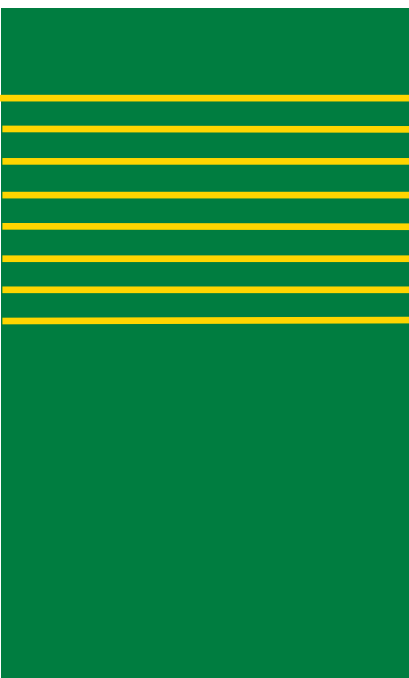


Sicherheit im Brandfall

Optimierung des Notausstiegsystems von Reisebussen

Analyse des aktuellen Stands



Juni 2020

Inhalt

Inhalt	2
Autoren	3
Kurzfassung - Abstract	4
Einleitung	5
Busbrandgeschehen	5
Internationale Statistiken	5
Erkenntnisse aus Zeitungsberichten	6
Untersuchungen zu Busbrand-Einzelereignissen	9
Brände ohne vorherigen Unfall	9
Unfallfolgebrände	10
Analyse der DEKRA Brandgutachten	12
Statistische Auswertung	12
Analyse der Fälle mit Auslösung einer BMA oder LA und Potenzialabschätzung	15
Evakuierungskonzepte	16
Definition von Notausstiegen	16
Türen als Notausstieg	17
Fenster als Notausstieg	18
Luken im Dach als Notausstieg	22
Notbeleuchtung	23
Gewonnene Erkenntnisse	24
Zusammenfassung	25
Summary	26
Literaturverzeichnis	27

Autoren

Markus Egelhaaf

Marvin Sohn

DEKRA Automobil GmbH

Unfallforschung

Marcus Constantin

Harald Eder

DEKRA Automobil GmbH

Sondergutachten

DEKRA Automobil GmbH

Handwerkstraße 15

70565 Stuttgart

unfallforschung@dekra.com

Kurzfassung - Abstract

Deutsch

Studien aus den USA und Europa deuten darauf hin, dass in den jeweils untersuchten Ländern zwischen einem und zwei Prozent aller registrierten Busse pro Jahr von einem Brandereignis betroffen sind. Trotz dieses hohen Anteils führen Busbrände nur sehr selten zu Personenschäden. Wenige Einzelereignisse, häufig Unfallfolgebrände, stechen aber mit hohen Getöteten- und Verletztanzahlen hervor. Durch die Weiterentwicklung des Zulassungsrechts wird das Sicherheitsniveau in den Bereichen Brandschutz, Branddetektion und -bekämpfung sowie Fahrzeugevakuierung stetig erhöht. Mit einer Analyse von 125 internationalen Zeitungsberichten zu Busbrandereignissen sowie einer Auswertung von 307 DEKRA Schadengutachten der Jahre 2011 bis 2019 sowie zahlreichen aktuellen Gutachten zur Brandursachenermittlung wurde die aktuelle Situation erfasst. Neben der Darstellung der aktuellen Rechtslage in der EU werden Verbesserungsansätze aufgezeigt und auf Basis der aus der Fallanalyse gewonnenen Erkenntnisse auf ihre Effektivität, aber auch entstehenden Risiken hin untersucht. Die resultierenden Ansätze zur weiteren Erhöhung der Sicherheit von Buspassagieren im Hinblick auf Brandvermeidung und Optimierung der Fahrzeugevakuierung im Brandfall werden aufgezeigt.

English

According to studies from the US and Europe, about one to two percent of all busses registered in the analyzed countries are involved in a fire incident each year. Nevertheless, the numbers of people injured during these events is exceedingly small. Single incidents, often post-collision fires, stand out with large numbers of killed and severely injured people. Thanks to regular advancements of the registration regulations, the bus-safety is increased in the fields of fire prevention, fire detection and suppression as well as in vehicle evacuation. Within this study, the current situation was analyzed on the basis of 125 international newspaper reports, 307 DEKRA damage reports from the period of 2011 to 2019 and several DEKRA bus fire investigation reports. Besides an overview of the current EU legal situation, approaches for improvement are presented. Their expected efficiency, but also risks resulting from an implementation, are discussed against the background of the findings from the case-analysis. The resulting basic approaches to further increase the safety of bus passengers with regard to fire prevention and optimization of vehicle evacuation in the event of a fire are shown.

