Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.



Unfallforschung kompakt Nr. 113

Evakuierung aus Reisebussen

Unfallforschung der Versicherer
GDV

Impressum

Herausgeber
Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
Telefon 030 / 20 20 – 58 21, Fax 030 / 20 20 – 66 33
www.udv.de, www.gdv.de, unfallforschung@gdv.de

Redaktion
Dr. Axel Malczyk

Realisation
pensiero KG, www.pensiero.eu

Bildnachweis
Titelbild: Peter Doherty – GettyImages ;
die Nutzungsrechte der weiteren in dieser
Broschüre abgebildeten Fotos liegen bei
der Unfallforschung der Versicherer.

Erschienen: 2/2022

FSC
www.fsc.org
MIX
Aus verantwortungs-
vollen Quellen
FSC® C126256

Inhalt

04 Einleitung

05 Gesetzliche Anforderungen hinsichtlich Evakuierung

06 Analyse des Unfallgeschehens

07 Package-Untersuchungen

09 Evakuierungsversuche in Schräg- und Seitenlage

13 Durchstiegsversuche durch Dachluke

14 Gurtlöseversuche in Schräglage

16 Verbesserung der Evakuierungsmöglichkeiten

17 Schlussfolgerungen und Forderungen

18 Literatur

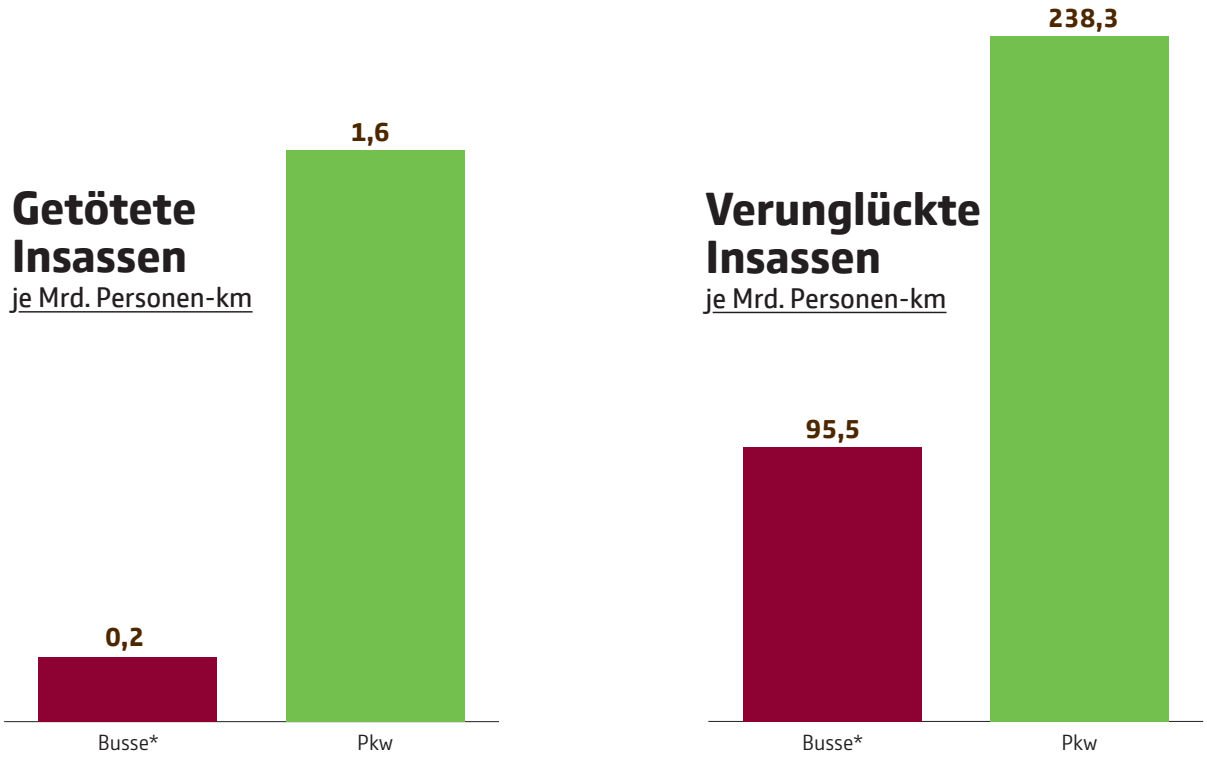
Einleitung

Reisebusse gehören zu den sichersten Landverkehrsmitteln. Bezogen auf ihre Transportleistung, die in Personenkilometern angegeben wird, also dem Produkt aus der durchschnittlichen Fahrleistung der Fahrzeuge und der durchschnittlichen Anzahl darin transportierter Passagiere, ist die Anzahl verunglückter Insassen um ein Mehrfaches geringer als in Pkw (Abb. 1).

Dennoch kommt es auch immer wieder zu schweren Verkehrsunfällen mit Reisebussen. Nicht zuletzt die Liberalisierung des Fernbusverkehrs 2013 hatte eine deutliche Steigerung der Fahrten in diesem Sektor zur Folge, damit einhergehend aber auch der Unfallzahlen von Reisebussen. Bei einigen Unfallereignissen waren auch schwerverletzte oder getötete Insassen zu beklagen. So kamen 2017 bei einem Auffahrunfall auf einen vorausfahrenden Lkw auf der Autobahn mit anschließendem Brand sogar 18 Menschen im Reisebus ums Leben (Abb. 2).

Busse in Bezug auf die Transportleistung deutlich sicherer als Pkw

Abbildung 1 · **Durchschnittliche Anzahl getöteter und verunglückter (getöteter und verletzter) Insassen von Bussen und von Pkw 2016 bis 2018, bezogen auf ihre Transportleistung (in Milliarden Personen-Kilometer)**

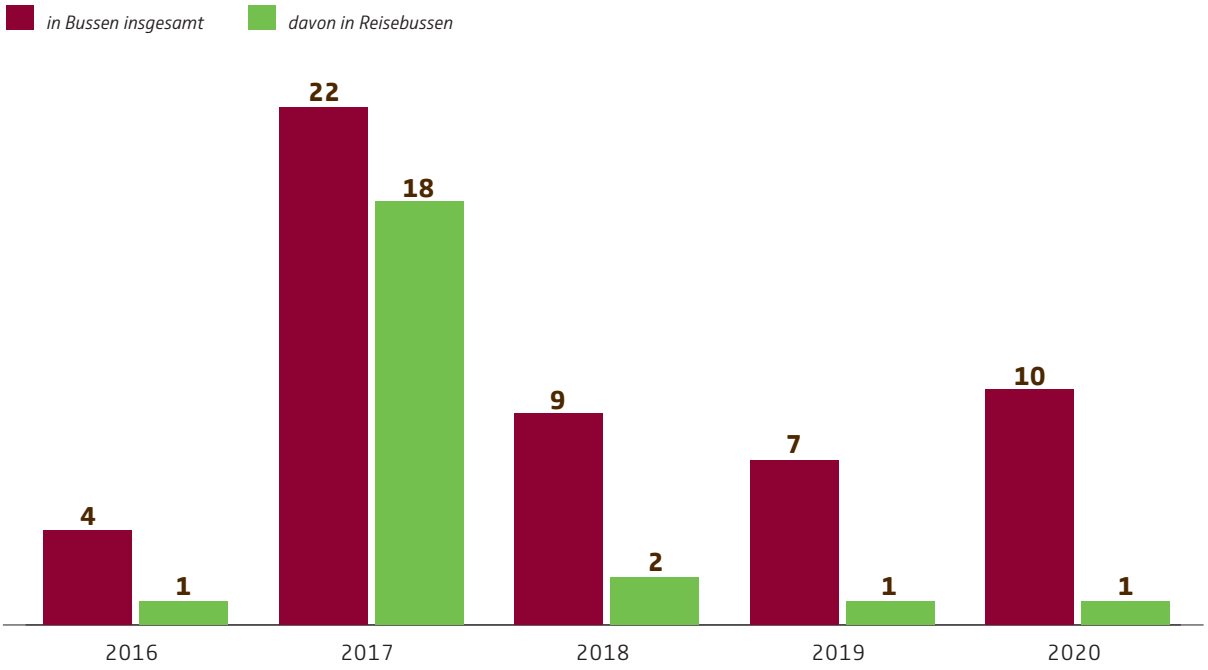


** alle Busse einschließlich Reise-, Linien-, Schulbusse*
Quelle: Statistisches Bundesamt, Kraftfahrt-Bundesamt, Mobilität in Deutschland

