugen).
- Kurze Notöffnungszeiten der einzelnen Ausstiege:
 - o Türen: Sie sollten mechanisch und somit verzögerungsfrei entriegelbar sein. Zudem sollten sie mit Körperkräften von innen zu öffnen sein, wenn durch die Sichtbehinderung der Nothahn nicht erkannt wird.
 - o Fenster: Absprengbare Scheiben oder gerahmte Notfenster bieten einen deutlichen Zeitvorteil. Sie können zudem zentral ausgelöst werden und als Rauchabzug fungieren.
- Innenausstattung: Sie sollte brandhemmend sein, um die Folgen eines Brandes möglichst gering zu halten (zu näheren Details siehe das von der DEKRA durchgeführte BAST-Projekt FE 82.187/2000 [24]).
- Im Motorraum sollte sich ein entsprechend gekennzeichnete Motor-Not-Aus-Schalter befinden. Dieser Motor-Not-Aus ist beim Dieselmotor wichtig, da dieser auch bei Elektrizitätsausfall weiterlaufen kann und durch Schließen der Dieselführung abgestellt werden kann. Einige Motoren ausländischer Fabrikate oder Exportversionen verfügen auch über eine Notabspernung für die Treibstoffleitungen („Emergency fuel cut off“), die man benutzen kann, wenn der Motor anders nicht zum Stillstand zu bringen ist [32]. Die Erweiterung dieser manuellen Notschalter auf eine Ansteuerung durch einen Crashesensor wäre wünschenswert.
- Notfallinformationen über Fluchtwege und Notausstiege müssen unbedingt bei Fahrtantritt gegeben werden. Beschäftigt sich der Insasse erst während des Brandfalles mit der Thematik, sind die Notausstiege und deren hinweisende und erläuternde Beschriftung unter Umständen durch den Rauch nicht mehr wahrnehmbar.

8 Evakuierungsversuche und Simulationen

Im Rahmen des Projektes wurden umfangreiche Evakuierungsversuche am Reisebus in Seitenlage durchgeführt. Sie dienten dazu, die bisher gewonnenen Erkenntnisse näher zu untersuchen, zu ergänzen und zu belegen, sowie dazu, neue Erkenntnisse zu gewinnen. Des Weiteren sind diese Rettungsversuche als Vorarbeit für mögliche standardisierte Tests zu sehen. Vergleichbare Evakuierungsversuche werden bereits erfolgreich im Bereich der Luft- und Schifffahrt durchgeführt.

Evakuierungsversuche lassen sich in den vier möglichen Endlagen des Busses nach einem Unfall durchführen:

- aufrechte Normallage,
- Dachlage,
- Seitenlage auf Seite der Betriebstüren,
- Seitenlage auf der türabgewandten Seite.

Die aufrechte Normallage wurde 1985 bereits umfangreich in [6] untersucht.

Die Dachlage ist aufgrund der Schwerpunktlage des Busses relativ selten. Nur rund 3 % der Reisebusse befinden sich nach dem Unfall in dieser Endlage [22]. Bleibt die Busstruktur erhalten, bieten die Seiten- und Heckscheibe ausreichend bodengleiche Notausstiegsmöglichkeiten; andernfalls findet sich mit hoher Wahrscheinlichkeit im Bus eine hohe Anzahl Verletzter, die zu einer Eigenrettung nicht mehr fähig sind.

Ca. 20 % der Busse verbleiben nach dem Unfall in Seitenlage [32]. Über die Häufigkeit von links bzw. rechts gibt es widersprüchliche Zahlen [22, 32]. Diese Endlage bietet weniger Notausstiege als die Dachlage oder die Normallage, so dass hier die höchsten Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Notausstiege gestellt werden. Aus diesen Gründen wurde für unsere Versuchsanordnung die Seitenlage gewählt. Da der Öffnungsvorgang der Türen in dieser Endlage untersucht werden sollte, wurde die Lage auf der linken Seite gewählt. Bei der Analyse des internationalen Regelwerkes fiel zudem auf, dass die Seitenlage in Bezug auf Funktionsfähigkeit und Kennzeichnung der einzelnen Notausstiegselemente nicht bzw. kaum berücksichtigt wird.

Der Einfluss von Panik, Stress bzw. deren Verringerung war nicht Inhalt der Untersuchungen und wurde nur am Rande betrachtet. Um zu dieser Thematik repräsentative Ergebnisse zu bekommen, müsste die auslösende Notfallsituation realistisch simuliert werden. Dies war in diesem Fall nicht möglich und würde von der rein technischen Betrachtung des Ausstiegsvorganges ablenken.

8.1 Versuchsziele

Anforderung für ein effektives Notausstiegssystem ist eine möglichst kurze Fluchtweglänge für den einzelnen Fahrgast. Die Personenströme während der Evakuierung sollten sichtbar gemacht werden, um Richtungsänderungen und Trennlinien zu erkennen. Engpässe, Hindernisse und Hilfsmittel bei der Evakuierung sollten erkannt werden. Hierzu wurden die Zeiten erfasst, um den Durchsatz und die Kapazitäten der einzelnen Notausstiege zu bestimmen.

Nicht nur der Unfall bzw. Aufprall selbst bietet Verletzungsrisiken, auch bei der Evakuierung finden sich Verletzungsgefahren, die näher bestimmt werden konnten. Die Ergonomie des Notausstiegsvorganges, d. h. Körperhaltung und Betätigungskräfte, sollten näher beleuchtet werden. Bei der Seitenlage mit dem möglichen Ausstieg nach oben durch die Seitenfenster oder die Türen interessiert besonders die „Klettereignung“ der Innenausstattung. Stehen dem einzelnen Fahrgast mehrere Notausstiege zur Verfügung, entscheidet er sich für den, der ihm geeignet erscheint. Welche Gründe führen zu einer hohen Akzeptanz eines Notausstieges und wie kann man sie gezielt steuern, um die Kapazität jedes einzelnen Ausstieges voll auszunutzen? Alle diese Einzelergebnisse bilden die Grundlage für ein optimiertes und aufeinander abgestimmtes Notausstiegssystem.

8.2 Versuchsbedingungen

Für die Evakuierungsversuche wurde ein moderner Hochdecker-Reisebus eines namhaften Reisebusherstellers mittels einer eigens angefertigten Umkippvorrichtung in die linke Seitenlage gebracht. Dieses Verfahren ermöglicht es, neue Busse ohne Beschädigung umzukippen und wieder aufzurichten.



Bild 20: Kippvorgang des Versuchsbusses

Die Bestuhlung erfolgte mit Doppelsitzen zweier Sitzhersteller, ausgestattet mit 2- und 3-Punkt-Gurten. Die unten liegenden linken Seitenscheiben wurden zum Schutz mit Holzplatten abgedeckt. Die rechten hinteren zwei Seitenscheiben wurden für die Gruppenversuche entfernt und durch Folie ersetzt. Dieser Austausch erfolgte aus drei Gründen:

- kostengünstige Wiederholungen wurden ermöglicht,
- die Ausstiege konnten fallweise mit Holzplatten versperrt werden,
- es bestand keine Verletzungsgefahr wie beim Zerstören von ESG-Notfenstern über Kopf.

Diese Vereinfachung erschien vertretbar, da keine besondere Kraft, Technik oder Wissen zum Gebrauch eines Nothammers erforderlich sind. Der Öffnungsvorgang eines Originalfensters wurde in Einzelversuch 1 näher betrachtet.

Aus Kapazitätsgründen wurde der Businnenraum vor der hinteren Betriebstür abgeteilt, für die Versuche stand der hintere Teil zur Verfügung. In diesem Segment befinden sich alle in Frage kommenden Ausstiegstypen wie Dachluke, Tür, Heck- und Seitenscheiben. Eine vergleichbare Anordnung befindet sich auch im vorderen Busbereich, so dass die Aussagekraft der Versuche durch die Reduzierung auf das hintere Segment nicht leidet.

Die Nothämmer waren vorhanden (jedes zweite Seitenfenster, Heckfenster). Die Stromversorgung für die Innen- und Notbeleuchtung war vorhanden, sie wurde fallweise abgeschaltet. Außerhalb des Busses wurde ein Gerüst angebracht, um nach dem Verlassen des Busses den Absprung aus 2,5 m Höhe zu verhindern.

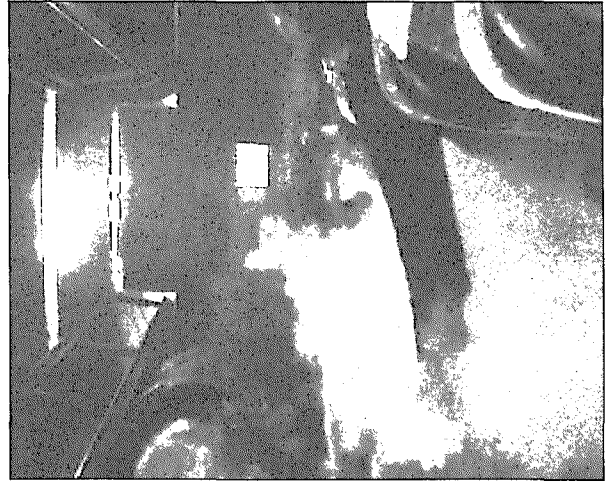


Bild 21: Vernebelung des Versuchsraumes

Untersucht wurde der Zeitraum vom Eintreten des Notfallereignisses bis zum Passieren der Ausstiegsöffnung. Mit den außerhalb des Busses divergierenden Laufrichtungen dürfte ein hinreichender Sicherheitsabstand ohne nennenswerten Zeitverlust erreichbar sein [6].

Eine vollständige Dunkelheit herzustellen war nicht möglich. Hierzu hätte die Halle, in der der Versuch stattfand, verdunkelt werden müssen. Filmaufnahmen wären dann nicht mehr möglich gewesen. Um trotzdem die Orientierung der Insassen im Bus zu erschweren, bestand die Möglichkeit, den Innenraum zu vernebeln. Ergänzend wurde auch ein Stroboskop eingesetzt.

Mittels des Hallenkranes wurde bei einigen Versuchsreihen der Bus in kurze ruckartige Drehbewegungen um die Längsachse versetzt (± 5 cm). Gleichzeitig wurden Geräuscheffekte durch einen Druckluftmeißel am Fahrzeugunterboden erzeugt. Diese - bewusst nicht einem Unfallgeschehen nachempfundenen - Effekte erzeugten in Verbindung mit versperrten Ausstiegen eine leichte Panik bzw. Stress als Anreiz zum schnellen Verlassen des Busses. Zu ihrem Schutz waren die Probanden in den Gruppenversuchen mit Schutzbrillen, in den Einzelversuchen fallweise mit Schutzanzügen ausgestattet.

Die in den einzelnen Durchgängen ermittelten Zeiten sind lediglich als Versuchswerte zu interpretieren und stellen nur den Mindestzeitbedarf dar. Es herrschten idealisierte Randbedingungen. Die Probanden waren hellwach, standen nicht unter Schock, waren unverletzt und voll beweglich. Ferner behinderten keine herausgerissene Innenausstattung oder strukturelle Deformationen des Bus-

ses die Evakuierung. Eine Übertragung auf reales Unfallgeschehen ist so nicht ohne weiteres möglich.

Probanden

19 Versuchspersonen (Männer und Frauen) im Alter von 22 bis 62 Jahren.

Die Versuchspersonen waren vor dem Test lediglich allgemein um ihre Mitwirkung in Versuchen mit einem Reisebus ersucht worden. Sie hatten weder Kenntnis von der Zielsetzung des Projektes noch von Einzelheiten der Notausstiege und ihrer Benutzung. Zur Ergänzung der Versuchsgruppe und zur Simulation schwer verletzter oder toter Insassen, kamen je nach Versuch bis zu vier Dummies (2 x Hybrid III 50 % Mann D1 und D2; 2 x Kinderdummy P3 und P6) zum Einsatz.

Im abgeteilten Versuchsraum standen 23 Sitzplätze zur Verfügung. Hier schwankte die Auslastung bei den Gruppenversuchen in den einzelnen Durchläufen zwischen 78 % und 100 %.

Auswertung

Grundlage war eine umfassende bildliche Dokumentation. Im Innenraum kamen zwei, im Außenbereich drei Videokameras und zwei Fotoapparate zum Einsatz. Ergänzt wurden diese Aufnahmen durch die Erfassung der einzelnen Zeiten zur Gesamtdauer der einzelnen Versuchsdurchläufe sowie zum Passieren der Notausstiege und durch Befragungen. Diese wurden nach jeder Versuchsreihe von den Probanden ausgefüllt.

In der Summe konnten aus den vorliegenden Materialien die Vorgänge des doch recht kurzen Evakuierungsvorganges erfasst und analysiert werden.

8.3 Versuchsablauf

Die Probanden betraten den auf der Seite liegenden Bus von oben durch die hintere Betriebstür (im Folgenden als „Tür“ bezeichnet). Die Tür war bereits als normaler Einstieg bekannt und die Insassen erhielten so keine Informationen über die restlichen zu Verfügung stehenden Notausstiege.

Maximal 6 Personen, das entspricht ca. 1/3 der Gruppe, wurden in der rechten (gleich oberen) Fahrzeughälfte in 2- und 3-Punktgurten an-

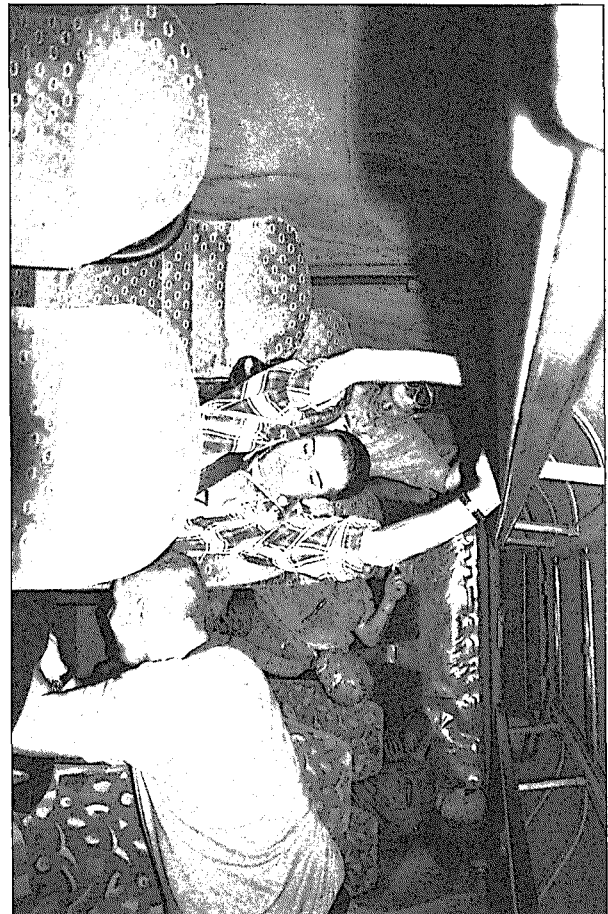


Bild 22: Versuchsvorbereitungen

gegurtet. Die Ausgangslage für die restlichen nicht angegurteten Insassen ergab sich unter anderem aus Simulationen der Insassenkinematik aus [2].