Einleitung

Der Sicherheit von Reisebusinsassen wird seitens der Europäischen Union und der UNECE schon lange eine besondere Bedeutung zugemessen. Richtlinien und Regelungen wie insbesondere die UN-Regelungen 107 und 118 unterliegen einer stetigen Weiterentwicklung [1][2]. Auch auf nationaler Ebene wird diese Thematik schon lange untersucht. Nach einer Serie von Reisebusunfällen Anfang der neunzehnhundertneunziger Jahre beauftragte das Verkehrsministerium die Bundesanstalt für Straßenwesen, ein Expertengespräch durchzuführen und eine Projektgruppe einzurichten mit dem Ziel, Schwachstellen im Sicherheitssystem des Reisebusverkehrs aufzudecken, Verbesserungsvorschläge zu erarbeiten und Forschungsbedarf zu identifizieren. Die Ergebnisse dieser Aktivitäten wurden im Heft M 40 der BASt veröffentlicht. Aus dem Maßnahmenpaket, das die Projektgruppe zusammengestellt hat, wurde u. a. Forschungsbedarf zur Verbesserung des Brandverhaltens der Innenausstattung und des Notausstiegsystems bei Reisebussen vorgeschlagen [3]. In der Konsequenz beauftragte die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) 2002 zwei umfangreiche Forschungsprojekte zur Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegsystems bei Reisebussen [4] und zum Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen [5]. Aufbauend auf den Erkenntnissen und Forderungen aus [5] sowie den zwischenzeitlich realisierten Änderungen bei den europäischen Richtlinien und Regelungen veröffentlichte die BASt 2014 ein weiteres von der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin bearbeitetes Forschungsprojekt [6]. Im gleichen Zeitraum betrieb das schwedische Research Institutes of Sweden (RISE), zuvor SP, umfangreiche Forschung im Bereich Busbrand mit dem Fokus auf der Entwicklung eines Prüfverfahrens für automatische Löschanlagen in Motorräumen von Bussen und den verpflichtenden Einbau derart geprüfter Systeme, z. B. [13]. Der verpflichtende Einbau von Löschanlagen hat mittlerweile Eingang in die UN-Regelung 107 gefunden. Im Bereich Notausstiege und Evakuierung fanden zahlreiche der in [4] aufgestellten Forderungen Eingang in die relevanten Richtlinien und Regelungen.

Nahezu 20 Jahre nach Start der Studie zu Notausstiegen soll ein Überblick der aktuellen Situation gegeben werden. Basis hierfür sind eine umfangreiche Literaturrecherche sowie eine Analyse zahlreicher Brandfälle. Der Fokus liegt auf der Evakuierung von Reisebussen im Falle eines Brandereignisses.

Busbrandgeschehen

Internationale Statistiken

Aussagekräftige Statistiken zur Zahl der in Brandereignisse verwickelten Busse sind kaum verfügbar. In Deutschland erfolgt keine bundesweite amtliche Erfassung. Da es sich nicht um Verkehrsunfälle handelt, sind derartige Ereignisse nicht in der amtlichen Verkehrsunfallstatistik enthalten. Durch die kommunale Verantwortung für die Feuerwehren gibt es auch hier keine einheitliche Erfassung. Lediglich seitens der Versicherungswirtschaft gibt es Zahlen, die allerdings nur Daten zu in Deutschland versicherten Fahrzeugen enthalten. In einer Hochrechnung gehen Hofmann et. al. davon

aus, dass 0,5 % bis zu 1 % aller in Deutschland zugelassenen Busse pro Jahr in ein Brandereignis involviert sind [6].

Für die USA werden Zahlen von der National Fire Protection Association (NFPA), der zugehörigen Fire Protection Research Foundation sowie dem größten US-Versicherungsunternehmen für Busse, der Lancer Insurance Company veröffentlicht. Auch hier ergibt sich das Problem, dass keine der genannten Institutionen Zugriff auf alle Busbrandereignisse hat. In einer Untersuchung der NFPA für die Jahre 2006 bis 2010 wurden insgesamt 2.100 Brände gezählt [7]. Bei der Lancer Versicherung machen Busbrände rund 1 % aller Schadenfälle aus. Eine interne Hochrechnung ergab, dass bis zu 2 % aller in den USA zugelassenen Busse pro Jahr in ein Brandereignis involviert sind (Vortrag zu [8]).

Das SP Technical Research Institute of Sweden errechnete in einem 2015 erschienenen Bericht, dass mindestens 0,76 % aller in Schweden zugelassenen Busse pro Jahr in ein Schadenereignis mit Brand oder Rauch verwickelt sind [9].

Eine Studie der norwegischen Straßenverkehrsbehörde Statens vegvesen für die Jahre 2016 bis 2018 ergab, dass zwischen 1 % und 1,4 % aller zugelassenen Busse pro Jahr in ein Brandereignis involviert sind [10].

In einer gemeinsamen Schwedisch-Norwegischen Studie wurde Busbrände für die Jahre 2000 bis 2004 analysiert. Der Anteil in ein Brandereignis involvierter Fahrzeuge lag für Norwegen bei mindestens 0,96 %, für Schweden bei mindestens 1,42 % [11].

In einer Studie zu Busbränden im United Kingdom für die Jahre 1964 bis 2013 kommen die Autoren auf einen Anteil von zuletzt etwa 0,3 %, wobei keine Dunkelziffer betrachtet wird [12].

Wurden die Ursachen der Brände mit analysiert, ist eine Brandentstehung im Motorraum in allen Ländern am häufigsten. Interessant ist, dass eine Brandentstehung im Bereich Rad/Reifen/Bremse z. B. in den USA mit bis zu 20 % angegeben wird, während dieser Bereich in anderen Ländern deutlich seltener in Erscheinung tritt. Hier spielen die Häufigkeit und Qualität von Wartung und Inspektion eine wesentliche Rolle.

Personenschäden treten in allen Studien nur sehr selten auf. Extrem seltene Einzelereignisse stechen hier hervor.