© UDV 2022

Zahl tödlich verunglückter Businsassen pro Jahr in Deutschland meist nur einstellig

Abbildung 2 **· Absolute Anzahl getöteter Insassen in Bussen in Deutschland, 2016 bis 2020**



Quelle: Statistisches Bundesamt

© UDV 2022

Bei solchen, wenngleich sehr seltenen Unfällen erhebt sich die Frage, wie sich zukünftig eine große Zahl von Opfern vermeiden ließe. Neben Maßnahmen der aktiven und passiven Sicherheit gerät dabei auch die Evakuierung der Insassen aus dem Fahrzeug ins Blickfeld. Dies umso mehr, wenn die eigentliche Kollisionsschwere keine oder nur leichte Verletzungen unter den Passagieren hervorruft, aber ein Umstürzen des Reisebusses oder ein Folgebrand es notwendig machen, diesen schnell und gefahrlos zu verlassen. Vor diesem Hintergrund wurde das Forschungsprojekt „Evakuierung aus Reisebussen“ der Unfallforschung der Versicherer (UDV) initiiert und mit dem Projektpartner an der Hochschule Trier durchgeführt. Der Schwerpunkt lag darauf, die Möglichkeiten für die Evakuierung und insbesondere die Selbstrettung von Reisebusinsassen nach derzeitigem Stand der Technik auf den Prüfstand zu stellen und Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen.
Beginnend mit der Analyse von Unfallereignissen wurden verschiedene Phasen der Evakuierung, die Selbstbefreiung aus dem Sicherheitsgurt, die Fortbewegung und Führung von Insassen im Innern des Busses und das Durchsteigen der geeigneten Notausstiege untersucht. Um unterschiedliche Konzepte zu bewerten, wurden Probandenversuche unter weitgehend kontrollierten Bedingungen durchgeführt. Diese Konzepte sind vorab durch eine Ethikkommission geprüft und genehmigt worden.

Gesetzliche Anforderungen hinsichtlich Evakuierung

Die Regelung ECE-R107 [1] legt Anforderungen an Konstruktionsmerkmale von Bussen der EU-Typklassen M2 und M3 (Fahrzeuge mit mehr als acht Sitzplätzen und einer zulässigen Gesamtmasse bis einschließlich 5000 kg beziehungsweise einer zulässigen Gesamtmasse über 5000 kg) fest. Neben weiteren Sicherheitseinrichtungen, darunter auch Brandunterdrückungseinrichtungen im Motorraum, betrifft diese auch die

Anzahl und Art der Notausstiege. Die Mindestanzahl der Betriebstüren und der Notausstiege richtet sich nach der Bauart des Busses und der Anzahl der zu befördernden Fahrgäste. Ebenso definiert die Regelung die Mindestabmessungen von Notfenstern und Notluken. Anders als bei größeren Passagierflugzeugen, Waggons von Personenzügen und Passagierschiffen existieren allerdings keine Vorgaben, innerhalb welchen Zeitraums eine Evakuierung der Insassen möglich sein muss.

Analyse des Unfallgeschehens

Um die Voraussetzungen für das schnelle Verlassen eines Reisebusses unter realistischen Bedingungen beurteilen zu können, wurden zum einen Unfallereignisse der Jahre 2010 bis 2021 im Internet recherchiert und zum anderen Fälle aus der Unfalldatenbank der Versicherer genutzt. Die Informationen wurden in eine eigens erstellte Datenbank eingepflegt und gemeinsam ausgewertet. Von besonderem Interesse waren dabei die Anzahl der verunglückten Insassen und ihre Verletzungsschweren sowie die Endlage des Reisebusses nach dem Unfall und die am stärksten beschädigten Bereiche. Aus letzteren ließ sich ableiten, welche regulären Betriebstüren des Busses noch zugänglich waren und welche Notausstiege gegebenenfalls genutzt wurden. Einschränkend muss allerdings angemerkt werden, dass in der Regel nicht zu ermitteln war, auf welchen Sitzplätzen sich Personen, insbesondere solche mit Verletzungen, zum Zeitpunkt des Unfalls befanden, und welche Ausstiege durch die Insassen selbstständig genutzt wurden. Rettungskräfte schaffen oftmals auch zusätzliche Öffnungen durch Seitenscheiben oder durch die Frontscheibe, um zu Insassen zu gelangen, die sich nicht aus eigener Kraft retten können. Fahrzeugbrände nach einer Kollision blieben bis auf wenige Ausnahmen glücklicherweise aus. Etwa ein Drittel der verunglückten Reisebusse kam nach dem Unfall auf der rechten Seite zu liegen oder die dort befindlichen Betriebstüren waren wegen aufprallbedingter Verformungen oder durch eine Schräglage im unbefestigten Straßenseitenraum nicht mehr problemlos zu öffnen (Abb. 3).

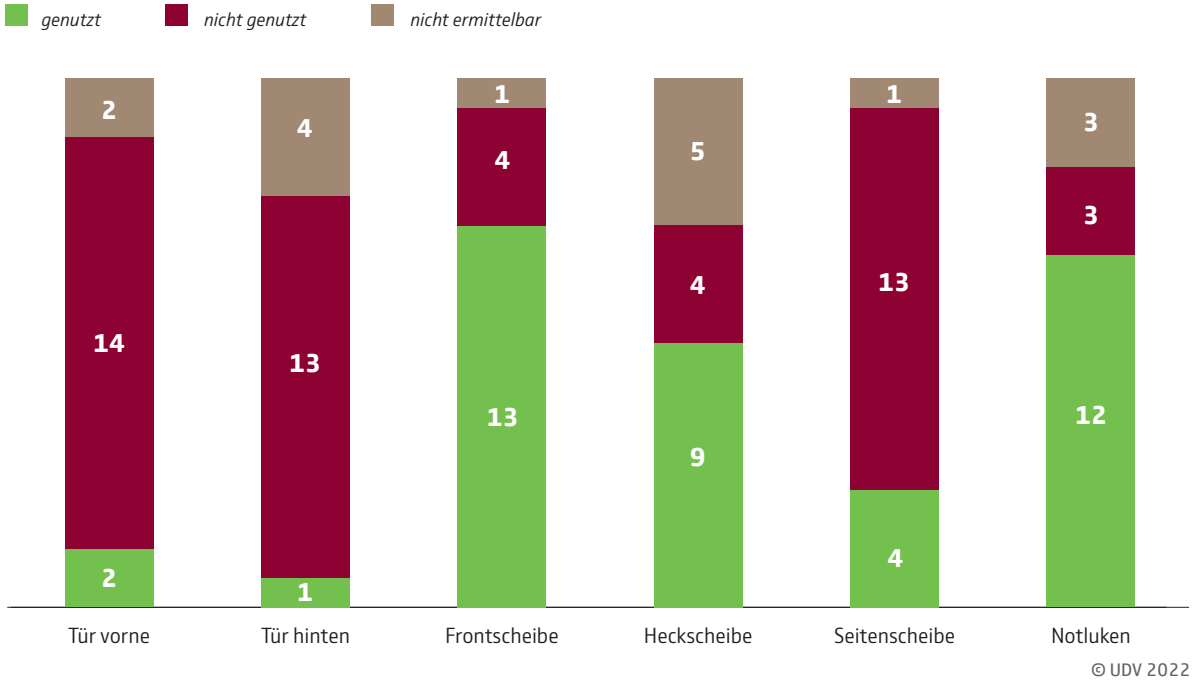
Von den 156 verunglückten Bussen mit bekannter Bauart im Fallmaterial waren 112 Reise- und Überlandbusse (72 %). Für 388 Fahrgäste waren Alter und Geschlecht recherchierbar. Die Verteilung zeigt, dass von diesen fast die Hälfte (48 %) Kinder und Jugendliche