Nach dem Platzieren der Probanden im Bus erfolgten weitere Vorbereitungen wie beispielsweise das Verschließen einzelner Ausstiege. Parallel wurden der Busbesatzung von außen per Megafon Rechenaufgaben gestellt. Das Ziel war hier die kurzzeitige Ablenkung der Insassen, da diese sich sonst bereits innerlich auf den bevorstehenden Ausstieg vorbereiten konnten. Dieses Ziel war den Probanden nach der ersten Versuchsreihe bereits bekannt. Anschließend erfolgten per Lautsprecher die Bekanntgabe des Notfallereignisses und die Aufforderung zum sofortigen Verlassen des Busses. Die Probanden verließen daraufhin den Bus durch die jeweils zur Verfügung stehenden Ausstiege. Der Versuch endete, wenn der letzte Insasse den Notausstieg passiert hatte.

Kurzübersicht und Randbedingungen der durchgeführten Versuche

- Gruppenversuch 1: 18 Personen,
 - 2 50%-Dummies, 2 Kinderdummies (3 und 6 Jahre),
 - alle Ausstiege benutzbar, Bus vollständig abgedunkelt
- Gruppenversuch 2: 18 Personen,
 - 2 50%-Dummies, 1 Kinderdummy (3 Jahre),
 - kein Heckausstieg, Innenbeleuchtung,
 - Rauch, Licht- und Geräuscheffekte
- Gruppenversuch 3: 19 Personen,
 - 2 50%-Dummies, 2 Kinderdummies (3 und 6 Jahre),
 - alle Ausstiege anfangs blockiert (später freigegeben), Innenbeleuchtung,
 - Rauch, Licht- und Geräuscheffekte,
 - Anweisung: Den Bus so schnell wie möglich verlassen
- Gruppenversuch 4: 18 Personen,
 - 2 50%-Dummies, 2 Kinderdummies (3 und 6 Jahre),
 - nur Seitenscheiben als Ausstieg (Original-Scheiben auf Schutzfolie gelegt), Bus vollständig abgedunkelt
 - Nach der Eigenrettung wurde nun die Eignung der Notausstiege für Fremdrettung von außen untersucht.
- Gruppenversuch 5:
 - 17 Personen eingeschränkt bewegungsfähig,
 - 2 50%-Dummies, 2 Kinderdummies (3 und 6 Jahre),
 - Bergung durch Berufsfeuerwehr,
 - alle Ausstiege benutzbar, Innenbeleuchtung, Rauch

Anschließend folgten sieben Einzelversuche mit dem Ziel, die wichtigsten Vorgänge deutlich zu machen.

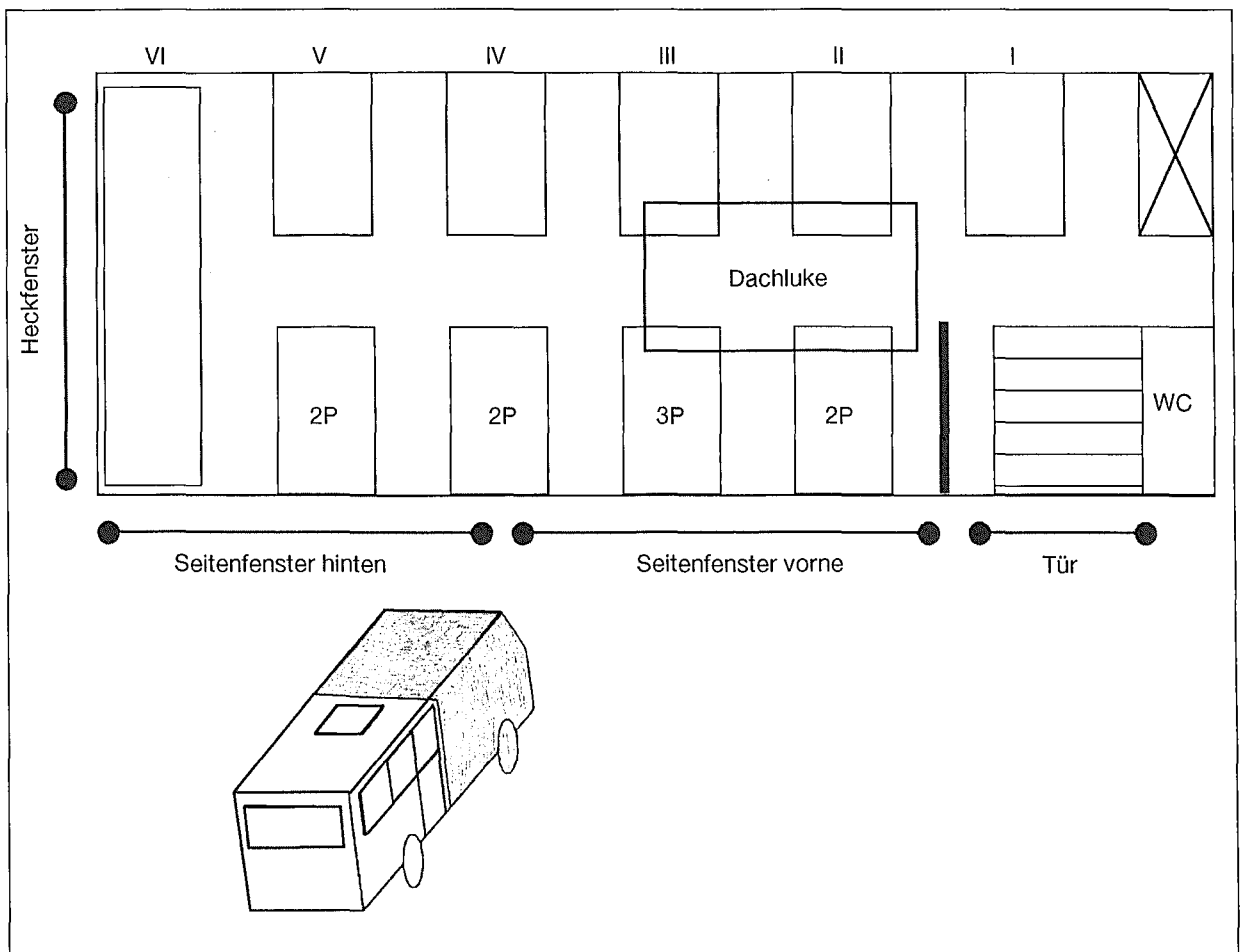


Bild 23: Skizze des Versuchsaufbaus (nur hinteres Bussegment) mit den möglichen Ausstiegen (2P = 2-Punktgurte; 3P = 3-Punktgurte)

- Einzelversuch 1: Drei Personen stehend
 - Zerstörung der Seitenscheibe über Kopf mit anschließendem Ausstieg
- Einzelversuch 2: Zwei Personen in 3-Punkt oben (rechte Fahrzeugseite)
 - Gurtöffnungsvorgang
- Einzelversuch 3: Eine Personen im Beckengurt im vorderen Busbereich
 - Gurtöffnungsvorgang, Ausstieg durch die Vordertür
- Einzelversuch 4: Eine Person stehend
 - Ausstieg durch die Seitenscheibe über die Dachseite
- Einzelversuch 5: Eine Person stehend
 - Türöffnungsvorgang mit Ausstieg durch die hintere Betriebstür
- Einzelversuch 6: Eine Person in der Toilette
 - Ausstieg durch die hintere Betriebstür
- Einzelversuch 7: Eine Person stehend
 - Ausstieg durch die Dachluke

Um die einzelnen Ausstiegsvorgänge noch transparenter zu machen und sie nochmals zu variieren und zu optimieren, wurden parallel Simulationen mit dem in CATIA (V5R7) integrierten Modul RAMSIS durchgeführt. RAMSIS kann die Bewegungsmöglichkeiten eines Menschen weit gehend nachbilden. Dabei können sowohl die Erreichbarkeit von Ausstiegshilfen als auch der Bewegungskomfort für Personen mit unterschiedlicher Größe und Gewicht überprüft werden. Eine Simulation von realen Ausstiegssituationen ist möglich und kann durch eine Verifizierung mit den realen Versuchen als sehr realitätsnah angesehen werden [37].

8.4 Versuchsergebnisse

8.4.1 Gruppenversuch 1

18 Personen,
2 50%-Dummies, 2 Kinderdummies (3 und 6 Jahre),
mögliche (○)/genutzte (●) Ausstiege:
Seitenfenster ○
Heckfenster ●
Dachluke ●
hintere Tür ○

Fenster durch schwarze Folie verschlossen

Bus vollständig abgedunkelt

Die 22 Personen (incl. der Dummies) benötigten für das Verlassen des Busses durch Heckfenster und Dachluke insgesamt 3 min. 10 Personen und die 2 Erwachsenen-Dummies passierten das Heckfenster in 2:50 min. 8 Personen und die beiden Kinderdummies verließen den Bus durch die Dachluke in 1:15 min.

Diese relativ hohe Zeit resultierte aus der nicht extra angeordneten Rettung der Dummies sowie aus dem Fehlen von Stressfaktoren. Die Dunkelheit herrschte im Bus nur bis zum Öffnen des ersten Ausstieges. 3 Probanden gaben von außen Hilfestellung beim Ausstieg: 1 an der Dachluke und 2 am Heckfenster. 1 Proband blieb bis zuletzt im Bus und koordiniert den Ausstieg.

Als Engpass stellten sich die zur Vergrößerung der Notausstiegsöffnung nach innen abklappbaren Lehnen der Hecksitzbank dar. Hierbei sind die drei mittleren Lehnen ohne Entriegelung und Kraftaufwand nach innen zu klappen. Die linke und rechte äußere Lehne sind nicht beweglich. Im Normalzustand versperren die Lehnen der Hecksitze ungefähr die Hälfte der Fensterfläche und können im Notfall nach innen abgeklappt werden. Durch die fehlende Kennzeichnung dieser Notausstiegshilfe und den gegen die Bewegungsrichtung der Lehne gerichteten Strom der Flüchtenden war dieses Abklappen der Lehne nicht möglich. Besonders bei der Rettung der Dummies ergab sich hierdurch eine erhebliche Zeitverzögerung

Bei diesem ersten Versuch war die Wahl der Ausstiege besonders wichtig. Bei den weiteren Versuchsreihen können Lerneffekte den Versuchsablauf beeinflussen.

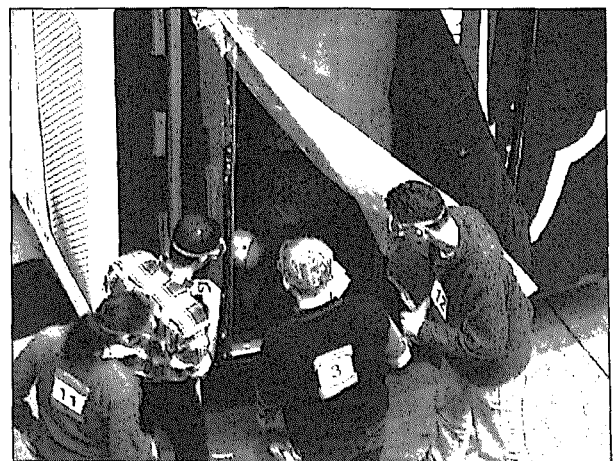


Bild 24: Evakuierung eines Dummies durch das Heckfenster

4 Personen wählten die Tür. Sie kommen aus den Sitzreihen I bis III, passierten also teilweise die Dachluke auf ihrem Weg zur Tür. Die Türöffnung scheiterte, da die Tür nicht angehoben werden konnte. Die 4 Probanden verließen den Bus anschließend durch die Dachluke.

10 Personen (+ 2 Dummies) verließen den Bus durch das Heckfenster, 3 davon kamen aus der unmittelbaren Umgebung der Dachluke (Reihe III - siehe Bild 23).

8 Personen (+ 2 Kinderdummies) verließen den Bus durch die Dachluke. Der Einzugsbereich der Dachluke erstreckt sich auf die direkte Umgebung.

1 Person (aus Reihe VI) erwog einen Ausstieg nach oben durch das hintere Seitenfenster. Der Ausstieg scheiterte, da die Person keinen Nothammer in Griffreichweite fand. Der Ausstieg erfolgte anschließend durch das Heckfenster.

1 Person aus Reihe II (Höhe der Dachluke) versuchte den Bus nach hinten durch das Heckfenster zu verlassen. Ein Dummy versperrte ihm den Weg, so

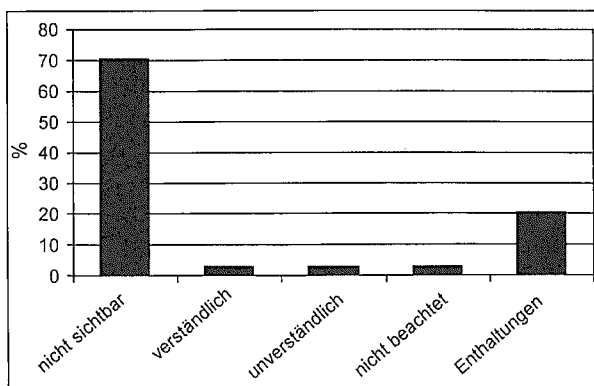


Bild 25: Wahrnehmung der Notausstiegsbeschilderung

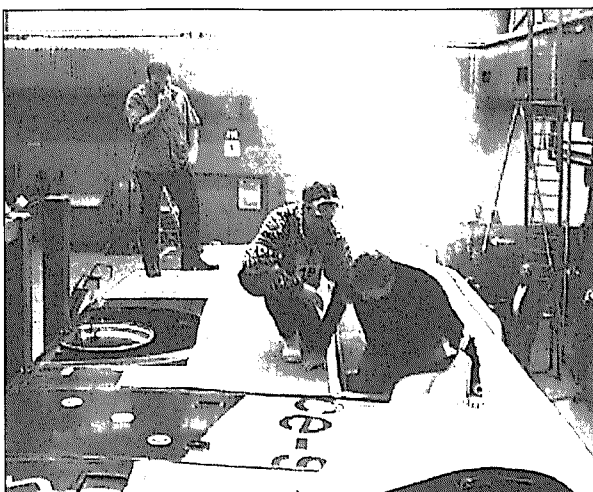


Bild 26: Ausstieg durch die Seitenfenster

dass er seine Richtung änderte und den Bus durch die Dachluke (= ursprünglicher Sitzplatz) verließ.