Erkenntnisse aus Zeitungsberichten

Zur Schaffung eines Überblicks und zur Ergänzung der Fälle aus der DEKRA Fachdatenbank Schadengutachten sowie der Busunfalldatenbank der DEKRA Unfallforschung wurden 125 stichprobenartig gesammelte internationale Zeitungsmeldungen zu Busbrandereignissen analysiert. Die Fälle ereigneten sich in den Jahren 2010 bis 2020, Tabelle 1. Die Verteilung auf die unterschiedlichen Bustypen ist in Tabelle 2 dargestellt.“

Land	Anzahl
Deutschland	77
USA	21
Vereinigtes Königreich	8
Schweiz	4
Niederlande	4
Österreich	3
Spanien	2
Kanada	2
Italien	2
Dänemark	1
Schweden	1

Tabelle 1 Analytierte Busbrände nach Land

Die US-amerikanischen Schulbusse wurden mit aufgenommen, da diese als eigenständige Konstruktionen gerade im Bereich der Evakuierung einige Besonderheiten aufweisen. Bei den beiden Linienbussen mit alternativem Antrieb bzw. alternativem Kraftstoff handelte es sich um einen dieselelektrischen Bus und einen mit LPG angetriebenen Flughafenbus. Sonstige bezeichnet einen Transportbus der deutschen Bundeswehr.

Die Uhrzeiten der Brandausbrüche weisen keine unerwartete Verteilung auf. Die Brandentstehungsbereiche sind in Tabelle 3 dargestellt. Allerdings gilt hier die Einschränkung, dass die Aussagekraft von Pressemeldungen an dieser Stelle wenig belastbar ist.

Brandursprung	Anzahl
Motorraum	76
Treibstofftank /-system	2
Achsen, Radlager	9
Elektrisches System	4
Standheizung	1
Unfallfolgebrand	4
Unbekannt	29

Tabelle 3 Bereich der Brandentstehung

Gerade im Bereich Achse, Bremse und Rad sowie beim elektrischen System gibt es in den unterschiedlichen Ländern große Differenzen. In den USA liegt der Anteil der hier entstandenen Brände bei 25 %, in Deutschland bei unter 8 %.

Die meisten der Brände ereigneten sich während der Fahrt, wobei auch hier Einschränkungen gelten. Wenig spektakuläre Brände abgestellter Busse finden eher selten Eingang in die Medien, Tabelle 4. Tabelle 5 zeigt die Ortslage bei Brandentstehung. Durch die Einbeziehung des Linienverkehrs ist der Anteil der Brände im innerörtlichen Bereich recht hoch.

Bustyp	Anzahl
Linienbus	55
Reisebus	53
Schulbus (USA)	14
Linienbus mit alternativem Antrieb	2
Sonstige	1

Tabelle 2 Bustypen der analysierten Zeitungsberichte

Fahrzeugzustand	Anzahl
Fahrend	106
Stehend, Motor an	16
Stehend, Motor aus	2
Unbekannt	1

Tabelle 4 Fahrzeugzustand bei Brandentstehung

Ortslage	Anzahl
Innerorts	54
Außerorts	30
Autobahn/Highway	40
Unbekannt	1

Tabelle 5 Ortslage bei Brandentstehung

Entsprechend dem Betriebszustand waren die meisten Busse besetzt. In den Pressemeldungen sind aber nur selten genaue Angaben zur Passagierzahl enthalten. Daher erfolgte an dieser Stelle keine weitere Analyse.

Bei 24 der analysierten Brände kam es zu Verletzten. Hierbei wurde zwischen leichten Verletzungen (medizinische Behandlung ohne stationäre Aufnahme in ein Krankenhaus), schweren Verletzungen (stationäre Aufnahme in ein Krankenhaus) und getöteten Fahrgästen unterschieden. Verletzungen, die in Folge von Löschversuche, Wiederbesteigen des verrauchten Busses zur Entnahme von Gepäck oder auf Seiten der Rettungskräfte entstanden, wurden nicht mitgezählt, wodurch sich die Zahl auf 15 Fälle reduziert. Jede Zeile in Tabelle 6 steht für einen Fall.

Fall	Leicht verletzt	Schwer verletzt	Getötet	Fahrgäste im Bus
1	0	3	0	38
2	1	0	0	7
3	69	0	0	70
4	4	0	0	43
5	7	0	0	67
6	0	4	1	6
7	0	21	1	unbekannt
8	1	0	0	46
9	5	10	0	56
10	0	0	2	2
11	0	0	18	48
12	5	0	0	mind. 16
13	0	10	16	mind. 55
14	2	0	0	54
15	10	0	0	50

Tabelle 6 Anzahl und Verteilung der Schwere der bei Brandereignissen mit Personenschaden Verunglückten

Bei den leichten Verletzungen handelt es sich zumeist um Rauchgasintoxikationen sowie Prellungen und Schnittverletzungen.

Bei allen Bränden, bei denen Todesopfer zu beklagen waren, handelt es sich um Unfallfolgebrände. Auch bei den Unfällen mit Schwerverletzten waren Unfallfolgebrände die häufigste Ursache.

Untersuchungen zu Busbrand-Einzelereignissen

Insbesondere nach schweren Brandereignissen mit Personenschaden werden durch staatliche Institutionen oder im Auftrag von Staatsanwaltschaften oder Gerichten Rekonstruktionen der Schadenereignisse erstellt. Nachfolgend sind einige dieser Berichte aufgelistet und die relevanten Erkenntnisse zusammengefasst. Die Auflistung erfasst nur solche Fälle, bei denen umfangreiche, über reine Pressemeldungen hinausgehende Informationen zum Ereignis vorliegen. Bewusst wurden dabei auch ältere Fälle ausgewählt, um Weiterentwicklungen oder auch Wiederholungen erkennen zu können.

Brände ohne vorherigen Unfall

Die meisten Busbrände entstehen ohne ein vorheriges Unfallereignis. Allerdings kommt es hierbei nur sehr selten zu Personenschäden, wie zahlreiche Studien, die Auswertungen im Rahmen dieser Studie sowie die Erfahrungen der DEKRA Unfallforschung zeigen. Rauchgasintoxikationen und Verbrennungen, die nach einer erfolgreichen Fahrzeugevakuierung bei Löschversuchen oder durch leichtsinniges Wiederbesteigen des Fahrzeugs zur Bergung von Gepäckstücken zugezogen werden, sind hier die häufigsten Meldungen. Allerdings kam es in der Vergangenheit zu einigen schwerwiegenden Zwischenfällen, bei denen ein Teil der Insassen den Bus nicht mehr rechtzeitig verlassen konnte und es zu schweren Verletzungen und Todesfällen kam.