Abbildung 3 · Beispiel für Beschädigungsbild mit nicht mehr nutzbaren Fahrgasttüren nach Kollision

Bei umgestürzten Reisebussen werden Türen und Seitenfenster selten genutzt

Abbildung 4 · **Anzahl genutzter Notausstiege bei 18 Reisebusunfällen mit seitlicher Endlage (80° bis 99°)**



© UDV 2022

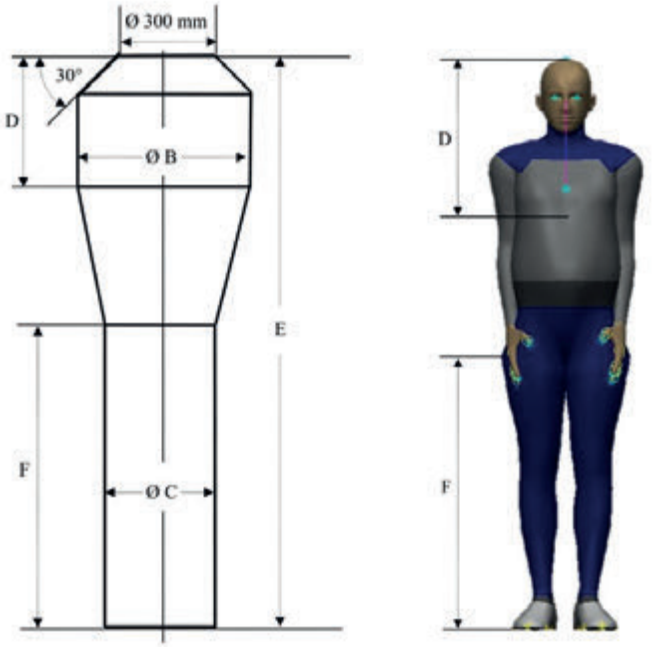
bis 25 Jahren waren, etwa jeder fünfte Fahrgast (18 %) zählte zu den Senioren über 65 Jahren. Die Endlage des Busses ließ sich für 62 der verunglückten 112 Reisebusse bestimmen. Bei 39 Unfallereignissen blieb der Bus auch nach dem Unfall weitgehend aufrecht, während er in fünf Fällen in geneigter Lage (20 Grad – 39 Grad zur Senkrechten) zum Stillstand kam und in 18 Fällen sogar komplett auf die Seite fiel. Zwölfmal davon war die Endlage auf der rechten Fahrzeugseite, so dass die Betriebstüren blockiert waren und der Ausstieg über Dachluken, die Front- oder die Heckscheibe erfolgen musste. Aus Abbildung 4 geht hervor, dass in Seitenlage vorrangig die Frontscheibe und die Dachluken genutzt wurden, um aus dem Bus zu gelangen bzw. damit die Rettungskräfte in das Fahrzeug kommen konnten. Die prinzipiell ebenfalls als Notausstiege nutzbare Heckscheibe oder die Seitenscheiben wurden hingegen deutlich seltener durchstiegen.

Package-Untersuchungen

Selbst bei aufrechter Position des Reisebusses ist die rasche Fortbewegung darin nach einem Unfall keineswegs selbstverständlich, für eine schnelle Evakuierung aber unerlässlich. Um das Durchschreiten des Mittelgangs zwischen den Sitzreihen konstruktiv sicherzustellen, sind in der Richtlinie ECE-R107 [1] Mindestquerschnitte festgeschrieben, die mit einem „Gangprüfkörper“ kontrolliert werden, welcher stark vereinfacht die Körpersilhouette eines erwachsenen Insassen widerspiegeln soll. In der Busindustrie haben sich auch numerische Simulationsmodelle (Software RAMSIS) etabliert, um Menschen unterschiedlicher Geschlechter, Altersgruppen und Körpergrößen mit ihrem Platzbedarf, aber auch mit den Artikulationsmöglichkeiten ihres Körpers und ihrer Extremitäten abzubilden (Abb. 5).

Gang-Prüfkörper spiegelt Insassengeometrie nur ungefähr wider

Abbildung 5 · **Gang-Prüfkörper nach ECE-R 107 [1] im Vergleich zum simulierten Fahrgast (RAMSIS)**



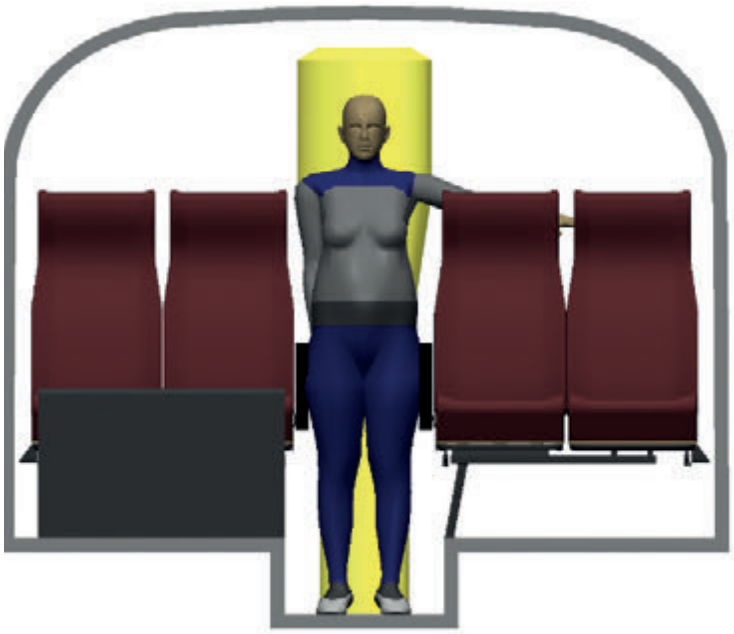
B: Schulterbreite
C: Hüftbreite
D: Brustbein bis Schädeldecke
E: Körperhöhe
F: Schritthöhe

Ein Vergleich der Hauptabmessungen dieser numerischen Repräsentanten mit dem Gang-Prüfkörper macht allerdings deutlich, dass letzterer zum Teil deutlich geringere Maße hat. Im „Bein"-Bereich ist der Gang-Prüfkörper nur 300 mm breit und damit deutlich schmaler selbst als der RAMSIS-Repräsentant einer 5 %-Frau mit 329 mm und erst recht eines 95 %-Mannes mit über 400 mm. Derzeit wird diese Möglichkeit bei der Bemessung der Gangbreite in Reisebussen meist nicht ausgeschöpft. Würden Gangbreiten streng nach den Mindestanforderungen der ECE-R107 ausgelegt, hätte dies zur Konsequenz, dass reale Fahrgäste sich im Gang nur mit gedrehter Hüfte fortbewegen könnten. Anklappbare Armlehnen an den Sitzen ragen in vertikaler Stellung zusätzlich in den Gangquerschnitt, insbesondere bei Reisebussen, deren Mittelgang gegenüber dem Fußboden vor den Sitzen abgesenkt ist (Abb. 6).