Die Trennlinie zwischen den Personenströmen nach hinten (Heckfenster) und vorne (Dachluke und Tür) lag etwa in Höhe der Reihe III.

Der Gurtöffnungsvorgang wird im Gruppenversuch 5 und Einzelversuch 2 genauer erläutert.

Ergebnisse

- Es zeigt sich eine große Hilfsbereitschaft bei
 - o Gurtöffnung,
 - o Ausstieg,
 - o Rettung der Dummies,

obwohl die Anweisung lautete, den Bus so schnell wie möglich zu verlassen. In der Realität ist nicht mit einer so hohen Hilfsbereitschaft zu rechnen.

- Als Engpass des Hecknotfensters stellten sich die Lehnen der Hecksitzbank dar. Das Heckfenster als sichtbarer Ausstieg im, in Seitenlage, „Türformat“ zieht die meisten Insassen an. Die Dachluke wurde nur von Personen der unmittelbaren Umgebung genutzt.
- Die Kennzeichnung der Notausstiege wird von 72 % nicht wahrgenommen oder ist, wie im Falle der klappbaren Lehnen vor dem Heckfenster, einfach nicht vorhanden. Diese Zahlen finden sich nahezu unverändert in den folgenden Gruppenversuchen wieder. Bild 25 steht daher stellvertretend für alle weiteren Versuche.
- Der Kraftbedarf zum Öffnen der Tür in Seitenlage ist zu hoch.
- Die Kapazitäten der einzelnen Ausstiege sind im Abschnitt „Evakuierungsdauer“ zusammengefasst.

8.4.2 Gruppenversuch 2

18 Personen,
2 50%-Dummies, 1 Kinderdummy (3 Jahre),
mögliche (○)/genutzte (●) Ausstiege:

Seitenfenster ●

Heckfenster

Dachluke ●

hintere Tür ○

Fenster durch schwarze Folie verschlossen

Heckfenster anfangs blockiert, Innenbeleuchtung,

Rauch, Licht- und Geräuscheffekte

Den 21 Probanden gelang die Flucht aus dem Bus in 2:20 min. 8 Personen und 1 Dummy (D1) verließen den Bus durch das hintere Seitenfenster in 0:55 min. 4 Personen passierten das vordere Seitenfenster in ebenfalls 0:55 min. 6 Personen und 2 Dummies (D2, P3) wählten die Dachluke als Ausstieg und benötigten dafür 0:50 min. Trotz Stressfaktoren ist Hilfsbereitschaft der Businsassen hoch:

1 Proband bleibt bis zuletzt im Bus zur Rettung eines Dummies (D2). 2 weitere steigen nach dem Ausstieg durch die Seitenfenster von oben zurück in den Bus und evakuieren 1 Dummy (D2) unter großem Aufwand (3 Personen innen - 3 Personen außen) durch die Dachluke.

Die Zeit für die Evakuierung von 17 Insassen ohne die Bergung der Dummies lag bei 1:10 min. Die Probanden, die durch die beiden Seitenfenster den Bus verließen, blieben trotz Abstiegsmöglichkeiten auf dem Bus und halfen den nachfolgenden Insassen beim Ausstieg. Die Sitze eigneten sich gut zum Klettern nach oben. Sie bieten ausreichend Greif- und Trittmöglichkeiten (Griff an der Rückenlehne, Armlehnen). Als weitere Greifmöglichkeit wurde die Fensterholme (nach der Fensteröffnung) zwischen vorderen und hinterem Seitenfenster verwendet.

2 Personen aus der Umgebung der Tür wählten diesen Notausstieg. Die Öffnung scheiterte unter anderem, weil bereits aus dem Seitenfenster ausgestiegene Personen außen auf der Tür standen. Der Ausstieg der beiden erfolgte anschließend durch die Dachluke.

6 Personen aus den Reihen I bis IV wählten die Dachluke als Ausstieg.

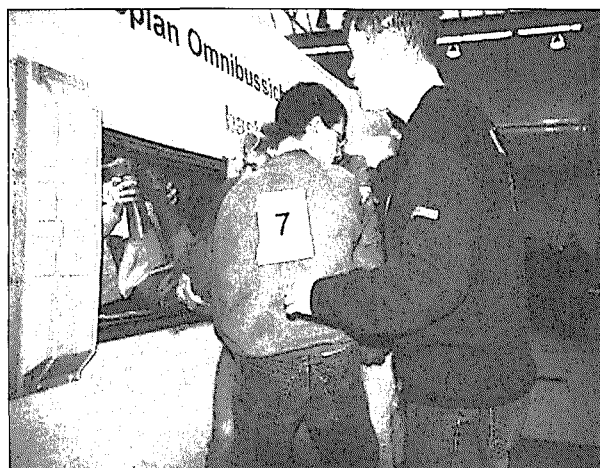


Bild 27: Evakuierung eines Dummies durch die Dachluke

2 Personen scheiterten bei der Öffnung des blockierten Heckfensters und verließen den Bus durch das hintere Seitenfenster.

Blockierte oder nicht zur Verfügung stehende Notausstiege sprachen sich schneller herum als im ersten Gruppenversuch. In Folge kam es zu weniger Richtungsänderungen und somit zu kürzeren Fluchtwegen.

12 Personen stiegen durch die Seitenfenster aus: hinten 8, vorne 4 (aus dem Bereich der Dachluke). Der Einzugsbereich der beiden Seitenfenster erstreckte sich auf die unterhalb liegenden Sitzbänke. Der in diesem Fall sehr kurze Fluchtweg führte senkrecht nach oben.

Trennlinien in den Personenströmen waren durch die vielen genutzten Ausstiege und die deshalb kurzen Fluchtwege nicht erkennbar. Richtungsänderungen der Insassen auf ihrem Fluchtweg erfolgten aus zwei Gründen:

- a) wenn ein Ausstieg blockiert war (s. o.),
- b) zur Rückkehr in den Bus zur Rettung Verletzter (Dummies).

Ergebnisse

- Es zeigte sich trotz des Rauches und anderer Stressfaktoren eine große gegenseitige Hilfsbereitschaft.
- Die Rettung einer bewegungsunfähigen Person durch die Dachluke erweist sich wegen der zu geringen Größe dieses Ausstieges als extrem personal- und zeitaufwändig.
- Die Sitze eigneten sich gut als Kletterhilfe für den Ausstieg nach oben durch die Seitenscheiben. Die Haltegriffe an der Lehnenrückseite waren stabil genug, die Armlehnen halten der seitlichen Belastung beim Aufstieg ohne Beschädigung stand.
- Die Ausstiege Tür, Heckfenster und Dachluke wurden zuerst gewählt. Da sie versperrt waren, wichen die Probanden nach oben durch die Seitenfenster aus. Dies ist der kürzeste Fluchtweg aus dem Bus, da die Insassen sich nur senkrecht nach oben bewegen müssen. Auf dem Bus stehend ergibt sich aber die Problematik des Abstieges aus 2,5 m Höhe.

- Der Kraftbedarf zum Öffnen der Tür in Seitenlage erwies sich auch in diesem Versuch als zu hoch.
- Die Kapazitäten der einzelnen Ausstiege sind im Abschnitt „Evakuierungsdauer“ zusammengefasst.

8.4.3 Gruppenversuch 3

19 Personen,
 2 50-%-Dummies, 2 Kinderdummies (3 und 6 Jahre),
 mögliche (○)/genutzte (●) Ausstiege:
 Seitenfenster ○
 Heckfenster ●
 Dachluke ●
 hintere Tür ●

Fenster durch (schwarze) Folie verschlossen
 alle Ausstiege anfangs blockiert, Innenbeleuchtung
 Rauch, Licht- und Geräuscheffekte

Im dritten Gruppenversuch lautete die Anweisung, das Fahrzeug so schnell wie möglich zu verlassen und den Mitreisenden nicht zu helfen. Obwohl anfangs alle Ausstiege blockiert waren, konnte der Bus in 1:10 min evakuiert werden.

5 Personen (+ D1) passierten das Heckfenster in 0:23 min.

7 Personen (+ P3) verließen den Bus durch die Dachluke in 0:30 min und 7 Personen wählten die Tür als Fluchtweg und benötigten nach der Öffnung 0:38 min.

2 Dummies (D2, P6) wurden nicht gerettet.

Zum ersten Mal erfolgte eine Türöffnung. Hierbei drückten 2 Probanden gleichzeitig nach oben gegen die zuvor entriegelte Tür.

Durch die anfangs blockierten Ausstiege kam es zu häufigen Richtungswechseln der Probanden im Bus. Zum ersten Mal wurde „Gedränge“ und „Gegenverkehr“ als Hindernis, den gewählten Ausstieg zu erreichen, angegeben. Dies betraf 2 Personen die versuchten, die Tür zu erreichen, sowie 3 Personen mit Ziel Dachluke. Weitere Richtungsänderungen erfolgten aufgrund blockierter Ausstiege: 3 x am Heckfenster und 1 x am vorderen Seitenfenster.

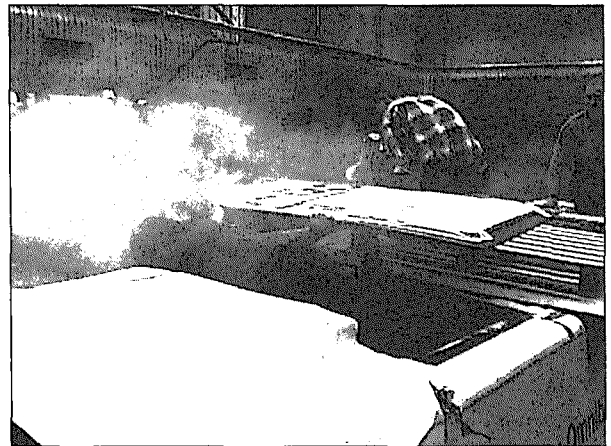


Bild 28: Erfolgreiche Türnotöffnung



Bild 29: Typische Körperhaltung bei der Dachlukenbenutzung

1 Proband hatte die Tür als Ausstiegsziel, änderte aber seine Richtung durch die sich zwischenzeitlich öffnende Dachluke.

Mit den häufigen Richtungswechseln stieg die durchschnittliche Fluchtweglänge.

3 Personen aus den Reihen IV und V bewegten sich zuerst nach hinten in Richtung Heckfenster. Als sich dieser Ausstieg als blockiert herausstellte, drehten sie um, bewegten sich wieder nach vorne, an ihrem ursprünglichen Sitzplatz vorbei und verließen den Bus durch die Tür (1 x) und die Dachluke (2 x). Trotz dieser zeitlichen Verzögerung gelang die gesamte Evakuierung in sehr kurzer Zeit.

Ergebnisse

- Die Anordnung, sich gegenseitig nicht mehr so viel zu helfen, führt zu einem Zeitgewinn. Allerdings verblieben als Folge 2 Dummies im Bus.

fernt und der Ausstieg durch das vordere Seitenfenster somit freigegeben.

Die durchschnittlich im Bus zurückgelegten Fluchtwege waren durch die häufigen Richtungswechsel durch die wenigen und erst mit Verzögerung zur Verfügung stehenden Ausstiege relativ lang. Dadurch erklärt sich die hohe Gesamtzeit von 2:25 min für die Evakuierung.

Ergebnisse

- Die viel diskutierte Hemmschwelle beim Umgang mit Glas bzw. vor dem Einschlagen einer Glasscheibe zeigt sich hier sehr deutlich. Bei der Erkenntnis, dass anders als in den vorherigen Versuchen echtes Glas verwendet wurde, breitete sich eine leichte Panik aus.
- In den Filmaufnahmen des Innenraums sieht man, wie der Nothahn mehrfach betätigt wurde. Das Hin- und Herdrehen des Nothahnes resultiert aus einer fehlenden Bestätigung, es erfolgt keine sichtbare Reaktion an der Tür oder am Nothahn selbst. Da der Türentriegelungsvorgang relativ langsam erfolgt, empfiehlt sich eine Entriegelungsquittierung, optisch und/oder akustisch am Nothahn, da dies aus der Stellung des Drehknopfes nicht hervorgeht.
- Die im Versuchsbus verwendete Schiebedachluke kann bei Verwindungen des Aufbaus schnell verklemmen. Der innen angebrachte Griff eignet sich nicht zur Einleitung größerer Kräfte wie dem Ziehen mit zwei Händen oder durch mehrere Personen.
- Gurtöffnung: Der Gurtöffnungsvorgang wird im Gruppenversuch 5 und Einzelversuch 2 genauer erläutert.

8.4.5 Gruppenversuch 5

17 Personen,
 2 50%-Dummies, 2 Kinderdummies (3 und 6 Jahre),
 mögliche (○)/genutzte (●) Ausstiege:
 Seitenfenster ○
 Heckfenster ●
 Dachluke ○
 hintere Tür ●

Fenster durch (schwarze) Folie verschlossen
 Bergung durch Berufsfeuerwehr
 alle Ausstiege benutzbar, Innenbeleuchtung,
 Rauch

Im Gegensatz zu den vorherigen Versuchen, bei denen das Augenmerk auf der Eigenrettung lag, wurde nun die Fremdrettung durch die Feuerwehr untersucht.

Die Probanden erhielten die Anweisung, sich nicht selbst zu retten, wenig Mithilfe zu leisten und nur eingeschränkt bewegungsfähig zu sein. Dies entspricht in etwa einer Senioren-Personengruppe. Dieser Personenkreis ist größtenteils nicht mehr in der Lage, aus eigener Kraft in der Seiten- oder Dachlage den Gurt zu öffnen oder den Bus nach oben durch die Seitenfenster zu verlassen. Auch die Akrobatik eines Ausstieges durch die Dachluke dürfte für die meisten, auch unverletzten, älteren Fahrgäste nicht in Frage kommen.

In diesem Fall muss das Notausstiegssystem eine Rettung der Insassen durch Rettungskräfte von außen (Feuerwehr, THW) erlauben. Das Eindringen in den Bus sowie die Bergung der Insassen sollten - wenn möglich - ohne den Einsatz von schwerem Gerät erfolgen. Das Eindringen durch vorhandene Öffnungen spart Zeit und ermöglicht es auch Ersthelfern, vor Eintreffen der Rettungskräfte tätig zu werden. Des Weiteren entstehen beim Einsatz von Trennschleifer, hydraulischer Rettungsschere und Spreizer laute Geräusche und unter Umständen Funkenflug. Dadurch werden die, sowieso schon unter Schock stehenden, Insassen weiter psychisch beansprucht und die Brandgefahr erhöht.

Eingesetztes Personal und Material der Berufsfeuerwehr Trier:

- 10 Feuerwehrleute,
- teilweise unter schwerem Atemschutz,
- Sprechfunk (2 m),
- Hallenkran und Sitzgurt,
- Krankentrage,
- Rauchgebläse,
- Löschmittel (bereitgestellt),
- Gurtschneider,
- Handlampen.