23.09.2005, Wilmer, Texas, USA

Hergang: Im Rahmen von Evakuierungsmaßnahmen wegen der bevorstehenden Anlandung des Hurricanes Rita sollten 37 Senioren aus einer Einrichtung für betreutes Wohnen und 7 Begleitpersonen mit einem Reisebus in eine andere Einrichtung im Landesinneren verlegt. Nach vorhergegangenen Problemen mit dem rechten Hinterrad wurde der Busfahrer von einem anderen Autofahrer auf Glut- und Funkenbildung an der hinteren rechten Felge aufmerksam gemacht. Der Busfahrer lenkte das Fahrzeug auf den rechten Standstreifen und kontrollierte das Rad. Löschversuche blieben erfolglos, der bordeigene Feuerlöscher konnte vom Fahrer nicht aus dem Fahrzeug geholt werden. Die Evakuierung der größtenteils nicht gehfähigen Personen erfolgte ausschließlich über die Bustüren. Zwei Fenster wurden eingeschlagen, eine Flucht oder Rettung durch diese erfolgte nicht. Von den 37 Senioren kamen 23 ums Leben, zwei wurden schwer verletzt, 12 erlitten leichte Verletzungen. Der Fahrer und die Begleitpersonen wurden leicht verletzt.

Abgeleitete Forderungen: Das Brandereignis wurde durch das U.S. amerikanische National Transportation Safety Board NTSB umfangreich aufgearbeitet. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden zahlreiche Forderungen an die unterschiedlichsten Instanzen abgeleitet. Die für diese Studie wesentlichen waren der Bedarf einer belastbaren Statistik zum Busbrandgeschehen mit einheitlichen Definitionen, neue Richtlinien für die Verwendung brennbarer Materialien, den Schutz des Kraftstofftanks und Studien zur Notwendigkeit von Brandmelde- und Löschanlagen. Eine Überarbeitung der Vorgaben an Evakuierungskonzepte wurde ebenfalls angeraten. Die Bushersteller wurden aufgefordert, bessere Wartungsanleitungen für Radlager zur Verfügung zu stellen und in kritischen Bereichen nur schwer entflammbar oder nicht brennbare Materialien zu verbauen.

Quelle: [13]

04.11.2008, Garbsen bei Hannover, Deutschland

Hergang: Durch einen Fahrgast wurde während der Fahrt Rauch im Bereich des hinteren Eingangs eines Reisebusses festgestellt. Nach Öffnen der Toilettentür kam es zu einer schlagartigen, massiven Flammenbildung. 20 Menschen, zumeist Senioren, kamen ums Leben, 13 Insassen überlebten zum Teil schwer verletzt. Insbesondere die Personen im hinteren Teil des Busses konnten sich nicht vor den Flammen und dem Rauch in Sicherheit bringen. Als Ursache wurde ein Kabelbrand in einem die Bordküche versorgenden Kabelbaum ausgemacht.

Abgeleitete Forderungen: Das Brandereignis wurde zum Anlass für mehrere von der Bundesanstalt für Materialprüfung im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen durchgeführte Forschungsprojekte genommen.

Quelle: Erkenntnisse aus DEKRA Gutachtertätigkeit im konkreten Fall.

Unfallfolgebrände

Brände in Folge eines Unfalls stellen für Businsassen in aller Regel eine größere Gefahr dar, als Brände ohne vorheriges Unfallereignis. Durch die Kollision werden zum Beispiel gegebenenfalls einige Passagiere verletzt, häufig ist der Fahrer betroffen und kann in Folge dessen bei der Evakuierung nicht mehr unterstützen. Konstruktiv vorgesehene Elemente, die einer Brandentstehung oder einer schnellen Brandausbreitung entgegenwirken sollen, können ebenso kollisionsbedingt zerstört oder wirkungslos sein, wie Komponenten der Fluchtwege. Durch die Unfallereignisse können im Bus befindliche Handgepäckstücke herunterfallen und Passagiere verletzen sowie als Hindernisse im Gang liegen. Nach Fahrzeugumstürzen können Türen blockiert sein. Von besonderer Bedeutung ist aber, dass brennbare Stoffe wie Diesel oder Benzin vom eigenen oder gegnerischen Fahrzeug in relevanten Mengen freigesetzt werden können. Gleichzeitig entstehen effektive Zündquellen durch Beschädigungen in der Fahrzeugelektrik, Reibung von Fahrzeugbauteilen auf der Fahrbahn oder die Freilegung heißer Bauteile z. B. der Abgasanlage.

28.02.1996, Bailen, Spanien

Hergang: Bei einer Frontalkollision zwischen einem Pkw und einem Reisebus kam es zur Beschädigung des Dieseltanks des Busses. Der austretende Kraftstoff entzündete sich und setzte den Bus in Brand. Bei dem Unfall wurden 29 Menschen getötet, 18 wurden verletzt, die meisten davon durch den Brand. Für die Evakuierung wurden ausschließlich die Türen benutzt, hier kam es durch eine kollisionsbedingte Schädigung der Pneumatik zu Problemen.