Für Reisebusse werden oft auch ausziehbare Sitze angeboten. Dann lassen sich die beiden zur Fahrzeugmitte hin gelegenen Sitze einer Sitzreihe um einige Zentimeter in Richtung des Mittelgangs verschieben, um während der Reise den Abstand zum äußeren Sitz zu vergrößern und so mehr Sitzkomfort zu schaffen. Gleichzeitig wird dadurch das Profil des Mittelgangs aber weiter eingeschränkt. Die Richtlinie gestattet dann eine noch verbleibende Gangbreite von 220 mm statt der ursprünglichen 300 mm. Nach einer Kollision ist nicht zu erwarten, dass diese Sitze beim Verlassen wieder in die Ausgangsstellung zurückgeschoben werden. Je nach Aufprallschwere ist es sogar wahrscheinlich, dass die Sitzführung deformiert ist und ein Zurückschieben unmöglich wird. Kommen mehrere dieser einengenden Einflüsse zusammen und müssen korpulente oder körperlich eingeschränkte Personen evakuiert werden, ist es offensichtlich, dass der rasche Fahrgastfluss durch den Gang behindert wird.

Eingeschränkte Gangbreite durch Sitz-Armlehnen

Abbildung 6 · Vergleich der Hüftbreite einer simulierten Frau (95. Perzentil) mit Gang-Prüfkörper



Evakuierungsversuche in Schräg- und Seitenlage

Muss die Evakuierung – über die zuvor beschriebenen Schwierigkeiten hinaus – bei teilweise oder komplett gekippter Endlage erfolgen, ergeben sich weitere Herausforderungen. Um diese zu identifizieren und im Rahmen der Möglichkeiten zu quantifizieren, wurden Probandenversuche mit einem Reisebus durchgeführt. An den Versuchen nahmen insgesamt 73 Personen mit einem durchschnittlichen Alter von 32,5 Jahren und in größtenteils guter körperlicher Konstitution teil, etwas mehr als die Hälfte von ihnen war männlich. Um die Verletzungsgefahr zu minimieren und Hygieneauflagen zu erfüllen, die insbesondere durch die COVID-19-Pandemie begründet waren, verboten sich Versuchsanordnungen, bei denen eine größere Anzahl von Teilnehmenden gleichzeitig im Bus anwesend war.

Evakuierungsversuche in Schräglage

Dazu wurde der Reisebus in eine um 30 Grad gekippte Lage gebracht und arretiert. Die 37 Probanden für diese Versuchsreihe bestiegen den Bus an der vorderen Tür einzeln über eine eigens angefertigte Treppe. Die Aufgabe bestand darin, den Mittelgang zu durchlaufen und an der hinteren Tür wieder zu verlassen. Nachdem sie die Mitte des Gangs erreicht hatten, wurden sie zudem aufgefordert, die am nächsten gelegene Ausstiegsmöglichkeit und danach alle weiteren Notausstiege zu identifizieren. Im Anschluss erhielt jeder Teilnehmende einen Fragebogen, mit dem die eigene körperliche Verfassung eingeschätzt, die Fortbewegung im Fahrzeug bewertet und Verbesserungsvorschläge benannt werden sollten. Die reinen Durchstiegszeiten, das heißt ohne Identifizierung der Notausstiege, verlängerten sich bei Schräglage deutlich gegenüber Referenzversuchen

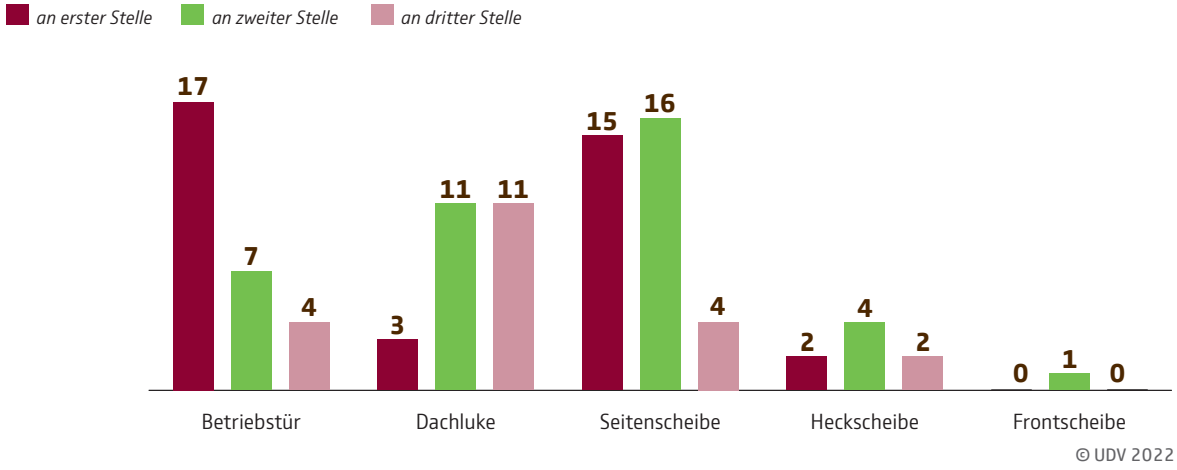


Abbildung 7 · Beispiel für Fortbewegung einer Probandin im gekippten Bus (30° Schräglage)

in aufrechter Lage. Durchschnittlich wurden gut 19 Sekunden benötigt, wobei sich diese Zeit mit höherem Alter und geringerer körperlicher Fitness tendenziell verlängerte. In der Regel mussten die Probanden sich mit den Händen an den Sitzlehnen abstützen und die Füße in der Ecke zwischen Gangboden und den anschließenden Flanken des Sitzpodests aufsetzen, um annähernd sicheren Halt zu finden. Letztere Möglichkeit bieten Busse mit ebenem Boden nicht. In diesem Fall müssten die Füße gezielt auf die Bodenverankerungen der Sitze gesetzt werden, was die Gefahr vergrößern würde, fehl zu treten oder abzurutschen. Die Gepäckablagen über den Sitzen wurden dabei von keinem Teilnehmenden zu Hilfe genommen. Entsprechend wünschten sich die Probanden unter anderem das Anbringen von Griffen an Sitzen und Gepäckanlagen sowie im Ausstiegsbereich, außerdem die Abrundung von Kanten an den Sitzen und die Verbreiterung des Ganges. Einige Personen beklagten außerdem eine gewisse Störung der räumlichen Wahrnehmung aufgrund des gekippten „Horizonts“ (Abb. 7). Bei Schräglage wurden fast immer die Seitenfenster als in Frage kommender Notausstieg identifiziert, vermutlich durch ihre klare Kennzeichnung und die offensichtliche Anbringung des Nothammers. Auch die Betriebstüren, wenngleich in Schräglage unter Umständen nicht zu öffnen, und die Dachluke wurden von vielen Probanden erkannt, die Heckscheibe hingegen nur von jedem fünften Teilnehmenden (Abb. 8).