Die Ausgangslage war vergleichbar mit den vorhergegangenen Versuchen:

- Reisebus nach einem Unfall in Seitenlage,
- intakte Scheiben; Notausstiege noch verschlossen,

- Insassen nicht mehr zur Eigenrettung fähig, teilweise angegurtet.
- Brand im vorderen Bereich des Busses.

Die Feuerwehr hatte bei der Organisation des Rettungsablaufes freie Hand. Lediglich der Einsatz von schwerem Gerät, wodurch der Bus beschädigt worden wäre, sowie Löschwasser wurden untersagt. Die eingesetzten Feuerwehrleute wussten im Vorfeld von der Übung.

Ablauf

Im Rahmen einer ersten Erkundung wurde die Dachluke geöffnet und zu einer ersten Kontaktaufnahme mit den Insassen genutzt. Anschließend wurde das Heckfenster geöffnet und die Lehnen der Hecksitze abgeklappt. Ein Eindringen in den Bus war durch das Heck anfangs nicht möglich, da Insassen den Weg versperrten. Die Feuerwehr begann mit der Bergung. Parallel dazu betraten 2 Feuerwehrleute die oben liegende rechte Seite und 2 Feuerwehrleute drangen durch die Dachluke in den Bus vor. Die 4 Rettungskräfte versuchten von beiden Seiten die Tür zu öffnen. Die Tür wurde schließlich von innen notentriegelt und geöffnet. Die Zeit vom ersten Kontakt mit der Tür bis zur vollständigen Öffnung betrug 1:30. Dieser Zeitbedarf ist eindeutig zu hoch.

Mittels eines Rauchgebläses wurde der zuvor vollständig vernebelte Innenraum in kurzer Zeit rauchfrei.

3 Personen verließen unter Hilfestellung durch Feuerwehr den Bus durch die Tür, 14 Personen durch das Heckfenster.

Zuerst wurden die unten liegenden Personen der linken Bushälfte evakuiert, anschließend die angegurteten im rechten (oberen) Bereich, jeweils von

hinten nach vorne. Im realen Einsatz würde ein Notarzt aufgrund der Verletzungsschwere die Reihenfolge der Bergung bestimmen, wodurch sich ein deutlich höherer Zeitbedarf ergäbe.

Im Businnenraum herrschten sehr beengte Platzverhältnisse, besonders die Pressluftflaschen auf dem Rücken der Feuerwehrleute schränkten die Bewegungsfreiheit ein (siehe Bild 35). Im Gangbe-



Bild 33: Türöffnung von innen I



Bild 34: Türöffnung von innen II



Bild 32: Personenbergung am Heckfenster



Bild 35: Beengte Platzverhältnisse im Innenraum

reich konnten maximal 4 Feuerwehrleute gleichzeitig zum Einsatz kommen.

Der Personalbedarf zur Gurtöffnung betrug 2 bis 3 Feuerwehrleute. 1 bis 2 Helfer (je nach Gewicht der zu bergenden Person) stützten und hoben die Person an, so dass entweder durch einen weiteren Helfer das Gurtschloss erreicht oder ein Gurtschneider angesetzt werden konnte.

Ein Problembereich ergab sich in diesem Zusammenhang: Durch das Eigengewicht der angegurten Person schneidet der Gurt tief ein und kann unter Umständen auch mit einem Gurtschneider schlecht erreicht werden. Dies erfordert, wie oben beschrieben, ein Anheben der Person.

Die Bergung der Dummies (= Schwerverletzte) erfolgte durch die Heckscheibe (D2, P3) im Rahmen der Bergung der übrigen Personen. Kinderdummy (P6, Lage im WC) wurde als Einziger durch die Dachluke evakuiert. Dummy D1 wird als letzter mittels eines Sitzgurtes und einem Kran senkrecht

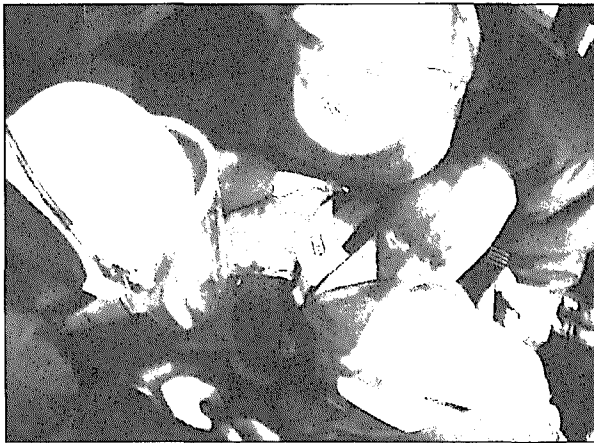


Bild 36: Bergung mit Sitzgurt I

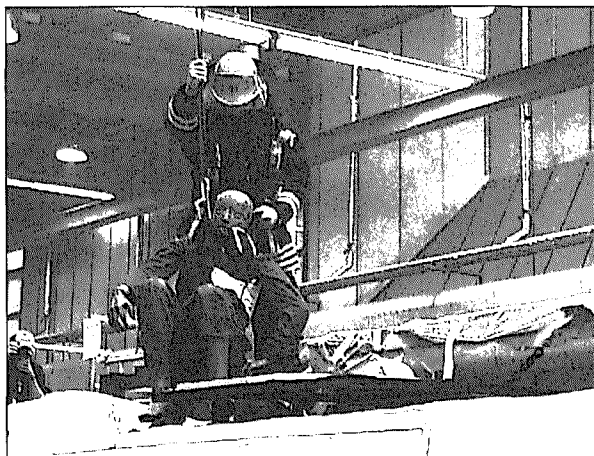


Bild 37: Bergung mit Sitzgurt II

nach oben durch die Tür geborgen. Der Personalbedarf hierfür betrug:

- 3 - 4 Feuerwehrleute innen,
- 2 Feuerwehrleute auf der rechten Busseite,
- 3 Feuerwehrleute zum Abtransport außerhalb des Busses.

Die Zeit für die gesamte Evakuierung betrug 16 min.

Nach 11 min hatten, bis auf einen Dummy, alle Insassen den Bus verlassen. Die Bergung des letzten Schwerverletzten (D1) nahm 5 min in Anspruch. Die Übung endete jeweils, wenn die Probanden den Notausstieg durchschritten hatten. Eine Erstversorgung der Insassen und eine Verletztenablage entfielen dadurch.

Von einer Bergung schwer verletzter Insassen nach oben durch die Seitenscheiben sah die Feuerwehr aus zwei Gründen ab:

- a) Sofern, wie in unserem Versuch, die Scheiben noch intakt wären, würde eine nachträgliche Zerstörung eine nicht unerhebliche Verletzungsgefahr für die Insassen darstellen (vergleiche Einzelversuch 1). Diese können nur unzureichend alle durch eine Decke o. Ä. vor den herabfallenden Glassplittern geschützt werden. Die ansonsten übliche Praxis, eine Klebefolie vor der Zerstörung auf die Scheibe zu kleben, um die Glasbruchstücke zusammenzuhalten, versagt bei den in Reisebussen verwendeten doppelt ausgeführten Isolierglasscheiben.
- b) Der freie Raum zwischen Lehnenoberkante und Gepäckablagenunterseite, in unserem Fall 51 cm, ist zu schmal für die Standard-Krankentrage. Diese Krankentrage würde von der Feuerwehr senkrecht von oben durch das Seitenfenster abgelassen werden. Hier müsste die Öffnung ggf. vergrößert werden oder die Sitzlehnen einzeln abgeklappt oder entfernt werden, damit die volle Notausstiegsfläche (Mindestmaße 0,4 m², in unserem Bus 1,4 m²) zur Verfügung steht. Hier ergibt sich eine ähnliche Problematik wie beim Heckfenster und den dort verwendeten Sitzen.

Ergebnisse

- Die Feuerwehr nutzte die Dachluke fast ausschließlich als Einstieg. Lediglich ein Kinderdummy wurde durch die Luke nach außen ge-

reicht. Hauptein- und ausstieg war das Heckfenster. Die Seitenfenster wurden aus Verletzungsgründen nicht nachträglich durch die Feuerwehr zerstört.

- Im Businnenraum herrschten durch die zusätzlichen Helfer sehr beengte Platzverhältnisse.
- Die Reihenfolge der Evakuierung geht im Ernstfall nicht der Reihe nach, sondern wird durch die Verletzungsschwere der einzelnen Insassen bestimmt. Wenn die Insassen angegurtert sind und durch Verletzungen oder Alter nicht mehr zu einer Eigenrettung fähig sind, ist der Zeitbedarf zu einer vollständigen Evakuierung sehr hoch.
- Der von der Feuerwehr eingesetzte Lüfter stellte sich als sehr effektiv heraus. In kurzer Zeit war der Bus rauchfrei und die Rettungskräfte hatten freie Sicht.
- Egal ob die Gurtöffnung am Gurtschloss oder mittels eines Gurtschneiders erfolgt, benötigt man bei oben (rechts) sitzenden Insassen 2 bis 3 Helfer für den gesamten Gurtöffnungsvorgang.

8.4.6 Einzelversuch 1

Drei Personen stehend -

Zerstörung einer Isolierglasscheibe über Kopf mit anschließendem Ausstieg

Ausgangslage

3 Personen mit Schutzkleidung standen unter dem hinteren rechten Seitenfenster. Mittels eines Nothammers wurde die Scheibe über Kopf zerstört.



Bild 38: Wirkung des ersten Schlages auf das rechte Seitenfenster

Für das doppelt ausgeführte Isolierglas wurden zwei Schläge benötigt. Der erste Schlag zerstörte die innere Scheibe, die Bruchstücke blieben allerdings noch in Scheibenform zusammen. Der zweite Schlag zerstörte die äußere Scheibe. In Folge fielen in weniger als einer Sekunde die Bruchstücke beider Scheiben auf die Insassen herab. Diese herabfallenden rund 50 kg Glas können zum einen zu einem Schock der Insassen führen. Nicht immer wird die einschlagende Person alle umstehenden über ihr Tun informieren, so dass es viele der umstehenden Personen unvorbereitet treffen dürfte. Zum anderen ergaben sich in unserem Versuch Schnittverletzungen alleine durch die herabfallenden Glassplitter, die doch relativ groß und scharfkantig ausfielen. Dazu dürften im realen Unfallgeschehen noch die Schnittverletzungen kommen, die während des Ausstieges beim Griff in den scharfkantigen Glasrand entstehen, der an der Klebenaht verbleibt.



Bild 39: Wirkung des zweiten Schlages auf das rechte Seitenfenster (Innenaufnahme)

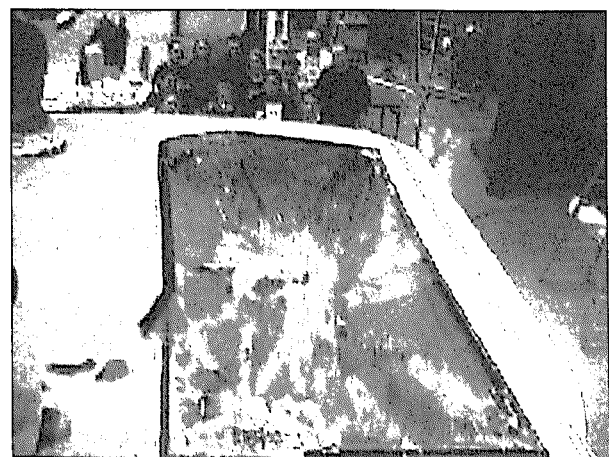


Bild 40: Wirkung des zweiten Schlages auf das rechte Seitenfenster (Außenaufnahme)



Bild 41: Ausstiegsvorgang

Die Feuerwehr klebt bei Pkw vor der Zerstörung des Fensters Folien von außen auf die Scheiben, um ein Hereinfallen der Splitter in den Innenraum zu verhindern. Alternativ wird auch Sprühkleber verwendet [32]. Bei der in Bussen üblichen Doppelverglasung funktioniert dies jedoch nicht, da nur die äußere Scheibe von der Klebefolie zusammengehalten wird.

8.4.7 Einzelversuch 2

Zwei Personen in 3-Punktgurt oben mit Gurtöffnungsvorgang.

Die Ausgangslage: Zwei Probanden saßen auf der rechten oberen Seite nebeneinander im Doppelsitz und waren jeweils durch 3-Punktgurte gesichert.

Reihenfolge der einzelnen Schritte zur Gurtöffnung:

- Aufrichten des nach unten hängenden Oberkörpers.
- „Verkeilen“ des Körpers zwischen Sitz und Vordersitz, damit der Körper auch ohne Gurt gehalten wird. Dies wird mit aus Komfortgründen zunehmendem Sitzteiler immer schwieriger.

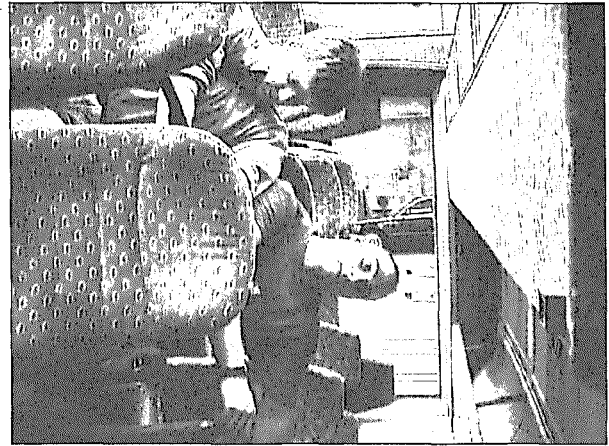


Bild 42: Ausgangsposition



Bild 43: Abstützen und Griff nach dem Gurtschloss

- Suchen einer Griffmöglichkeit für die nicht auf der Gurtschlossseite befindliche Hand.
- Legen der anderen Hand an das Gurtschloss.
- Hochstemmen des Körpers = Entlasten des Gurtes.
- Öffnen des Gurtschlusses.
- Abstieg mit dem Unterkörper zuerst.

Das Gurtschloss war bei starker Belastung mit schrägem Zug teilweise nicht zu öffnen. Eine Verbesserung durch die Verwendung eines Gurtschneiders ergibt sich nur bedingt, da der Gurt durch das Eigengewicht stark in die Kleidung und den Körper des Fahrgastes einschneidet und nur schlecht zugänglich ist. Es ist nach Aussage von Fachleuten vorstellbar, dass Sicherheitsgurte, die nicht oder schwer vom Insassen zu öffnen sind, dazu beitragen, die Panik bzw. das Chaos zu vermindern. Die Evakuierung wird zeitlich „gestreckt“. Die Feuerwehr lässt ebenfalls die Leichtverletzten zunächst im Gurt hängen, um sich besser den Schwerverletzten widmen zu können.