Abgeleitete Forderungen: Besserer Schutz des Fahrers, um bei der Evakuierung effektiv mithelfen zu können; Aufnahme eines energieabsorbierenden Frontunterfahrschutzes in die ECE R93; keine Anbringung des Kraftstofftanks im Frontbereich des Busses und/oder Maßnahmen zum Schutz des Tanks bei Unfällen (Verhinderung einer Kraftstofffreisetzung unter hohem Druck); Forschung zum Brandverhalten und zur Rauchgasbildung/-toxizität von Materialien der Bus-Innenausstattung; Optimierung der Sichtbarkeit, Anbringungsorte und Zugänglichkeit von Nottüröffnern, Nothammern, ...; Verpflichtende Information der Fahrgäste über Lage und Funktion der Notausgänge sowie das richtige Verhalten im Ernstfall; Regelmäßige unabhängige Kontrollen der Funktionalität und des Vorhandenseins der Notfallausstattung.

Quelle: [15]

23. Oktober 2015, Puisseguin, Frankreich

Hergang: Der Fahrer eines Langholztransporters (Sattelzug) verlor im Kurvenbereich einer Provinzstraße die Kontrolle über sein Fahrzeug. Es kam zum Einknicken des Sattelzugs um den Königszapfen (Jackknifing). Ein entgegenkommender Reisebus kollidierte mit der Rückseite der Fahrerkabine der Sattelzugmaschine und dem Auflieger. Dabei wurde ein hinter der Fahrerkabine angebrachter Zusatz-Kraftstofftank zerstört und eine größere Menge Diesel verspritzt. Wahrscheinlich wurde durch die Kollision auch der Kraftstofftank des Busses zerstört, zumindest wurde er aber komprimiert, sodass es auch hier zu einem Kraftstoffaustritt kam. Das Diesel-Luft-Gemisch entzündete sich und setzte den vorderen Teil des Busses sowie die Sattelzugmaschine in Brand. Die Zündursache konnte nicht abschließend geklärt werden. Sowohl mechanisch gebildete Funken als auch ein Kurzschluss können hier ursächlich gewesen sein. 41 Businsassen kamen ums Leben, die restlichen 8 wurden schwer verletzt.

Abgeleitete Forderungen: Höhere Anforderungen an das Brandverhalten von Materialien im Innenraum von Reisebussen sowie an die Menge und Toxizität gebildeter Rauchgase, eine einfachere Handhabung von Rauchabzügen, ein zusätzlicher Notausgang im Heckbereich von Reisebussen, eine bessere Notbeleuchtung sowie organisatorische Aspekte. Eine Überarbeitung des Notfall-Informationsblattes für Buspassagiere wurde empfohlen.

Quelle: [16]

3. Juli 2017, Hof, Deutschland

Hergang: Der Fahrer eines Reisebusses reagierte zu spät auf eine verkehrsbedingte Abbremsung des Lastzugs vor ihm. Mit einer Geschwindigkeit von 65 bis 70 km/h kollidierte der Bus gegen das Heck des mit noch 28 km/h fahrenden Lkw-Anhängers. Durch ein eingeleitetes Ausweichmanöver nach rechts betrug die Überdeckung lediglich rund 60 cm (small overlap). Daraus resultierend kam es zu einer tiefen Eindringung des Anhängers in die Frontstruktur des Reisebusses. Der vor der Vorderachse linksseitig montierte Zusatz-Kraftstofftank wurde zerstört, der enthaltene Diesel-Kraftstoff herausgepresst und fein zerstäubt. Die unter dem Fahrerplatz angebrachte Batterie wurde kollisionsbedingt aus dem Fahrzeug herausgerissen. Der im Fahrzeugheck untergebrachte Motor lief weiter. Entsprechend wurde auch die Batteriehauptleitung weiter vom Generator mit Strom versorgt. Es kam zur Bildung eines Lichtbogens im Bereich des Batteriekastens, der eine effektive Zündquelle darstellte. Der Fahrer wurde kollisionsbedingt getötet. Durch den Eintritt des fein zerstäubten Diesels in den Fahrgastraum und die unmittelbare Zündung kam es schlagartig zu einer massiven Brandentstehung und sehr starken Rauchbildung im vorderen Bereich des Businnenraums. 18 Businsassen kamen ums Leben, 30 konnten sich zum Teil schwer verletzt retten.

Abgeleitete Forderungen: Die DEKRA Unfallforschung formulierte auf Basis der von DEKRA erstellten Gutachten zur Unfallrekonstruktion und Ermittlung der Brandursache Forderungen nach einer möglichst schnellen Einführung von effektiven automatischen Notbremssystemen und einem besseren Schutz der Batterien und zugehörigen Verkabelung durch die Unterbringung in weniger häufig von unfallbedingten Deformationen betroffenen Bereichen (z. B. über der Vorderachse).

Quelle: Erkenntnisse aus DEKRA Gutachtertätigkeit im konkreten Fall.

Analyse der DEKRA Brandgutachten

Die DEKRA Automobil GmbH unterhält ein bundesweites Netz an Sachverständigen, die im Auftrag von Versicherungen, Firmen und Privatpersonen Schadensgutachten erstellen. Die Gutachten enthalten exakte Angaben zu den betroffenen Fahrzeugen, den beschädigten Bauteilen und den Reparaturkosten. Pro Jahr werden ca. 500.000 Schadensgutachten erstellt, rund 6 % davon entfallen auf den Nutzfahrzeugbereich. Zur Ermittlung von Brandursachen an Kraftfahrzeugen hat DEKRA eine weltweit tätige Spezialistengruppe. Diese Sachverständigen werden primär von Staatsanwaltschaften, Gerichten, der Polizei, Versicherungen und den Fahrzeugherstellern beauftragt. Ziel ist die exakte Ermittlung von Brandursache und Zündort.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden zahlreiche Gutachten analysiert und statistisch aufbereitet. Dabei erfolgte eine Orientierung am Vorgehen der von den gleichen DEKRA Abteilungen durchgeführten Studie im Auftrag der BASt zum Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen [5]. So ist es möglich, eventuelle Veränderungen im Busbrandgeschehen zu erkennen.