Türen und Seitenscheiben sind präferierte Notausstiege bei Schräglage

Abbildung 8 · **Häufigkeit und Reihenfolge, mit denen verschiedene potenzielle Notausstiege bei 30° Schräglage von 37 Probanden identifiziert wurden**



Evakuierungsversuche in Seitenlage

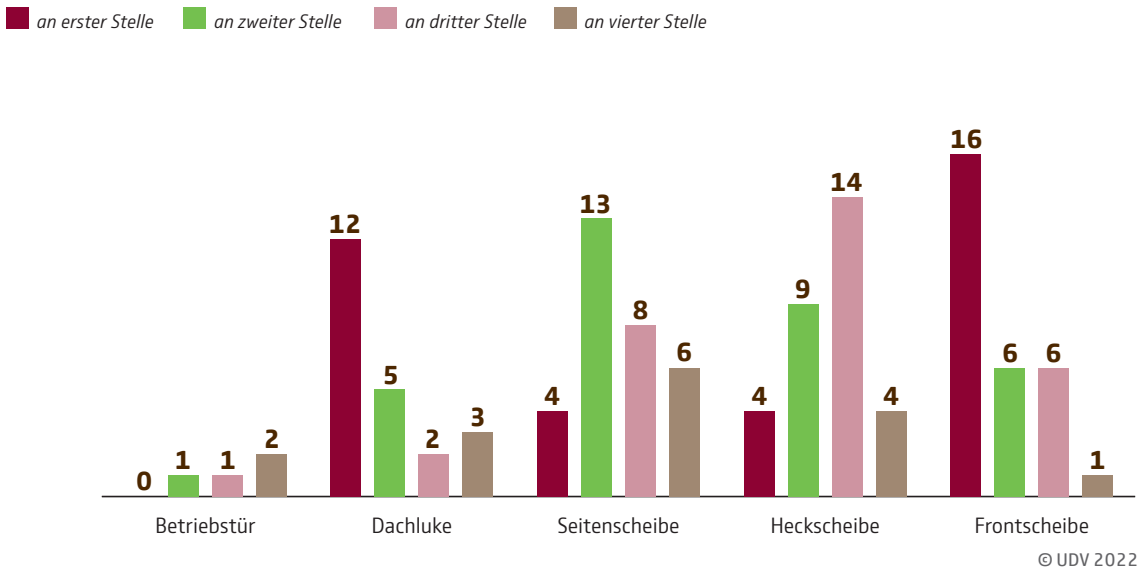
Der Reisebus lag für diese Versuche vollständig, das heißt um 90 Grad gekippt, auf der rechten Seite. Die Probanden gelangten über Leitern und Einstiegshilfen durch das Seitenfenster des Fahrersitzplatzes in den Innenraum und erhielten wiederum die Aufgabe, den Bus in Richtung auf das Fahrzeugheck zu durchschreiten. Von Interesse war unter anderem, ob die Probanden die Heckscheibe und die Dachluken als verfügbare Notausstiege identifizieren und bedienen würden. Bei diesem Busmodell ist es notwendig, die Lehne des mittleren Sitzes in der hintersten Sitzreihe vorzuklappen, um zur Heckscheibe zu gelangen, und die Dachluken über einen Klappgriff zu entriegeln und zur Seite zu schieben. An dieser Versuchsreihe nahmen 36 Personen teil. Gegenüber der leicht gekippten Position fiel den meisten Probanden der Durchstieg, der über den Bereich der Seitenfenster zwischen der Oberkante der Sitzlehnen und der Gepäckablage erfolgen musste, leichter. Es wurden Zeiten ähnlich denen beim Durchschreiten des Mittelgangs in aufrechter Position erreicht (Abb. 9).



Abbildung 9 · Fortbewegung eines Probanden im gekippten Bus (90° Seitenlage)

Bei Seitenlage sind Frontscheibe und Dachluke präferierte Notausstiege

Abbildung 10 · **Häufigkeit und Reihenfolge, mit denen verschiedene potenzielle Notausstiege bei 90° Seitenlage von 36 Probanden identifiziert wurden**



Dennoch wurden auch hier zusätzliche Griffe und größere Abstände zwischen Gepäckablage und Sitzlehnen als sinnvoll erachtet. Dass die Seitenscheiben ohne Gefahr betreten werden können, hätten sich einige der Teilnehmenden als Vorabinformation gewünscht. Inwieweit die Seitenscheiben aber der Last mehrerer Personen standhalten, konnte nicht ermittelt werden. Zu berücksichtigen ist auch, dass im Falle eines Unfalls mit Umstürzen eine Zerstörung oder zumindest Vorschädigung der Scheiben vorliegen kann.

Bei seitlicher Lage des Busses wurden Betriebstüren erwartungsgemäß nur von wenigen Probanden als potenzieller Notausstieg benannt. Stattdessen wurden die Frontscheibe – die allerdings aus Verbundglas besteht und sich auch unter Zuhilfenahme eines Nothammers nicht ohne weiteres von innen öffnen lässt – und die Dachluken als erste identifiziert. Danach folgten in der Reihenfolge die Seitenscheiben, welche sich allerdings in dieser Lage über den Köpfen befänden und schwer zu erreichen wären, und erst dann die Heckscheibe (Abb. 10).

Das Verlassen des Busses durch die Dachluke, am vorhandenen Bus in typischer Weise in Längsrichtung angeordnet, gestaltete sich für mehrere Teilnehmer sowohl wegen der dann geringen Durchstiegshöhe als auch wegen des anschließend zu überwindenden Höhenunterschieds zum Boden als schwierig (Abb. 11).



Abbildung 11 · Verschiedene Methoden der Probanden, bei gekipptem Bus (90° Seitenlage) die Dachluke zu durchklettern

Durchstiegsversuche durch Dachluke

Die Problematik, dass sich ein Reisebus in Seitenlage durch die Dachluken nur schwer verlassen lässt, wurde an einem eigens für das Projekt erstellten Versuchsträger vertiefend untersucht. Dazu wurde ein Busabschnitt mit den typischen Abmessungen eines Reisebusses und zwei kompletten Sitzreihen und originaler Bestuhlung konstruiert. Dieser ließ sich mittels eines Hallenkrans in beliebige gekippte Position bringen. Für die weitere Untersuchung des Einflusses der Dachlukengeometrie auf die Evakuierung wurde wiederum die komplette Seitenlage gewählt, die Dachluke selbst vereinfacht als rechteckige Öffnung mit den Maßen von 800 x 600 mm, entsprechend den Vorgaben der ECE-R107 [1], dargestellt. In weiteren Probandenversuchen wurde deren Verhalten beim Durchsteigen und die dafür benötigte Zeit analysiert. Verglichen wurden zwei Lukenöffnungen gleicher Kantenlängen. In Fahrzeuglängsrichtung ausgerichtete Luken sind bei Reisebussen der Standard. Verglichen wurde diese mit einer quer eingebauten, also um 90 Grad gedrehten Luke. Zu Beginn des Versuchs hatte sich der jeweilige Versuchsteilnehmende im „Innenraum“ des gekippten Busabschnitts vor die Luke zu stellen und diese auf Zuruf möglichst schnell zu durchsteigen, wobei ihm die Strategie freigestellt war. Nach Durchsteigen erhielt der Teilnehmende wiederum einen Fragebogen und wurde mittels Frontalfoto grob vermessen, wobei insbesondere die Körpergröße und die Beinlänge von Interesse waren. Die Probanden wurden in zwei Gruppen zu je 37 Personen eingeteilt. Die Teilnehmer der ersten Gruppe hatten eine in Fahrzeuglängsrichtung angeordnete Luke zu durchsteigen, die der zweiten Gruppe eine in Querrichtung angeordnete. Die Durchstiegszeit korrelierte dabei mit dem Alter und dem Gewicht der Probanden, nicht jedoch mit ihrer Körpergröße. Die in Fahrzeugquerrichtung ausgerichtete Luke – die sich bei gekipptem Fahrzeug hochkant darstellte und eine niedrigere Kante aufwies – wurde im Durchschnitt um etwa 0,5 Sekunden schneller gemeistert als die in Längsrichtung angeordnete, die nunmehr eine reduzierte Durchstiegshöhe, aber größeren Abstand zum Boden präsentierte. Entsprechend beurteilten die Probanden letztere als unbequemer und anstrengender zu durchsteigen (Abb. 12).