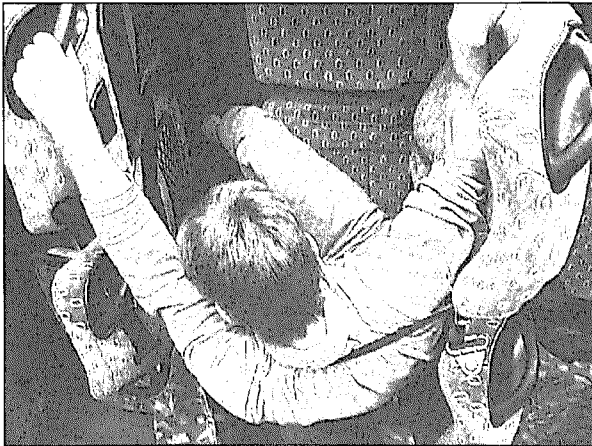


Bild 44: Abstieg



Bild 45: günstige Handgriffanordnung

Zum Halten des eigenen Körpergewichtes sind ausreichende Kräfte erforderlich. Diese sind bei verletzten, älteren oder stark übergewichtigen Personen oftmals nicht vorhanden. Wird der Gurt trotzdem geöffnet oder durchtrennt, besteht eine unkontrollierte Absturzgefahr für die Person selbst und somit die Verletzungsgefahr für die anderen Insassen unterhalb im Bus. In den Gruppenversuchen wurde immer wieder beobachtet, dass sich die Probanden Hilfestellung beim Abstützen und bei der Gurtöffnung gaben.

Eine große Bedeutung kommt den Griffen an der Lehnenrückseite zu. An ihnen zieht sich der Fahrgast hoch und an ihnen hängt zeitweise sein gesamtes Körpergewicht. Die Griffe älterer Bauart, die mit wenigen Schrauben im Holz der Rückwand befestigt sind, versagen hier. Sehr gut in Bezug auf die Festigkeit sowie die Ergonomie waren die verwendeten schräg angebrachten Haltegriffe. Durch diese Schräge sind sie in allen Lagen gut zu greifen.

8.4.8 Einzelversuch 3

Eine Person im Beckengurt im vorderen Busbereich

Gurtöffnungsvorgang, Ausstieg durch die Vordertür



Bild 46: Stand beim Türöffnungsvorgang auf Lenkrad und Fahrersitz



Bild 47: Türöffnung vorne

Der Gurtöffnungsvorgang erfolgt im Allgemeinen wie in Einzelversuch 2.

Anschließend betätigte der Proband mehrfach den Nothahn der vorderen Betriebstür, da er eine Reaktion bei der Betätigung erwartete. Als diese ausblieb, wendete er sich der Tür zu. Im Gegensatz zur hinteren Tür fehlten hier geeignete Abstützmöglichkeiten zur Türöffnung. Der Proband musste sich mit einem Fuß auf das Lenkrad, mit dem anderen auf den luftgefederten Fahrersitz stellen und hatte so keinen sicheren Stand. Trotzdem gelang nach einigen Versuchen die Türöffnung. Nach vollständigem Öffnen der Tür stand im weiteren Verlauf des Ausstieges die Treppe zur Verfügung.

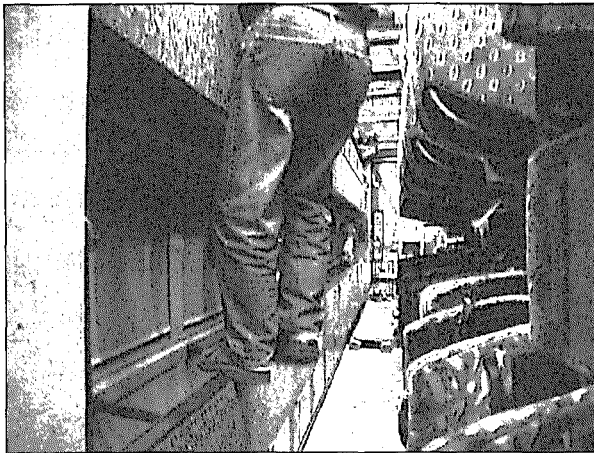


Bild 48: Ausstieg durch die Seitenscheibe mit anschließendem Verlassen zur Dachseite hin, Pos. I



Bild 49: Ausstieg durch die Seitenscheibe mit anschließendem Verlassen zur Dachseite hin, Pos. II



Bild 50: Ausstieg durch die Seitenscheibe mit anschließendem Verlassen zur Dachseite hin, Pos. III

8.4.9 Einzelversuch 4

Eine Person stehend

Ausstieg durch die Seitenscheibe über die Dachseite

Beim Ausstieg in Seitenlage nach oben durch die Seitenfenster gibt es zwei grundlegende Varianten:

a) Der Ausstieg nach oben zur Dachseite des Busses hin, d. h., die Gepäckablagen dienen als Kletterhilfe. Oben auf dem Bus zwischen Fensteroberkante und Dach gibt es kaum Standmöglichkeiten, d. h. es besteht Absturzgefahr aus 2,5 m Höhe. Sie wurde in den Gruppenversuchen jedoch von den Versuchspersonen nicht gewählt. Die Probanden stiegen ausschließlich über die Bodenseite aus.

b) Der Ausstieg nach oben zur Bodenseite des Busses hin, d. h. Aufstieg an den Sitzen, Stand nach dem Passieren der Fensteröffnung oben auf dem Bus unterhalb der Seitenfenster.

Als Greif- und Kletterhilfe verwendete die Versuchsperson die offenen Gepäckablagen, die Sitze, den Fensterrahmen (Scheibe ausgebaut) sowie den Fensterholm zwischen vorderem und hinterem Seitenfenster. Ein Problem ist die unzureichende Standmöglichkeit oben auf dem Bus nach dem Ausstieg. Diese ist vor allem von innen nicht ersichtlich, so dass dort aussteigende Fahrgäste durch nachdrängende weitere Insassen kopfüber vom Bus stürzen können. Ergänzend wurde nun Variante b), der Ausstieg über die Bodenseite, simuliert [37]. Zu erkennen ist die Rolle der Armlehnen, die als Aufstiegshilfe dienen, sie müssen für diese Belastung ausgelegt sein. Beide Varianten erfordern allerdings ein hohes Maß körperlicher Fitness, wodurch sich der für diese Ausstiegsart in Frage kommende Personenkreis stark einschränkt.

8.4.10 Einzelversuch 5

Eine Person unterhalb der hinteren Tür stehend
- Ausstieg durch die Tür

Der Ausstieg erfolgte in folgenden Schritten:

- Nothahnbetätigung
- Stand auf den Sitzen der unteren (linken) Sitzreihe. Diese Standmöglichkeit ist ein Problem, da diese Sitze bei auch für Überlandlinienver-

Computersimulation des Ausstieges mit dem CATIA-Modul RAMSIS

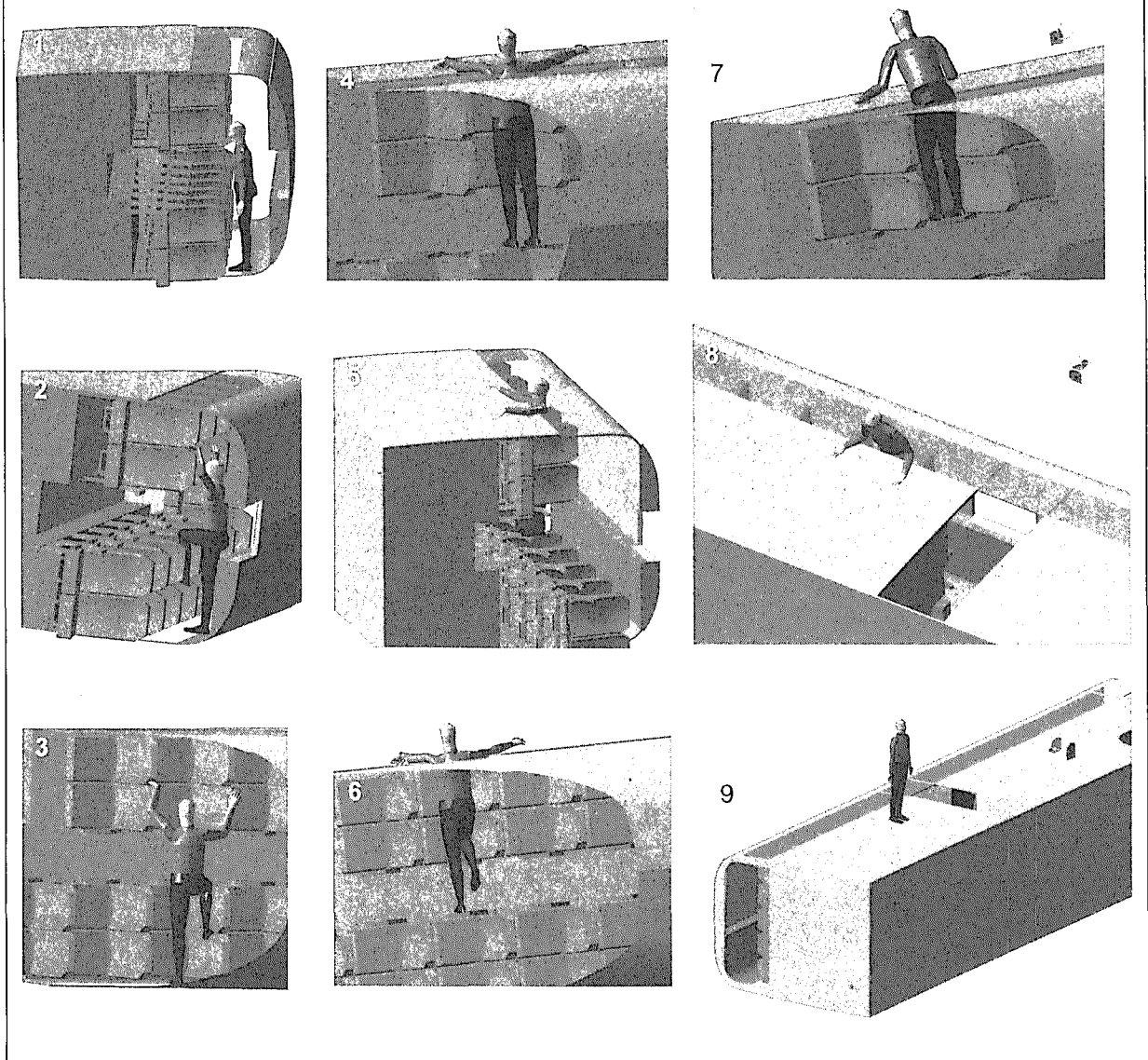


Bild 51: Simulation des Ausstieges durch die Seitenscheibe mit anschließendem Verlassen zur Bodenseite hin [37]

- kehr genutzten Reisebussen oftmals entfallen, um Platz für Kinderwagen und Fahrräder zu schaffen.
- 1. Öffnungsversuch (Bild 52)
 - Rechte Hand am Handlauf, dieser ist wie die Treppe auch nach 90°-Drehung noch verwendbar.
 - Linke Hand an der Tür im oberen Bereich in Höhe der Scheibe.
 - Ohne Erfolg, die Tür verkatet bei dem Öffnungsversuch.
 - 2. Versuch (Bild 53)
 - Beide Hände an der senkrechten Drehsäule an der Tür.
 - In diesem Fall war die Türöffnung erfolgreich.
- Der Pfeil in Bild 53 zeigt die sich aus der Lage der Drehachsen ergebende erforderliche Krafrichtung. Im ersten Versuch drückten die Probanden meist senkrecht nach oben. Um ein Verkanten der Tür zu verhindern, muss der Kraftangriff in Höhe des Türschwerpunktes erfolgen. Dieser liegt durch die oben liegende Verglasung nicht in der Mitte, sondern eher im unteren Bereich der Tür.



Bild 52: Türöffnungsversuch I

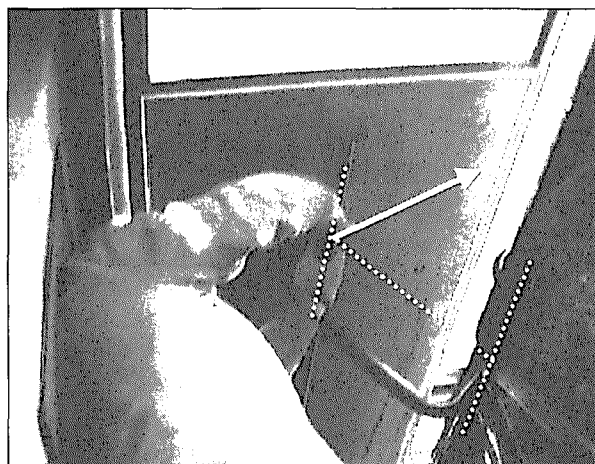


Bild 53: Türöffnungsversuch II



Bild 54: Treppenbenutzung in Seitenlage

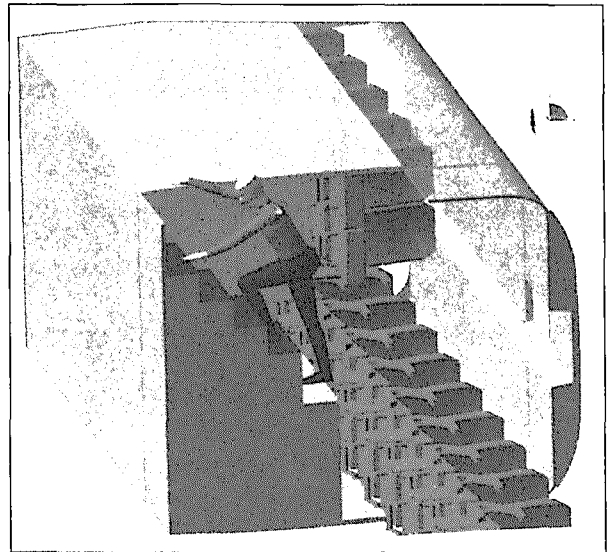


Bild 55: Treppenbenutzung in Seitenlage in der Simulation [37]

8.4.11 Einzelversuch 6

Eine Person in der Toilette -
Ausstieg durch die hintere Betriebstür (Bild 56)

Sofern die nach außen öffnende WC-Tür nicht durch Innenausstattung oder Gepäck versperrt ist, stellt der Ausstieg kein Problem dar. Eine Verwechslungsgefahr der WC-Tür mit einem Notausstieg wurde in unseren Versuchen nicht festgestellt. Nach Verlassen erfolgt die Türöffnung und der weitere Ausstieg analog zu Einzelversuch 5.

8.4.12 Einzelversuch 7

Eine Person stehend - Ausstieg durch die Dachluke (Bilder 57 bis 59)

Aus den Einzel- und Gruppenversuchen ergaben sich:

Das Anheben des ersten Beines bis in 1 m Höhe ist nicht praktikabel für ältere oder verletzte Personen.