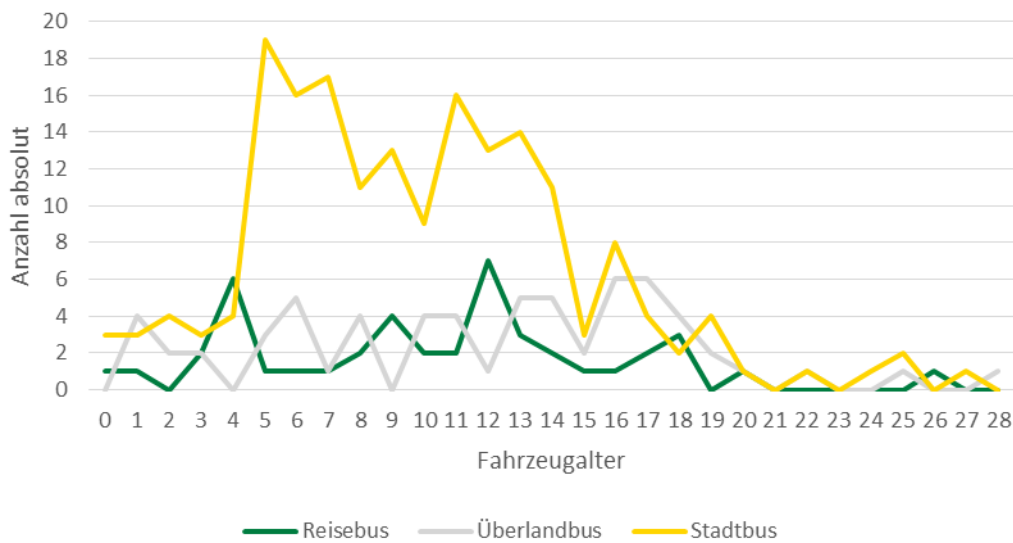
Statistische Auswertung

Die Auswertung der DEKRA Schadendatenbank ergab 552 Brandfälle in Bussen der Klasse M3 aus den Schadenjahren 2011 bis 2019, die neben der reinen Beschreibung des Schadensumfangs zusätzliche Informationen zum Schadenhergang enthielten. Zusätzlich lagen zahlreiche Gutachten zur Brandursachenermittlung vor. In einem ersten Schritt wurde abgeglichen, ob zu einzelnen Fällen beide Gutachtentypen vorliegen. Diese wurden dann zusammengeführt. Gutachten mit für die Studie nicht ausreichenden Informationen wurden aussortiert. Im Ergebnis ergab sich die in Tabelle 7 dargestellte Verteilung der insgesamt 307 verwendeten Gutachten. Insgesamt 9 Busse hatten eine Zulassung außerhalb Deutschlands.

Bustyp	Anzahl
Stadtbus	190
Überlandbus	65
Reisebus	52
Summe	307

Tabelle 7 Verteilung der brandgeschädigten Busse auf die Bustypen

Das Durchschnittsalter aller Fahrzeuge lag bei 10,4 Jahren. Bei den Reisebussen betrug die Spanne 0 bis 26 Jahre, bei den Überlandbussen 1 bis 28 Jahre und bei den Stadtbusen 0 bis 27 Jahre. Die genaue Verteilung ist in Grafik 1 dargestellt.



Grafik 1 Alter der untersuchten Busse bei Schadeneintritt

Schadenbedingt ließ sich bei vielen Bussen die Laufleistung nicht mehr ablesen. Bei den Reisebussen lag diese zwischen 40.000 km und 1,5 Millionen Kilometern, bei den Überlandbussen zwischen 220.000 km und einer Million sowie bei den Stadtbussen zwischen 13.000 km und nahezu einer Million.

Bei 258 Fahrzeugen ließ sich der Brandausbruchsbereich eindeutig feststellen. In 216 Fällen (83,7 %) ging der Brand vom Motorraum aus. Die genaue Verteilung ist in Tabelle 8 dargestellt. Bei einem nicht in der Tabelle aufgenommenen Reisebus kam es während eines Abschleppvorgangs zum Brand im Radbereich. In drei weiteren Fällen ging der Brand vom Radlager aus.

	Reisebus	Überlandbus	Stadtbus	Gesamt
Motorraum	35	43	138	216
Technikraum	3	3	2	8
Gepäckraum	5	0	0	5
Ruheraum	0	0	0	0
Fahrgastraum	5	6	18	29

Tabelle 8 Verteilung der Brandausbreitungsorte auf die Bustypen

Die meisten Brände entstehen während der Fahrt. Von 294 Fahrzeugen lagen Informationen zum Laufzustand des Motors vor. In 240 (81,6 %) dieser Fälle ist der Motor gelaufen, Tabelle 9.

	Reisebus	Überlandbus	Stadtbus	Gesamt
Motor an	44	48	148	240
Motor aus	6	13	35	54
Während der Fahrt	43	48	144	235
Abgestellt	7	13	38	58
Abgestellt, Motor warm	1	1	4	6

Tabelle 9 Zustand von Motor und Fahrzeug bei der Brandentstehung

225 Fahrzeuge erlitten einen wirtschaftlichen Totalschaden, 77 waren reparaturwürdig, Tabelle 10. Dabei gilt allerdings zu beachten, dass ein wirtschaftlicher Totalschaden nicht zwangsläufig einem kompletten Ausbrennen des Fahrzeugs gleichzusetzen ist. Häufig reichen bereits die Schädigung von z. B. Motorteilen oder zugehörigen Aggregaten in Kombination mit den Verschmutzungen durch Rauch, hier insbesondere auch im Bereich der Bordelektrik, und der Löschmittelanwendung aus. Auch im Hinblick auf das zum Teil recht hohe Alter der Busse übersteigen die kalkulierten Reparaturkosten schnell den Restwert.