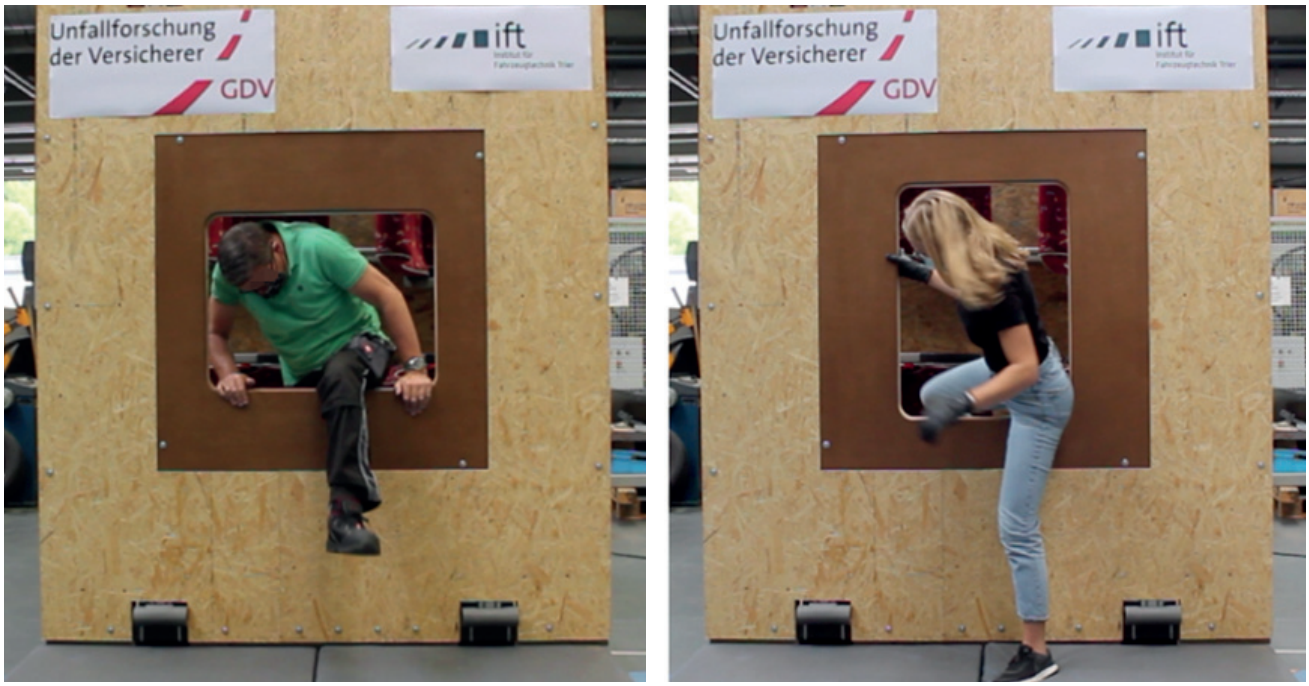


Abbildung 12 · Durchstieg durch in Längs- und in Querrichtung angeordnete Dachluke

Während die ermittelten Zeitdifferenzen im Laborversuch gering erscheinen mögen, können sie sich bei erforderlicher Evakuierung von mehreren Dutzend Fahrgästen bei umgestürztem Reisebus schon rechnerisch bis zu einer halben Minute aufsummieren und deutlich verlängern, wenn – anders als die großenteils jungen Teilnehmer bei den Versuchen – ältere oder weniger bewegliche Passagiere die Luke durchklettern müssen. In der Realität kommt bei umgestürzten Reisebussen neben der Fahrbahn hinzu, dass diese im unbefestigten Gelände meist nicht voll aufliegen und die Dachkante dann einen zusätzlichen Abstand zum Boden hat. Hat der Fahrgast die Luke durchstiegen, muss er auf der Außenseite eine noch größere Höhe überwinden, was weiteres Verletzungspotenzial birgt. Weiter ist festzustellen, dass sich bei modernen Reisebussen die Dachluken oftmals nicht mehr von Hand entriegeln und wegschieben lassen, sondern als fest gerahmtes Dachfenster aus Glas ausgeführt sind und mit einem Nothammer eingeschlagen werden müssen. Sowohl die dabei entstehenden Glaspartikel als auch die am Lukenrand verbleibenden Scheibenreste bergen unnötige weitere Verletzungsgefahren.

Gurtlöseversuche in Schräglage

Sind die Fahrgäste angegurtet, wozu in Reise- und Überlandbussen seit 2006 die Pflicht besteht, wenn der Sitzplatz eingenommen ist, und der Bus befindet sich nach dem Unfall in einer Schräglage oder ist umgestürzt, müssen sich die Insassen eigenständig aus dem Sicherheitsgurt befreien können. Um sich diesem Aspekt wissenschaftlich zu nähern, wurden weitere Probandenversuche unter Verwendung des obenstehend beschriebenen Busabschnitts mit Bestuhlung durchgeführt. Dabei wurde vergleichend untersucht, wie sich die in Reisebussen meist vorzufindenden Zweipunkt-Gurte mit automatischer Aufrolleinrichtung gegenüber Dreipunkt-Automatikgurten lösen lassen, wenn sich der Bus in einer Schräglage befindet. Dreipunkt-Gurte sind für Insassen von Pkw und anderen Nutzfahrzeugen seit Jahrzehnten etabliert und werden auch für einige Reisebusmodelle optional angeboten. Der obere Verankerungspunkt, an dem der Schultergurt umgelenkt wird, ist dann in die Sitzlehne integriert. Als dritte Gurtvariante wurde auch das von Passagiersitzen in Flugzeugen her bekannte Gurtsystem



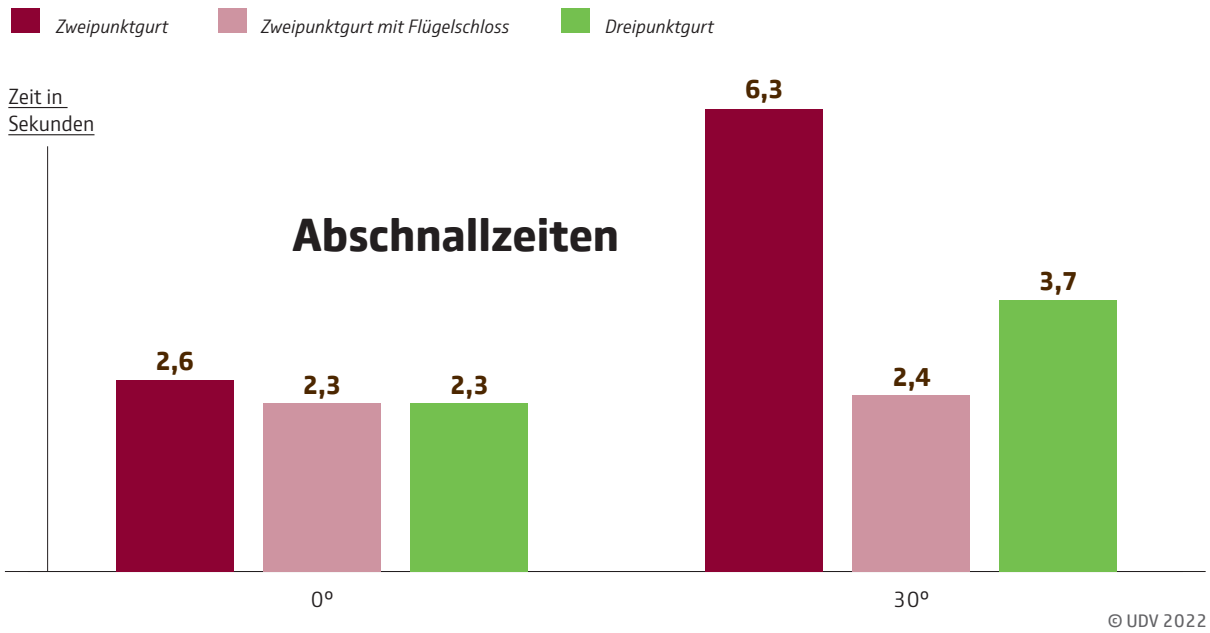
Abbildung 13 · Bedienung der verschiedenen Gurtsysteme bei 30° Schräglage (oben links: Zweipunktgurt, oben rechts: Zweipunktgurt mit Flügelschnalle; unten: Dreipunktgurt)

eines Zweipunkt-Statikgurtes, also ohne Aufrolleinrichtung, mit einer Flügelschnalle in die Versuchsreihe einbezogen. Im Gegensatz zu den im Automobilbereich verwendeten Drucktastenschlössern wird der angelegte Gurt hier durch Aufklappen der Schnalle gelöst.