Der Notöffnungsquerschnitt ist deutlich zu klein, vorgeschrieben sind $0,4 \text{ m}^2$ und mindestens ein Rechteck von $500 \times 700 \text{ mm}$ [27, 28, 29, 30].

Besonders die Höhe (entsprechend die Breite in der Normlage) müsste vergrößert werden. Auch Kinder und korpulentere Fahrgäste werden beim Ausstiegsvorgang Probleme haben. Für die Rettung einer erwachsenen bewegungsunfähigen Person ist dieser Ausstieg gänzlich ungeeignet.

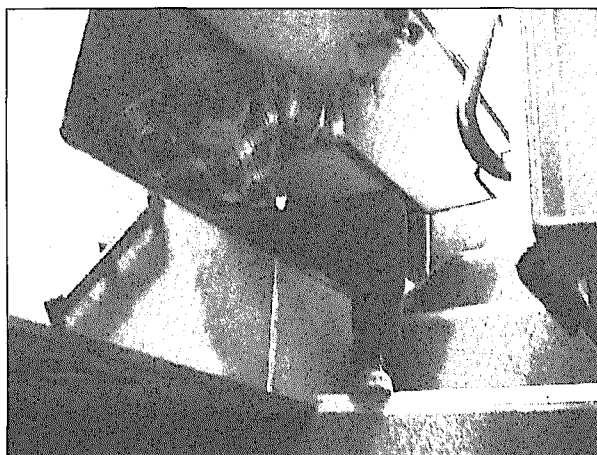


Bild 56: Ausstieg aus der Toilette



Bild 57: Ausstieg aus der Dachluke, Pos. I

8.5 Evakuierungsdauer

Die erfassten Zeiten sind Versuchswerte und dienen der Bewertung der Wirksamkeit der einzelnen Notausstiege. Die Gesamtzeiten für die Evakuierung des hinteren Bussegmentes, dies entsprach ca. 1/3 der Kapazität des Gesamtbusses, liegen zwischen 1:10 min (19 Personen, 2 Dummies) und 3:00 min (18 Personen, 4 Dummies). Die Fremdrettung durch die Berufsfeuerwehr nahm 16 min (17 Personen, 4 Dummies) in Anspruch.

Bestimmt wurde anschließend der Durchsatz der einzelnen Ausstiege. Gewählt wurde die Einheit [sec/Person]. Bild 60 zeigt den Durchsatz der einzelnen Notausstiege bei den verschiedenen Versuchsreihen (GV = Gruppenversuch; EV = Einzelversuch). Im Mittel ergeben sich Zeiten von

- 4,5 sec/Person für das Heckfenster,
- 5,4 sec/Person für die hintere Betriebstür,
- 6,7 sec/Person für die Dachluke,
- 9,0 sec/Person für die Seitenfenster.

Die unterschiedlichen Zeiten haben 3 Hauptursachen:

1. Die Zugänglichkeit. Die einzelnen Ausstiege unterscheiden sich in ihrer Zugänglichkeit, d. h. dem Weg vom Sitzplatz zum Ausgang: ebenerdig, Stufen, Klettern etc.
2. Die Kennzeichnung. Die Kennzeichnung und Wegweisung zur Dachluke scheinen zu gering zu sein, da sie ausschließlich von Personen aus der unmittelbaren Umgebung wahrgenommen und genutzt wurde.

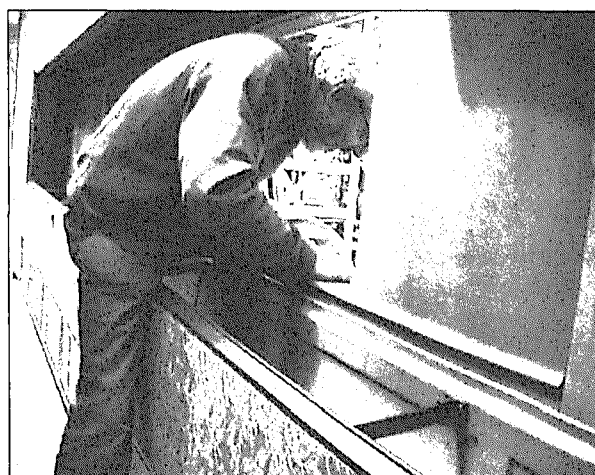


Bild 58: Ausstieg aus der Dachluke, Pos. II

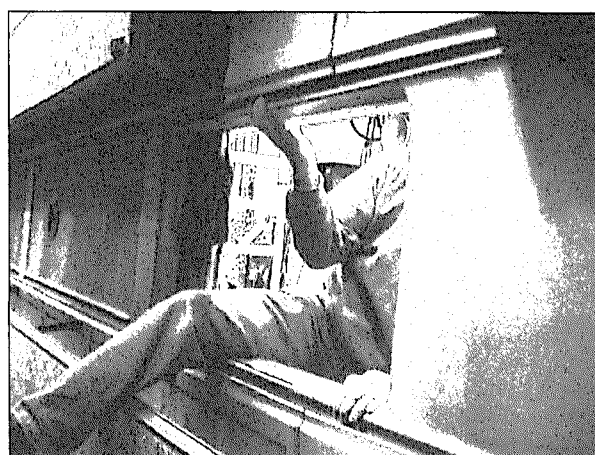


Bild 59: Ausstieg aus der Dachluke, Pos. III

3. Die unterschiedlichen Notöffnungsquerschnitte. Hierbei waren bei unserem Versuchsbus die Flächen von Heckfenster und Seitenfenster vergleichbar, gefolgt von der Tür und der Dachluke mit nur ca. 1/3 der Fläche der Fenster.

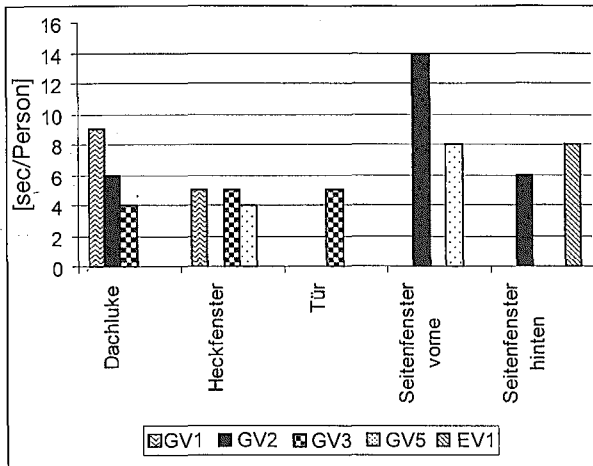


Bild 60: Durchsätze der einzelnen Ausstiegstypen

Die Zeiten für den Durchsatz berechneten sich incl. des Öffnungsvorganges durch die erste Person. Die Öffnungszeiten sind bei der Dachluke und den Fenstern zu vernachlässigen. Isolierglas im realen Fall dürfte schneller zu zerstören sein als die hier verwendete Folie (siehe 8.4.6, Einzelversuch 1).

Die Tür war der einzige Ausstieg, bei dem Öffnungsprobleme auftraten, nur in zwei der Gruppenversuche gelang eine erfolgreiche Öffnung. Aus diesem Grunde stehen hier zu wenig Daten zur Verfügung.

- Zeitbedarf Gruppenversuch 3: 0:15 min,
- Zeitbedarf Gruppenversuch 5: 1:30 min (Öffnung durch die Feuerwehr).

Der aus zeitlichen Gesichtspunkten optimale Notausstieg hat „Türformat“ und ist innen und außen bodengleich, als Beispiel sei hier das Heckfenster beim Bus in Seitenlage genannt.

Bei Notausstiegen wie der Tür und besonders den Seitenfenstern in Seitenlage muss man vor dem Erreichen des Ausstieges nach oben steigen oder klettern. Dies ist verletzten oder älteren Insassen unter Umständen nicht mehr möglich.

Die Dachluke ist der einzige Notausstieg mit einem deutlich zu kleinen Öffnungsquerschnitt.

Bei allen Notausstiegen sollten die Kennzeichnung und Wegweisung verbessert werden.

Der Öffnungsvorgang der Tür ist als äußerst problematisch anzusehen, ist die Tür geöffnet, ist sie ein akzeptabler Notausstieg.

9 Lastenheft für ein optimiertes Notausstiegssystem bei Reisebussen

Das Lastenheft beschreibt Anforderungen, Leistungen und Prüfbedingungen, die ein optimiertes Notausstiegssystem erfüllen sollte.

Das Lastenheft soll einen Anhaltspunkt geben für die

- Konstruktion neuer Busse,
- zukünftige Gesetzgebung.

Es schlägt weiterhin Mindestanforderungen an Funktion und Kapazität vor.

Anforderung	Maßnahmenvorschlag	Realisierbarkeit/Priorität
allgemein gilt:		
Das Verletzungsrisiko bei der Evakuierung ist so gering wie möglich zu halten.	Scharfe Kanten, Ecken oder Glasreste dürfen nicht im Griffbereich auftreten.	
Die Betätigung der Ausstiege muss ohne großen Kraftaufwand für Kinder und Erwachsene möglich sein.	Das Gewicht der zu bewegenden Teile darf nicht zu hoch sein (Bsp. Türöffnung in Seitenlage).	hohe Priorität
	Ist nach dem Unfall noch Hilfsenergie (Strom, Druckluft) vorhanden, ist diese unterstützend zur Notöffnung einzusetzen.	Türnotentriegelung (Drucklosmachen des Systems) überdenken

Anforderung	Maßnahmenvorschlag	Realisierbarkeit/Priorität
Das Notausstiegssystem ist kinder- und seniorengerecht zu verwirklichen.	Bei Kindern ist bei Kennzeichnung und Bedienung der Körpergröße Rechnung zu tragen.	
	Ältere Menschen benötigen Notausstiege, die innen bodengleich und mit einer direkt sichtbaren und vertrauenserweckenden Abstiegshilfe, wie einer Notrutsche, ausgestattet sind.	Nottüren anstelle von Notfenstern kosten zwangsläufig Sitzplätze.
Es sind in jeder Endlage des Busses 2 Hauptfluchttrichtungen sicherzustellen.	Dies ist eine zusätzliche Anforderung, die bestimmt, wie die Aufteilung der vorgeschriebenen Mindestanzahl der Notausstiege auf den Bus erfolgt.	hohe Priorität
Die Notöffnung sollte so weit wie möglich automatisiert werden.	Einsatz eines Crashsensors mit entsprechender Ansteuerung von Türen, Luken, evtl. Fenstern usw.	Sensoren sind im Lkw-Bereich bereits vorhanden.
Missbrauchsschutz (allgemein)		
3 Grundanforderungen an jedes Notausstiegssystem: Kindersicherheit, Missbrauchs- und Fehlbedienungsschutz	Eine geschwindigkeitsabhängige Überbrückung der Notbetätigungseinrichtung über 3 km/h.	hohe Priorität
	Doppelfunktionen einzelner Bauteile sind möglichst zu vermeiden.	
	Unzureichende Alternativen: Verplomben, Warnbeschilderung.	Anwendung nur ergänzend empfohlen.
Diebstahlschutz	Verriegelung in Parkstellung des Busses (z. B. bei der Dachluke).	
	Nothämmer und Gurtschneider mit dünnen Drahtseilen am Halter befestigen.	
Betriebs- als Nottüren		
Die Bedienung im Notfall ist so auszulegen, dass sie für alle Körpergrößen der Insassen in allen Endlagen des Busses möglich ist.	Anbringung der Notbetätigungseinrichtung (Nothahn) an der Tür in Türmitte.	Nur in Verbindung mit ausreichendem Missbrauchsschutz realisierbar.
	Die Kennzeichnung und Beschilderung müssen auch für die Seitenlage ausgelegt sein.	
Die Notöffnung der Tür in Seitenlage muss durch 1 Person ohne erhöhten Kraftaufwand erfolgen können.	Gewichtsreduzierungspotenziale der Tür sind zu prüfen.	evtl. Konflikt: Verklemmsicherheit (Formsteifigkeit, Masse) <-> Leichtbau
	Evtl. nach dem Unfall noch vorhandene Hilfsenergie ist zu nutzen.	

Anforderung	Maßnahmenvorschlag	Realisierbarkeit/Priorität
Die gesamte Notöffnungszeit darf max. 5 s betragen.	Den Türmechanismus nicht pneumatisch, sondern elektrisch antreiben.	hohe Priorität
	Die Tür mechanisch entriegeln.	
Die Notbetätigungseinrichtung ist so zu verwirklichen, das Missbrauch und Fehlbedienung verhindert werden.	Eine geschwindigkeitsabhängige Überbrückung der Notbetätigungseinrichtung über $v = 3\text{km/h}$.	hohe Priorität, kostenaufwändig
	Eine optische und akustische Quittierung der Notöffnung am Nothahn selbst.	
Eine Notöffnung muss von außen erfolgen können.	Anbringung eines - entsprechend gesicherten - Nothahnes außen am Bus.	hohe Priorität
Verklemmsichere Auslegung der Türen.	Tür und angrenzender Aufbau müssen möglichst steif sein. Die Verriegelung ist ebenfalls auf Verklemmsicherheit zu untersuchen.	Besonders wichtig bei der vorderen Betriebstür.
Der freie Zugang im Bus zu den Türen muss gewährleistet bleiben.	Wenn sich klappbare Sitze im Zugangsbereich befinden, müssen diese mit einer automatischen Rückstellfunktion ausgestattet werden.	Federrückstellung der Sitzfläche.
Reine Nottüren		
Die Bedienung im Notfall ist so auszulegen, dass sie für alle Körpergrößen möglich ist.	Anbringung der Notbetätigungseinrichtung (Nothahn) an der Tür in Türmitte.	Modell „Türklinke“
Die Notbetätigungseinrichtung ist so zu verwirklichen, das Missbrauch und Fehlbedienung verhindert werden.	Eine geschwindigkeitsabhängige Überbrückung der Notbetätigungseinrichtung über $v = 3\text{ km/h}$.	hohe Priorität, kostenaufwändig
Die Nottür muss in Seiten- und Dachlage geöffnet werden können.	Kennzeichnung, Gewicht und Verriegelung sind für diese Fälle auszulegen.	
Der freie Zugang im Bus zu den Nottüren muss immer gewährleistet sein.	Im Zugangsbereich der Nottüren dürfen sich keine Einbauten oder Sitze befinden.	
Größe, Lage, Anzahl	Die Mindesthöhe sollte, wie bei Betriebstüren, 1650 mm betragen.	
	Sinnvolle Platzierung im Bus: gegenüber der hinteren Betriebstür, im Heck und im Oberdeck von Doppelstockfahrzeugen.	
	Im letzteren Fall empfiehlt sich die Verbindung mit geeigneten Abstieghilfen.	z. B. Trittmulden in der Busaußenhaut