	Reisebus	Überlandbus	Stadtbus	Gesamt
Totalschaden	33	51	141	225
Reparaturwürdig	20	12	45	77

Tabelle 10 Im Schadengutachten ermitteltes Schadenausmaß

Jeder Fall wurde einzeln daraufhin analysiert, ob das betroffene Fahrzeug mit einer Brandmeldeanlage (BMA) oder einer Löschanlage im Motorraum (LA) ausgestattet war. Informationen zum genauen Typ der BMA bzw. LA lagen in keinem statistisch relevanten Umfang vor. Zusätzlich wurde in jedem Fall, soweit noch möglich, geprüft, ob die Systeme ausgelöst haben. Um das Nutzenpotenzial solcher Systeme abzuschätzen, wurde für Busse ohne solche Anlagen ermittelt, ob es zu einer Auslösung in der Anfangsphase des Brandes gekommen wäre. Fahrzeuge mit Löschanlage enthalten auch eine BMA. Von daher gibt enthält die Darstellung in Tabelle 11 an diesen Stellen Doppelzählungen.

	Reisebus	Überlandbus	Stadtbus	Gesamt
BMA ausgelöst	3	4	17	24
BMA nicht ausgelöst	8	11	20	39
BMA hätte ausgelöst	33	42	119	194
BMA hätte nicht ausgelöst	9	8	34	51
LA ausgelöst	2	2	2	6
LA nicht ausgelöst	4	0	8	12
LA hätte ausgelöst	35	45	139	219
LA hätte nicht ausgelöst	12	18	41	71

Tabelle 11 Analyse der möglichen Wirkung von Brandmeldeanlagen (BMA) und Löschanlagen (LA)

Analyse der Fälle mit Auslösung einer BMA oder LA und Potenzialabschätzung

Von besonderem Interesse waren die Fälle, bei denen eine BMA oder LA verbaut war, diese aber nicht ausgelöst hat. Hier erfolgte, soweit möglich, eine Einzelerhebung.

Reisebusse:

Elf der Reisebusse waren mit einer Brandmeldeanlage ausgerüstet, sechs davon zusätzlich mit einer Löschanlage. In drei Fällen löste die BMA aus, in zwei davon zusätzlich eine verbaute Löschanlage. In 8 Bussen, darunter vier mit Löschanlage, kam es zu keiner Auslösung. Von den Fahrzeugen ohne Auslösung waren zwei geparkt, eines befand sich in einer Werkstatt. Drei der Brände brachen im Innenraum aus, ein Fahrzeug wurde von außen mit kriminellen Hintergrund angegriffen. In einem Fall kam es während der Fahrt in einem vom Motorraum separierten, nicht überwachten Technikraum zur Brandentstehung.

In 33 Fällen hätte eine BMA oder Löschanlage im Falle einer Verbauung auslösen müssen, in 9 Fällen wäre es zu keiner Auslösung gekommen. Drei dieser Busse brannten im abgestellten Zustand, bei weiteren drei kam es im Bereich der Räder zur Brandentstehung. Bei einem Bus kam es während der Fahrt in einem vom Motorraum separierten, nicht überwachten Technikraum zum Brand, bei zwei Fahrzeugen im Gepäckraum.

Überlandbusse:

Von den Überlandbussen waren 15 Fahrzeuge mit einer BMA ausgerüstet, mindestens zwei davon mit einer LA. In vier Fällen kam es zur Auslösung der BMA, in zwei davon auch zur Auslösung der LA. In 11 Fällen hat die BMA nicht ausgelöst. In neun Fällen ohne Auslösung handelte es sich um abgestellte Fahrzeuge, die bei einem Depotbrand zerstört wurden. Bei einem Bus kam es während der Fahrt in einem vom Motorraum separierten, nicht überwachten Technikraum zur Brandentstehung. Ein Brand entstand während der Fahrt im Motorraum. Warum die BMA nicht ausgelöst hat, sollte im Rahmen der Gutachtenerstellung nicht geklärt werden.

In 42 Fällen hätte eine BMA auslösen müssen, so sie vorhanden gewesen wäre, in acht Fällen wäre sie wirkungslos geblieben. Bei vier dieser Fahrzeuge kam es zur Brandentstehung im Innenraum, zwei Fahrzeuge waren abgestellt, bei zwei Bussen kam es zu Bränden im Bereich der Bordelektrik.

Stadtbusse:

Von den untersuchten Stadtbusen waren 37 mit einer BMA ausgerüstet, 10 davon auch mit einer LA. In 17 Fällen löste die BMA aus, eine LA wurde in 2 davon ausgelöst. In 20 Fällen kam es zu keiner Auslösung. Acht dieser Fahrzeuge hätten eine LA gehabt. Zwölf der Busse sind bei Depotbränden in Brand geraten. Fünf der Brände sind während der Fahrt im Innenraum entstanden, einer in der Bordelektrik. Bei zwei Bussen, einer davon mit LA ausgestattet, kam es während der Fahrt zu einem Brand im Motorraum. Warum die Anlagen nicht ausgelöst haben, sollte im Rahmen der Gutachtererstellung nicht geklärt werden.