Für die Versuche waren die 38 Teilnehmenden aufgefordert, auf einem der beiden innen gelegenen Sitze Platz zu nehmen, den Sicherheitsgurt anzulegen, straff zu ziehen, anschließend wieder abzulegen und dann hinsichtlich der Bedienung beim Lösen des Gurtschlosses zu bewerten. Das Gurtschloss befand sich für die Zweipunkt- und Dreipunkt-Automatikgurte aus dem Automobilbereich immer an der dem Mittelgang zugewandten Seite des Sitzes. Die Versuche wurden nacheinander für alle drei Gurtsysteme durchgeführt, zunächst mit einer Teilgruppe in aufrechter Position des Busabschnitts und dann mit der zweiten Teilgruppe in 30-Grad-Schräglage. Den Teilnehmenden wurde der Sitzplatz unmittelbar rechts des Mittelgangs zugewiesen. In Schräglage nach links hatte dies für die Probanden zur Folge, dass sie mit der Hüfte in Richtung des Mittelgangs und damit über das Drucktastengurtschloss rutschten, was das Öffnen des Gurtschlosses erschwerte. In der Regel erforderte dies, das eigene Körpergewicht mit einem Arm gegen einen benachbarten Sitz abzustützen, um das links befindliche Schloss zu entlasten und mit der freien Hand betätigen zu können. Beim Dreipunktgurt fiel das leichter als beim Zweipunkt-Automatikgurt, weil die rechte Hand bei Bedarf auch etwas Halt am Schultergurt fand. Am schnellsten ließ sich in Schräglage der Zweipunkt-Statikgurt über die mittig angebrachte Flügelschnalle öffnen (Abb. 13).

Herkömmliche Zweipunkt-Gurte nach Busunfall schwieriger zu lösen

Abbildung 14 · Durchschnittliche Zeiten zum Lösen unterschiedlicher Gurtsysteme bei aufrechter Position (0°) des Busses und in 30° Schräglage



Ergänzend wurde für Dreipunkt-Automatikgurte auch das Öffnen des Drucktastenschlosses untersucht, wenn sich die Probanden auf dem gegenüberliegenden Sitzplatz links vom Gang befanden. Durch die Schwerkraft rutschte die Hüfte in Richtung des Nachbarsitzes, also vom Mittelgang weg, während der Oberkörper durch den Schultergurt gehalten wurde, wodurch das rechtsseitig befindliche Gurtschloss leichter zugänglich war. Dementsprechend benötigten Personen auf dem Sitzplatz links vom Gang weniger Zeit, um sich in Schräglage aus dem Dreipunktgurt zu befreien (Abb. 14).

Würde der Bus nach rechts kippen, würden sich die Voraussetzungen zum Lösen der Gurtsysteme entsprechend der jeweiligen Sitzposition und der Lage des Gurtschlosses umkehren. Lediglich für die Bedienbarkeit des Zweipunkt-Statikgurtes mit mittiger Flügelschnalle hätte dies keinen Einfluss.

Bei diesen Betrachtungen darf allerdings nicht in den Hintergrund geraten, dass die wesentliche Aufgabe des Sicherheitsgurtes die sichere Rückhaltung des Fahrgastes bei einer Kollision ist, bei Bussen gerade auch im Falle eines Umkippens oder Überschlags. Den Statikgurten aus der Luftfahrt sind dabei – selbst ungeachtet ihrer unklaren Zertifizierungsfähigkeit für den Automobilbereich – Zweipunktgurte mit Aufrollautomatik vorzuziehen. Zweipunkt-Automatikgurte wiederum werden nicht nur beim Insassenschutz durch Dreipunkt-Automatikgurte übertroffen, letztere wurden darüber hinaus von den Teilnehmenden auch hinsichtlich des Trage- und Bedienkomforts besser beurteilt.

Verbesserung der Evakuierungsmöglichkeiten

Die vorangegangenen Probandenversuche hatten gezeigt, dass Fahrgäste keineswegs immer den nächstgelegenen und geeigneten Notausstieg zuerst erkennen, wenn sie vor die Aufgabe gestellt sind, einen Reisebus auf schnellstmöglichem Weg zu verlassen. Um aufzuzeigen, mit welchen Maßnahmen sich dieses Problem möglicherweise adressieren ließe, wurde ein Lichtleitsystem entworfen und prototypisch umgesetzt. Dazu wurde ein Reisebus mit einem doppelten Lauflicht an den Gepäckablagen – somit auf Augenhöhe eines ste-

henden Passagiers – versehen. Ein vorab als geeigneter Notausstieg festgelegtes Seitenfenster wurde zusätzlich mit einer blinkenden Beleuchtung ausgestattet. Elf Probanden, die eine Eye-Tracking-Brille zum Zwecke der Verfolgung ihrer Blickbewegung trugen, wurden einzeln zunächst auf einem Sitz im vorderen Bereich des Busses platziert. Sie wurden dann überraschend durch Erläuterung mit einem fiktiven Unfallereignis konfrontiert und aufgefordert, den nächstgelegenen Notausstieg zu benennen. Dazu wurde die Lauflichtschaltung aktiviert und so angesteuert, dass sie eine Bewegungsrichtung nach hinten anzeigte. Zudem wurde der zuvor definierte Notausstieg durch Blinken gekennzeichnet. Im Ergebnis lenkten alle Probanden ihren Blick nach hinten und benannten die identifizierten Notausstiege korrekt.

Die Analyse des Unfallgeschehens und die Versuche hatten ergeben, dass reguläre Betriebstüren bei einem Unfall versperrt oder verklemmt sein können. Seitenfenster und Dachluken sind als Notausstiege nur bedingt geeignet oder werden von Passagieren nicht als solche erkannt. Daher sollten zukünftige Entwicklungen zur Verbesserung der Evakuierungsmöglichkeiten das Heck und die Front eines Reisebusses verstärkt in Betracht ziehen.

Zwar ist die Heckscheibe bei vielen Reisebussen bereits als Notausstieg vorgesehen, ihre Nutzung wird in der Praxis jedoch oftmals unnötig eingeschränkt. Da Busreisen auch für Aktivurlauber attraktiv sein sollen, werden Reisebusse häufig mit zusätzlichen Transportboxen am Heck versehen, sei es um Skiausrüstung unterzubringen oder um Fahrräder zu transportieren. Dabei ist immer wieder zu beobachten, dass derlei Anbauten die Heckscheibe teilweise oder komplett überdecken und so den Notausstieg versperren. Neben der Bus- und Zubehörindustrie hat auch der Busbetreiber sicherzustellen, dass solche Einschränkungen im Betrieb ausgeschlossen sind.