Anforderung	Maßnahmenvorschlag	Realisierbarkeit/Priorität
Notfenster		
Die Verletzungsgefahr bei der Notöffnung von ESG- oder Isolierglasfenstern ist so gering wie möglich zu halten.	Vorgespannte Abdeckkappen können sich nach Zerstörung der Scheibe über den Scheibenrand legen.	
	Keine Anbringung von Klebefolie auf dem Glas wegen der negativen Auswirkungen bei der Notöffnung in Seitenlage.	
	Generell anzustreben ist der vollständige Ersatz von ESG durch VSG oder Kunststoff in Verbindung mit geeigneten Notöffnungskonzepten.	Ergibt zusätzlich mehr Sicherheit beim Unfall/Umsturz
Die Schaffung von Notöffnungsmöglichkeiten für VSG, wodurch der Einsatz dieser Fenster als Notausstieg erst ermöglicht wird.	Einarbeitung von Sprengschnüren in die Klebenäht.	hohe Anforderungen an den Missbrauchsschutz
	Einarbeitung von aufblasbaren Schläuchen (in Verbindung mit einem pyrotechnischen Gasgenerator) in die Klebenäht.	hohe Anforderungen an den Missbrauchsschutz
Um möglichst kurze Fluchtwege zu erreichen, sollte die Anzahl der Notausstiege möglichst hoch sein.	Jedes Fenster als Notausstieg ausweisen. Dies ist nur abhängig von der Kennzeichnung und der Anzahl der Nothämmer.	hohe Priorität, sehr einfach umzusetzen
	Realisierung eines Notausstieges in der Frontscheibe	hohe Priorität, abhängig von der Entwicklung geeigneter VSG-Notöffnungsmöglichkeiten
Die Fensternotöffnung muss in allen Endlagen des Busses möglich sein.	Die Anbringung der Nothämmer sollte an besser und universell erreichbarer Position erfolgen. Beispiel: Unterseite der Gepäckablage oder Lehnenrückseite.	hohe Priorität; wichtig für die Seitenlage des Busses
Die Anbringung der Nothämmer und die Beschilderung müssen nachts erkennbar sein.	Die Nothämmer sind mit nachleuchtendem Material zu versehen oder vorzugsweise zu beleuchten.	Problem: Kundenakzeptanz
Zusammenhang Notfenster und Bestuhlung:	siehe Abschnitt „Bestuhlung“	
Notluken		
Der Notöffnungsvorgang muss fehlbedienungsicher sein.	Dies kann durch die Schaffung herstellerunabhängiger einheitlicher Bedienelemente erfolgen.	
	Des Weiteren müssen die Luke und deren Bedienelement deutlich farblich gekennzeichnet sein (Signalfarbe).	

Anforderung	Maßnahmenvorschlag	Realisierbarkeit/Priorität
Notluken (Fortsetzung)		
	Der Schriftzug „Notausstieg“ sollte sich über die gesamte Lukenbreite erstrecken.	
Der Ausstieg muss auch bei deformiertem Aufbau möglich sein.	Eine formsteife Konstruktion von Luke und angrenzendem Aufbau.	für Neukonstruktionen, ansonsten ESG-Dachluken (s. u.)
	Der Ersatz herkömmlicher mechanischer Konstruktionen durch ESG-Dachluken.	
	Der Öffnungsgriff innen und außen muss die Einleitung größerer Kräfte ermöglichen (für die Öffnung verklemmter Dachluken).	
Größe, Lage, Anzahl	Die Dachluke soll in der Seitenlage einen Ausstieg im „Türformat“ darstellen. Folge: Erhöhung der Lukenbreite auf die gesamte Fahrzeugbreite.	hohe Priorität
	Mindestens drei Dachluken ausreichender Größe gleichmäßig über die Länge des Fahrgastraumes verteilt.	Bisher sind nach dem ECE-Reglement bis 50 Fahrgäste eine, darüber zwei Dachluken erforderlich.
	Für das untere Passagierdeck von Doppelstockfahrzeugen sollte der Zwischenboden mit der entsprechenden Anzahl und Verteilung von „Notklappen“ versehen werden.	
Die Notbetätigungseinrichtung ist so zu verwirklichen, dass Missbrauch verhindert wird.	Eine geschwindigkeitsabhängige Überbrückung der Notbetätigungseinrichtung über $v = 3 \text{ km/h}$.	hohe Priorität, kostenaufwändig
Die Luken sollen im Brandfall als Rauchabzug fungieren.	Automatische Öffnung mit einer Ansteuerung durch Brand- und/oder Crashsensor.	
Bestuhlung		
Beim Ausstieg in Seitenlage des Busses nach oben muss die Bestuhlung „klettertauglich“ sein.	Griffe und Armlehnen für diese zusätzliche Belastung auslegen. Bei Armlehnen ist besonders die Belastung in seitlicher Richtung zu berücksichtigen (Vorgabe: Belastung von oben 150 kg, seitlich 120 kg).	
Die Gurtöffnung in der Seitenlage des Busses muss für den Insassen ohne die Hilfe weiterer Personen möglich sein.	Das Gurtschloss muss auch unter (schrägem) Zug zu öffnen sein.	

Anforderung	Maßnahmenvorschlag	Realisierbarkeit/Priorität
Bestuhlung (Fortsetzung)		
Der Mittelgang als Hauptfluchtweg in der Normallage darf nicht eingeschränkt werden.	Verzicht auf die seitliche Verschiebbarkeit der Sitze oder	hohe Priorität
	Verwendung einer automatischen Rückführung.	sehr aufwändig
Zusammenhang Notfenster und Bestuhlung	Sitzteiler und Fensteraufteilung sollen aufeinander abgestimmt sein.	
	Notausstieg Heckfenster: Alle 5 Hecksitzlehnen müssen klappbar und entsprechend gekennzeichnet sein.	sehr wichtig für den Ausstieg in Seitenlage des Busses
Klappbare Sitze im Bereich der Einstiege	Vertretbar sind nur solche Sitze, deren Sitzfläche nach Entlastung automatisch nach oben klappt und somit den Zugang freigibt. Von der Anordnung von zwei dieser Sitze nebeneinander sollte abgesehen werden.	
Handläufe und -griffe		
Sie müssen für ein Hochziehen und Klettern ausgelegt sein.	Die Bauteile werden für diese Sonderbelastung ausgelegt.	
Bei der Anbringung ist den Bedürfnissen von Kindern Rechnung zu tragen.	Besonders im Einstiegsbereich die Griffe/Handläufe niedrig genug anbringen.	
Gepäckablage		
Die Gepäckablagen sind so auszuführen, dass das in ihnen verstaute Gepäck bei Unfall und Evakuierung kein Risiko darstellt.	Verwendung geschlossener Gepäckablagen.	vgl. Flugzeug
Die Verletzungsgefahr beim Aufprall (z. B. durch Gurtöffnung in Dachlage des Busses) ist so gering wie möglich zu halten.	Die Unterseite der Gepäckablage polstern.	
	Ecken und sonstige Aufprallflächen abrunden.	
Beleuchtung		
Die Notbeleuchtung muss lagenunabhängig funktionsfähig sein.	Einsatz von Blei-Gel-Batterien oder vergleichbaren Systemen.	
Die Notbeleuchtung ist so auszulegen, dass sie auch nach einem Kurzschluss im Hauptsystem oder einer Betätigung des Not-Aus-Schalters funktionsfähig bleibt.	Verwendung eigener, getrennt abgesicherter, Stromkreise.	hohe Priorität

Anforderung	Maßnahmenvorschlag	Realisierbarkeit/Priorität
Beleuchtung (Fortsetzung)		
Die Notbeleuchtung darf zu keiner verfälschten Farbwahrnehmung führen. (Die Signalfarben der Notausstiegselemente müssen erhalten bleiben.)	Als Beleuchtungsfarbe nur Weiß oder Gelb in ausreichender Helligkeit verwenden.	
Die Notbeleuchtung muss die einzelnen Notausstiegselemente hervorheben bzw. dazu hinleiten.	Ausstiege, deren Betätigungseinrichtungen sowie deren Zugänge müssen automatisch beleuchtet werden.	
	Richtungsweisende Beleuchtungssysteme (Pfeile, Lauflicht) weisen den Weg zum Ausgang.	hohe Priorität
	Eine automatische Umschaltung je nach Unfallsituation (verfügbare Ausstiege) ist wünschenswert.	
Kennzeichnung (allgemein)		
Die Kennzeichnungen der Notausstiegselemente müssen herstellerunabhängig einheitlich sein.	Dies kann erreicht werden durch eine einheitliche Farbgebung und eine genormte Größe.	ohne großen Kostenaufwand zu realisieren
Die Kennzeichnungen der Notausstiegselemente müssen international verständlich sein.	Piktogramme mit möglichst kurz gefasstem mehrsprachigem Text.	
Die Ablesbarkeit muss auch unter schlechten Lichtverhältnissen gewährleistet bleiben.	Beleuchtung im Rahmen der normalen Innenbeleuchtung.	
	Beleuchtung durch eine Notbeleuchtung.	bevorzugte Lösung
	Verwendung nachleuchtender Materialien für die Beschilderung.	Verbesserung
Optimale Anbringungsorte	Am Notausstiegselement selbst bzw. in dessen unmittelbarer Nähe.	
Optimale Fluchtwegskennzeichnung	Sie ist für alle Altersgruppen sichtbar, z. B. Pfeile auf dem Fußboden.	
Notfallinformationen		
Die Notfallinformationen müssen bereits vor/bei Fahrtantritt bereitgestellt werden.	Verwendung von Faltblättern, Bordmagazinen, Notfallvideos oder Durchsagen.	hohe Priorität
Inhalt der Notfallinformationen	Der Fahrgast soll hinsichtlich der Art, Unterbringung und Gebrauch der einzelnen Notfalleinrichtungen instruiert werden.	

Anforderung	Maßnahmenvorschlag	Realisierbarkeit/Priorität
Notfallinformationen Fortsetzung)		
Sicherstellung internationaler Kompatibilität	Mehrsprachige Ausführung in Verbindung mit Piktogrammen.	
Bereitstellung von Informationen für Rettungskräfte	Eine Check- bzw. Boardingliste, auf der die Personalien der Insassen vermerkt sind.	
	Diese Liste kann durch einen Batterielageplan (mit Lage der Notschalter) ergänzt werden.	
Ausstiegshilfen		
Die Ausstiegshilfe muss vertrauenerweckend sein, um genutzt zu werden.	Anforderungen: solide wirkend, direkt von oben sichtbar, nicht „transparent“ d. h. keine Leiter, besser eine Rutsche.	
Die Abstiegshilfe muss, wie die Ausstiege selbst, eine hohe Personenkapazität aufweisen. Der Abstieg muss schnell und sicher erfolgen können. Der Abstieg sollte ohne Umdrehen und Umgreifen erfolgen.	All dieses erfüllt eine aufblasbare Notrutsche (vgl. Flugzeug).	aufwändige Ansteuerung und Technik
Die Abstiegshilfe sollte automatisch bei Ausstiegsöffnung funktionsbereit sein.	Automatisch aufblasende Notrutsche.	Trittmulden in der Außenhaut des Busses.
Brandschutz		
Der Brand muss effektiv bekämpft werden können.	Motor-Not-Aus und Emergency-Fuel-Cut-Off.	hohe Priorität
	Automatische Feuerlöschsysteme im Motorraum.	
	Feuerlöscher: 1 x im Zugriffsbereich des Fahrers; 1 x im Bereich der hinteren Betriebstür.	
	Gut gekennzeichnete Anbringung; mind. 6-kg-Löscher.	
Der Innenraum sollte möglichst rauchfrei bleiben.	Verwendung brandhemmender Innenausstattung.	
	Automatisierte Öffnung von Luken, Türen und evtl. Fenstern als Rauchabzug.	Strömungsverhältnisse im Bus untersuchen
Realisierung extrem kurzer Fluchtwege	Eine hohe Anzahl der Notausstiege (jedes Fenster als Notausstieg ausweisen; viele, gleichmäßig verteilte Dachluken; 2 Treppenaufgänge bei Doppelstockfahrzeugen).	
Die Orientierung im verrauchten Bus soll erleichtert werden.	Dies ist nur schwer möglich, die Notfallinformationen müssen vor Fahrtantritt gegeben werden.	

Anforderung	Maßnahmenvorschlag	Realisierbarkeit/Priorität
Sonderfall Rollstuhltransport		
Der Zugang zum im Rollstuhl sitzenden Fahrgast muss möglich sein.	Um den Rollstuhl herum muss ein ausreichender Freiraum sein.	Betrifft überwiegend Kleinbusse.
	Es sind entsprechend große Notausstiegsöffnungen für die Fremdrettung des Rollstuhlfahrers vorzusehen.	
Evakuierungsversuche und -simulationen		
	Berücksichtigung der verschiedenen Endlagen des Busses (besonders der Seitenlage).	
	Ergonomieuntersuchungen (u. a. Festlegung der maximalen Betätigungskräfte).	Findet im bestehenden Regelwerk nicht genügend Beachtung.
	Berücksichtigung des Zusammenwirkens der einzelnen Notausstiege im System.	
	Nachweis durch standardisierte Evakuierungstests oder Simulationen (u. a. Festlegung einer Höchstzeit für die gesamte Evakuierung).	

10 Ausblick

Neben den ermittelten Punkten des Lastenheftes sollte auf folgende Ansätze weitergehender Arbeiten hingewiesen werden:

Empfehlenswert ist eine zweite Notöffnungsmöglichkeit durch Körperkräfte von innen bei pneumatisch betätigten Außenschwingtüren. Die momentan verwendete Konstruktion mit „Keilen“ am Türrahmen erlaubt die Öffnung durch Körperkräfte nicht ohne weiteres.

Die in anderen Bereichen schon vorhandenen Notöffnungsmöglichkeiten für geklebte VSG-Fenster müssen auf ihre Verwendbarkeit in Reisebussen überprüft werden. Zur Anwendung kommen hier hauptsächlich Systeme mit Sprengschnüren in der Klebnaht oder einem pyrotechnischen Gasgenerator.

Zu erforschen ist, wie eine automatische Öffnung aller Notausstiege im Brandfall als Rauchabzug fungieren kann.

Es ist zu prüfen, wie Abstiegshilfen in Form von ausklapp- oder aufblasbaren Notrutschen oder -leitern in die Fahrzeugaußenhaut bzw. den Fahrzeugunterboden integriert werden können.

Wichtig wäre es, festzustellen, inwieweit Komponenten des Airbag-Systems von Pkw/Lkw zur Crashesensierung und automatischen Ansteuerung von Notausstiegselementen verwendbar sind.

Die Verklemmsicherheit der Notausstiege Türen und Dachluken muss verbessert werden. Hier kommt es zum einen auf eine verklemmsichere Ausführung des Verriegelungssystems, zum anderen auf die Formsteifigkeit des an die Türen bzw. Luken angrenzenden Aufbaus an.

Ein neues Innenbeleuchtungs- und Wegweisungskonzept müsste erarbeitet werden. Verbunden werden sollen die Funktionen

- normale Innenbeleuchtung,
- Notbeleuchtung mit einer Betonung der Ausstiege und Notausstiegselemente,

- wegweisendes oder leitendes Beleuchtungssystem.

In Verbindung mit der o. g. Crashesensierung sollte hier eine automatische Umschaltung oder Anpassung an die jeweilige Unfallsituation erfolgen.

Die wünschenswerte Vergrößerung der Dachluke, evtl. durch eine Verbreiterung auf die gesamte Fahrzeugbreite, macht neue Untersuchungen der Dachstruktur (nach ECE-R 66) erforderlich.

Es gibt zur Zeit Simulationssoftware für die Evakuierung von Schiffen und Gebäuden (z. B. Uni Duisburg), die teilweise auch für Züge und Flugzeuge verwendet wird. Es ist zu untersuchen, ob die grundlegenden Rechenmodelle an den Reisebus angepasst werden können. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Simulation der Evakuierung in der Seitenlage des Busses.

Wegen der Ausrüstung der Reisebusse mit Sicherheitsgurten sollten für die Rettungskräfte neue Evakuierungs- und Rettungskonzepte entwickelt werden.

11 Literatur

- [1] SCHEPERS, A.: Zur Sicherheit von Reiseomnibussen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, M 17, Bergisch Gladbach 1993, S. 30-31
- [2] APPEL, H., RASENACK, W., RAU, H., RIETZ, C.: FAT-Projekt: Anforderungen an Gurte in Reisebussen. Abschlussbericht, TU Berlin, ISS Fahrzeugtechnik, 1995, S. 15-18; S. 48-56
- [3] GRANDEL, J., MÜLLER, C. F.: Die Sicherheit von Omnibussen. ATZ 9/1996, S. 432-436
- [4] KRÜGER, H. J.: Entwicklung der inneren Sicherheit von Reiseomnibussen nach Unfällen. Vortrag in einem Workshop: Sicherheitsgurte in Bussen, FH Trier 1996, S. 4-5
- [5] RIEBECK, L.: Simulation realitätsnaher Umsturzunfälle von Omnibussen. VDI Berichte 1504 Nutzfahrzeuge, 1999, S. 321
- [6] KRÜGER, H. J.: Analyse der technischen Möglichkeiten für Notausstiege in Kom im Vergleich zu den ECE-Regelungen 36 und 52. TÜV Rheinland, Köln 1985
- [7] BOCKELMANN, W.: Noch sicherer im Reisebus. FAZ, 15.05.2001
- [8] HAMSTEN, B., STANGL, G.: Aus Modulen kombiniert - die Baureihe Setra-Kombibus. ATZ 7-8/1997, S. 409
- [9] WELZMILLER, R., MATYSSEK, G.: Eine neue Schwenkschiebetür für Omnibusse. ATZ 10/1997, S. 624-628
- [10] RIEBECK, L., BREITLING, U.: Weiterentwicklung der Umsturzsicherheit bei MAN-Reiseomnibussen. ATZ 12/1996, S. 662-670
- [11] LEE, H. R., BARTHA, E.: Neuer Sicherheitsstandard im Reisebus. ATZ 12/1996, S. 672-676
- [12] RIECK, G.: Aktive und passive Sicherheit des neuen MAN Fernreisebusses FRH 422. ATZ 1/1994, S. 11-16
- [13] GEIGER, J., SCHREIBER, R.: Amerikanischer Freund. Lastauto Omnibus 2/2001, S. 80-81
- [14] SHIOSAKA, Y.: Research on the evacuation readiness of bus crews and passengers - investigation of the effect of a new type of exit. SAE-Paper 962210, 1996, S. 88-92
- [15] SHIOSAKA, Y.: Research on the evacuation readiness of bus crews and passengers - investigation on bus passengers and drivers understanding of evacuation procedures. SAE-Paper 952670, 1995, S. 75
- [16] BOTTO, P., CAILLIERET, M. C., PATEL, A., GOT, C.: Passenger protection in single and double-decker coaches in tipping over. 13th Int. Tech. Conf. on Experimental Safety Vehicles Paris, Volume 2, 1991, S. 1285-1291
- [17] DANNER, M.: Der Omnibus im Unfallgeschehen. Eine Analyse der Deutschen Autoversicherer. Omnibusrevue 6/1981, S. 318-320
- [18] BERG, A. F., NIEWÖHNER, W.: Sicherheit von Bussen - Analysen, Ergebnisse und Bewertungen der DEKRA Unfallforschung: Teil 1, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 5/2000, S. 138-139
- [19] BERG, A. F., NIEWÖHNER, W.: Sicherheit von Bussen - Analysen, Ergebnisse und Bewertungen der DEKRA Unfallforschung: Teil 2. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 6/2000, S. 158-161
- [20] Bus Fires in Finland during 2000. Incident report, Accident investigation board Finland, Helsinki 2001

- [21] WINKELBAUER, M., VAVRYN, K.: Busunfallgeschehen in Österreich. Kuratorium für Verkehrssicherheit, Workshop: „Safe bus driving under difficult circumstances“, Luxemburg, 10/2000, S. 14
- [22] HACKENBERG, N., KRÜGER, H. J.: Analyse der Sicherheit von Bussen, Version 2. TÜV Rheinland, Köln 1989
- [23] FÄRBER, B., HEINRICH, H. C., HUNDHAUSEN, G., HÜTTER, G., KAMM, H., MÖRL, G., WINKLER, W.: Sicherheit im Reisebusverkehr. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, M 40, Bergisch Gladbach 1995
- [24] BERG, F. A., EGELHAAF, M., LANGE, T., STAUBACH, H. O.: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisbussen. 1. Zwischenbericht für die Bundesanstalt für Straßenwesen, DEKRA Automobil GmbH, Stuttgart 2001, S. 14
- [25] PSV Emergency exits: passenger behaviour & exit design (S330A/VC). Department of the Environment, Transport and the Regions. http://www.roads.dtlr.gov.uk/roadsafety/rvs/rv_res25.htm, Großbritannien 1997
- [26] Hilfeleistung bei Bahnunfällen. Landesfeuerwehrverband Bayern e. V. <http://www.lfv-bayern.de/bahnunfall.htm>, 2000
- [27] ECE-R 36: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftomnibussen hinsichtlich ihrer Konstruktionsmerkmale, Dezember 2000
- [28] ECE-R 52: Einheitliche Bedingungen hinsichtlich der konstruktiven Merkmale von Kraftomnibussen des öffentlichen Verkehrs mit geringer Sitzplatzanzahl, September 1995
- [29] ECE-R 107: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung großer Doppelstockfahrzeuge zur Personenbeförderung hinsichtlich ihrer allgemeinen Konstruktionsmerkmale, November 1998
- [30] Richtlinie 2001/85/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001 über besondere Vorschriften für Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und zur Änderung der Richtlinien 70/156/EWG und 97/27/EG, Februar 2002
- [31] Verkehrsunfälle 2000 - Zeitreihen. Fachserie 8, Reihe 7. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2001
- [32] CIMOLINO, U., HAISCH, M., LEMBECK, T., TAYLOR, S.: Technische Hilfeleistung bei Busunfällen, ecomed Verlag, Landsberg 2001
- [33] OTTE, D.: Analyse von Unfällen mit Reisebussen aus „Erhebungen am Unfallort“ Hannover. Medizinische Hochschule Hannover, Dezember 2001
- [34] Safety regulations for road vehicles. Article 26: Emergency exits, Japan
- [35] FMVSS 217: Bus emergency exits and window retention and release (Amendment Level F. R. Vol. 60 No. 89), USA, Mai 1995
- [36] ADR 58: Requirement for omnibuses designed for hire and reward (Volume 2, Issue 3), Australien, Dezember 1990
- [37] GRÜNHÄUSER, V., SIEBERATH, M.: Schwachstellenanalyse Busnotausstiege an einem Neoplan Cityliner. Konstruktionsprojekt, FH Trier, 2002
- [38] ECBOS (Enhanced Coach and Bus Occupant Safety): Dissemination CD 2001
- [39] KIRCHNER, J.-H., BAUM, E.: Ergonomie für Konstrukteure und Arbeitsplatzgestalter, Carl Hanser Verlag, München 1990, S. 318-319
- [40] KNAUSS, J.; Dynamit Nobel AG: Offenlegungsschrift DE 197 54 814 A1. Deutsches Patent- und Markenamt, 1999
- [41] ACKERMANN, W.; Gebr. Happich GmbH: Offenlegungsschrift DE 44 44 038 A1. Deutsches Patent- und Markenamt, 1996
- [42] GEYER, L.; MAN Nutzfahrzeuge GmbH: Patentschrift DE 35 26 881. Deutsches Patent- und Markenamt, 1987

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

- F 1: Einfluß der Korrosion auf die passive Sicherheit von Pkw**
E. Faerber, G.-D. Wobben
88 Seiten, 1993 € 12,50
- F 2: Kriterien für die Prüfung von Motorradhelmen**
W. König, H. Werner, E. Schuller, G. Beier, W. Spann
80 Seiten, 1993 € 13,50
- F 3: Sicherheit von Motorradhelmen**
H. Zellmer
52 Seiten, 1993 € 11,00
- F 4: Weiterentwicklung der Abgassonderuntersuchung**
Teil 1: Vergleich der Ergebnisse aus Abgasuntersuchung und Typprüfverfahren
A. Richter, G. Michelmann
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahrzeuge mit Katalysator
Chr. Albus
80 Seiten, 1993 € 13,50
- F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz**
R. Bamberg, H. Zellmer
56 Seiten, 1994 € 11,00
- F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport**
G.-D. Wobben, H. Zahn
64 Seiten, 1994 € 12,50
- F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttransmission von Pkw-Scheiben**
Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe
P. Junge
Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe
M. Chmielarz, B. Siegl
Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben - Vergleichsstudie -
H. Derkum
88 Seiten, 1994 € 14,00
- F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen**
D. Otte, G. Schroeder, J. Eidam, B. Kraemer
32 Seiten, 1994 € 10,50
- F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Straßenbedingungen**
M. Schmieder, D. Bley, M. Spickermann, V. von Zettelmann
40 Seiten, 1994 € 11,00
- F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern**
J. Damasky
52 Seiten, 1995 € 12,50
- F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays**
H. Mutschler
124 Seiten, 1995 € 16,50
- F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen**
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern
H. Zellmer, M. Schmid
Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern
H. Zellmer
44 Seiten, 1995 € 12,00
- F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen**
K. Sander
40 Seiten, 1995 € 11,50
- F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim Fußgängerunfall**
Entwicklung eines Prüfverfahrens
K.-P. Glaeser
100 Seiten, 1996 € 15,50
- F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern**
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von Fahrrädern
C. Heinrich, E. von der Osten-Sacken
Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicherheit von Fahrrädern“
F. Nicklisch
220 Seiten, 1996 € 22,50
- F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen**
R. Sagerer, K. Wartenberg, D. Schmidt
52 Seiten, 1996 € 12,50

- F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen**
- Problemanalyse und Verfahrenskonzept
D. Grunow, G. Heuser, H.J. Krüger, Chr. Zange-
meister
136 Seiten, 1996 € 17,50
- F 18: Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne ABS**
J. Präckel
84 Seiten, 1996 € 14,50
- F 19: Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der Hauptuntersuchung**
E. Pullwitt
44 Seiten, 1996 € 11,50
- F 20: Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße und im Prüfstand**
K. Sander
60 Seiten, 1996 € 13,00
- F 21: Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe**
M. Fach
80 Seiten, 1996 € 14,00
- F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzeitiger Motorabschaltung**
B. Bugsel, Chr. Albus, W. Sievert
24 Seiten, 1997 € 10,50
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase**
F. A. Berg, U. Mayer
171 Seiten, 1997 € 19,50
- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes**
I. Kalliske, Ch. Albus, E. Faerber
44 Seiten, 1998 € 12,00
- F 25: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und in Fahrradanhängern**
I. Kalliske, D. Wobben, M. Nee
39 Seiten, 1998 € 11,50
- F 26: Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebschlupf-Regelsysteme**
T. F. Schweers
74 Seiten, 1999 € 11,50
- F 27: Betriebslasten an Fahrrädern**
M. Vötter, E. Groß, St. Esser, A. Born, M. Flamm, D. Rieck
22 Seiten, 1999 € 10,50
- F 28: Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen**
R. Kohlstruck, H. Wallentowitz
59 Seiten, 1999 € 13,00
- F 29: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen**
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
K.-P. Glaeser
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen
Th. Aubel
54 Seiten, 2000 € 13,00
- F 30: Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen**
A. Faber
44 Seiten, 2000 € 12,50
- F 31: Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen**
D. Otte
43 Seiten, 2000 € 12,50
- F 32: Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BAST**
Einweihung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach
63 Seiten, 2000 € 14,00
- F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen**
W. Gaupp, D. Wobben, M. Horn, M. Seemann
116 Seiten, 2000 € 17,00
- F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug**
K. Sander, B. Bugsel, W. Sievert, Ch. Albus
22 Seiten, 2001 € 11,00
- F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren**
H. Wallentowitz, D. Ehmanns, D. Neunzig, M. Weilkes, B. Steinauer, F. Bölling, A. Richter, W. Gaupp
147 Seiten, 2001 € 19,00
- F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Kraft-rädern**
A. van de Sand, H. Wallentowitz, Th. Schrüllkamp
64 Seiten, 2001 € 14,00
- F 37: Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor - G-Kat**
G. Afflerbach, D. Hassel, H. Schmidt, K.-S. Sonnborn, F.-J. Weber
32 Seiten, 2001 € 11,50

F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgängerschutzes

F. Friesen, H. Wallentowitz, M. Philipps

44 Seiten, 2001 € 12,50

F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung

J. Gail, M. Lorig, Chr. Gelau, D. Heuzeroth, W. Sievert

27 Seiten, 2002 € 9,50

F 40: Prüfverfahren für Spritzschutzsysteme an Kraftfahrzeugen

Chr. Domsch, D. Sandkühler, H. Wallentowitz

104 Seiten, 2002 € 16,50

F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge

G. Afflerbach, D. Hassel, H. J. Mäurer, H. Schmidt, F.-J. Weber

63 Seiten, 2003 € 14,00

F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen

M. Krieg, G. Rüter, A. Weißgerber

79 Seiten, 2003 € 15,00

Zu beziehen durch:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de