Wie die Versuche und Befragungen der Probanden vermuten lassen, wird von Fahrgästen auch die Frontscheibe als geeigneter Notausstieg angesehen, vermutlich nicht zuletzt aufgrund ihrer Größe und weil sie sich für Passagiere während der Fahrt ständig im Blickfeld befindet. Derzeit ist sie aber durch Personen innerhalb des Busses nicht als Notausstieg nutzbar, weil sie aus Verbund-Sicherheitsglas gefertigt und in der Regel mit den Scheibenrahmen verklebt ist, um der Buskonstruktion eine höhere Strukturfestigkeit zu verleihen. Zukünftig sollten daher Konzepte verfolgt werden, die Frontscheibe im Evakuierungsfall auch aus dem Innenraum heraus öffnen zu können, beispielsweise indem eingelegte pyrotechnische Ladungen aktiviert werden, welche die Scheibe vom Rahmen trennen: Eine Technologie, die prinzipiell auch im Sonderschutz-Fahrzeugbau angewendet wird [2]. Damit würde einerseits eine sehr große Öffnung geschaffen, andererseits selbst bei aufrecht stehendem Bus die beim Ausstieg zu überwindende Höhe über dem Boden vergleichsweise gering sein. Wenn alternative Antriebe auf Basis von gespeicherter elektrischer Energie, Gas oder Wasserstoff vermehrt Einzug auch bei Reisebussen halten, wird die Dachfläche durch Energiespeicher oder Steuerungs- und Leistungselektronik belegt sein und kaum noch Platz für Dachluken ausreichender Dimensionierung bieten. Spätestens dann drängen sich die Heck- und die Frontscheibe als Ort für Notausstiege förmlich auf.

Schlussfolgerungen und Forderungen

Während in den vergangenen Jahren bei Reisebussen erhebliche Anstrengungen zur Unfallvermeidung durch die verbindliche Einführung von Fahrerassistenzsystemen zu verzeichnen waren, hinken die Bemühungen um eine Verbesserung der Evakuierung nach einem Unfall, also auf dem Gebiet des „post-crash rescue“, noch hinterher. Dabei kann eine schnelle Evakuierung der Fahrgäste auch notwendig werden, wenn es ohne vorangegangene Kollision zu einem Fahrzeugbrand kommt. Gerade im Brandfall ist es entscheidend, das Fahrzeug so schnell wie möglich verlassen zu können. Hilfreich für die Auslegung von Notausstiegen, zum Beispiel ihre Anzahl und Querschnittsfläche, wären daher auch Richtlinien in Anlehnung an die Luftfahrtindustrie mit Vorgaben für die Zeit pro Passagier oder die Dauer der kompletten Evakuierung.

Um Türen oder Notausgänge schnell zu erreichen, ist eine ungehinderte Fortbewegung im Bus Voraussetzung. Dies muss auch für korpulente oder ältere Menschen möglich sein, weshalb eine ausreichende Gangbreite unabdingbar ist. Die Normen müssen dies mit

realistischeren Vorgaben berücksichtigen. In den Gang ragende Teile der Bestuhlung, wie die Armlehnen oder seitlich verschiebbare Sitze, müssen sich leicht wieder in eine Lage bringen lassen, die das Durchschreiten des Mittelganges nicht behindert.

Bei etwa jedem dritten schweren Reisebusunfall kippt das Fahrzeug ganz oder gerät in Schräglage. Für diesen Fall sind für das Durchschreiten idealerweise Flächen am Rand des Mittelgangs vorzusehen, die das Aufsetzen der Füße ermöglichen, und Griffe an den Sitzlehnen, an denen Passagiere Halt finden. Befindet sich der Bus in Schräglage oder ist er nach rechts umgestürzt, sind die regulären Betriebstüren nicht mehr nutzbar. Die als Notausstiege vorgesehenen Dachluken sind bei Seitenlage in der Regel ungünstig angeordnet, um sie schnell und sicher zu durchsteigen. Bei modernen Bussen muss deren Verglasung mitunter erst eingeschlagen werden, was zusätzliche Zeit erfordert und unnötige Verletzungsgefahren durch Glasfragmente birgt. Dachluken müssen daher zukünftig quer zur Fahrtrichtung ausgerichtet sein und gefahrlos ohne weitere Hilfsmittel zu öffnen sein. Wenn Seitenscheiben oder das Heckfenster als weitere Notausstiege vorgesehen sind, sollte neben deren eindeutiger Kennzeichnung und einfachen Anleitungen, wie diese zu öffnen sind, auch die Entwicklung weiterer optischer Hilfen wie Lichtleisten vorangetrieben werden, um die Fahrgäste im Evakuierungsfall zum geeigneten Notausstieg zu lenken. Bisher war die Frontscheibe nicht durch Personen im Innern des Busses zu öffnen. Sie fände aber als potenzieller Notausstieg gute Akzeptanz und böte einen konkurrenzlos großen Querschnitt, um den Bus schnell und vergleichsweise sicher verlassen zu können. Daher muss bei Neuentwicklungen von Reisebussen auch diese Möglichkeit für einen Notausstieg berücksichtigt werden.

Reisebusse müssen mit Sicherheitsgurten auf allen Sitzplätzen ausgestattet sein. Die Bereitschaft, diese auch anzulegen, lässt bei vielen Fahrgästen noch zu wünschen übrig, ist aber Voraussetzung dafür, bei schweren Kollisionen und insbesondere beim Umstürzen oder bei einem Überschlag auf dem Sitzplatz gesichert zu bleiben. Abgesehen von dieser Schutzwirkung sollten sich Gurte nach Stillstand des Busses möglichst problemlos durch den Passagier ablegen lassen. In schräger oder seitlicher Endlage ist es dem Insassen bei einem Zweipunkt-Automatikgurt, wie er standardmäßig für Passagiersitze installiert wird, aber unter Umständen unmöglich, das Gurtschloss zu betätigen. Dreipunkt-Automatikgurte sind diesen nicht nur hinsichtlich der effektiven Insassenrückhaltung während des eigentlichen Unfalls überlegen, sondern erleichtern auch das Erreichen des Gurtschlosses zur Selbstrettung. Darüber hinaus zeigten Befragungen, dass die Nutzer sie auch unter Komfortgründen dem Zweipunkt-Automatikgurt vorzögen. Reisebusse für den nordamerikanischen Markt werden optional auch mit Dreipunktgurten angeboten [3], [4]. Bushersteller und -betreiber sollten daher auch auf dem europäischen Markt die Mehrkosten für Dreipunktgurte im Sinne einer Verbesserung der Sicherheit für ihre Fahrgäste nicht scheuen.

Literatur

[1] Europäische Kommission; Regelung Nr. 107 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE) — Einheitliche Bestimmungen für die Genehmigung von Fahrzeugen der Klassen M2 oder M3 hinsichtlich ihrer allgemeinen Konstruktionsmerkmale [2015/922]

[2] https://www.auto-motor-und-sport.de/neuheiten/gepanzerter-audi-a8-l-russland-2020/

[3] https://www.omnibusrevue.de/nachrichten/technik/zwei-neue-van-hool-reisebusse-fuer-den-amerikanischen-markt-2564929

[4] https://www.mercedes-benz-bus.com/en_US/models/tourrider-premium-business/comfort-and-design.html

GDV
DIE DEUTSCHEN VERSICHERER

Wilhelmstraße 43 / 43G
10117 Berlin
Tel.: 030 / 20 20 – 58 21
Fax: 030 / 20 20 – 66 33

unfallforschung@gdv.de
www.udv.de
www.gdv.de

facebook.com/unfallforschung
Twitter: @unfallforschung
www.youtube.com/unfallforschung