Bei den nicht mit BMA oder LA ausgerüsteten Fahrzeugen hätte eine BMA in 119 Fällen alarmieren müssen, in den folgenden 34 Fällen wäre sie wirkungslos gewesen. Zwölf Fahrzeuge brannten in Folge von Depot- oder Werkstattbränden. Acht Busse waren geparkt. Bei zwölf Bussen kam es zur Brandentstehung im Innenraum, bei einem durch ein heißgelaufenes Radlager. In einem Fall war der Bus mit laufendem Motor abgestellt, ein Fahrer befand sich nicht im Fahrzeug. Hier hätte nur eine LA Wirkung gezeigt.

Evakuierungskonzepte

Trotz des vergleichsweise häufigen Auftretens von Brandereignissen in Bussen kommt es nur sehr selten zu Personenschäden. Bei Stadtbusen, die aus den Anforderungen der Nutzung resultierend, für ein schnelles, möglichst stufenfreies Ein- und Aussteigen konzipiert sind und breite Gänge aufweisen, treten Verletzungen so gut wie nie auf. Bei Reisebussen sind Unfallfolgebrände sowie Brände in mit einer großen Anzahl gehbehinderter oder beim Gehen eingeschränkter Fahrgäste besetzter Busse als kritisch einzustufen. Seitens der Gesetzgebung gibt es zahlreiche Vorschriften zur Fluchtweggestaltung und Schaffung von Fluchtöffnungen. Diese sind nachfolgend grob dargestellt.

Regelmäßig werden in diesem Bereich Ideen und Konzepte zur Optimierung der Fahrzeugevakuierung von verschiedensten Personen und Unternehmen entwickelt und vorgestellt. Einige davon wurden in [4] präsentiert, die nachfolgend nicht wiederholt werden.

Definition von Notausstiegen

Die UN-Regelung 107 beschreibt in Absatz 2.12 einen Notausstieg als „eine Nottür, ein Notfenster oder eine Notluke“. Die Anzahl der Ausstiege, also auch jene, welche außerhalb eines Notfalls zu benutzen sind, wird in der gleichen Regelung durch die „Anzahl der Fahrgäste und Mitglieder des Fahrpersonals je Raum oder Fahrgastebene“ definiert. Als Raum definieren sich hierbei sowohl die Ebenen eines doppelstöckigen Busses als auch die starren Elemente eines Gelenkbusses, jedoch nicht die Toilette oder die Bordküche. Die Anzahl von Notausstiegen wird von der maximalen Anzahl an Fahrgästen definiert. Diese Notausstiege können von Betriebs- oder Nottüren, Notfenstern oder Notlukern erfüllt werden. [1]

Türen als Notausstieg

Rechtlicher Rahmen

Die Betriebstüren eines Busses werden im Normalbetrieb zum Besteigen und Verlassen des Fahrzeugs benutzt. Im Falle einer notwendigen Evakuierung stellen sie in der Regel auch die erste Wahl zum Verlassen des Busses dar. Zusätzlich können Nottüren verbaut werden, welche nur im Notfall zu benutzen sind.

Betriebstüren müssen entsprechend UN-Regelung 107, abhängig von der Klasse des Fahrzeugs, eine Breite von mindestens 550 mm bei einzelnen Türen und 1.100 mm bei doppelten Türen haben. Der freie Zugang wird mit einer Prüffigur überprüft. Die freie Durchgangshöhe muss, je nach Fahrzeugklasse, zwischen 1.650 mm und 1800 mm betragen. Nottüren müssen mindestens eine Höhe von 1.450 mm und eine Breite von 600 mm aufweisen. Je nach Anzahl der maximal möglichen Fahrgäste müssen verschieden viele Betriebstüren vorhanden sein. [1]

Im Normalbetrieb werden die Türen vom Fahrer vom Fahrerplatz ver- und entriegelt sowie gegebenenfalls geöffnet oder geschlossen. Im Notfall können die Türen durch Notbetätigungseinrichtungen von innen und außen entriegelt und anschließend von Hand geöffnet werden. Diese Notbetätigungseinrichtungen müssen maximal 500 mm von der Tür entfernt und zwischen 1.000 mm und 1.500 mm in der Höhe angebracht werden. Meist wird dies durch eine Anbringung an der Türbrüstung realisiert. Es können Mechanismen angebracht werden, welche ein unbefugtes Öffnen der (Not-) Türen von außen verhindern. Diese müssen bei angeschalteter Zündung aufgehoben werden. Das Öffnen von innen muss bei einer Fahrtgeschwindigkeit von mehr als 5 km/h verhindert werden. [1]

Aktuelle Umsetzung

Der Mechanismus, welcher die Tür während der Fahrt geschlossen hält, muss auf einfache Art und Weise von möglichst allen Fahrgästen überbrückt werden können, um die Tür nach Stillstand des Fahrzeugs öffnen zu können. Um dies zu realisieren werden in die meist pneumatischen Kreise der Türöffnungsmechanismen Notbetätigungseinrichtungen eingebaut, welche den Druck aus dem System entweichen lassen, sodass die Tür aufgedrückt werden kann. Die Betätigung von außen ist in der Regel analog zur Betätigung von innen realisiert, jedoch befinden sich die Notbetätigungseinrichtungen meist neben den Türen. Zum Schutz vor unbefugtem Betreten des Busses sind die äußeren Notbetätigungseinrichtungen funktionslos, solange die Schließanlage des Busses verriegelt ist.

Prinzipiell gibt es einen Unterschied der Türen von Reisebussen und Stadtbussen. Stadtbusse weisen entsprechend ihrem Einsatzzweck im lokalen Kurzstreckenbereich mit häufigen Haltestellenstopps und einem großen Austausch an Passagieren breitere oder Doppeltüren und Gänge sowie möglichst niederflurige, treppenfreie Konzepte auf. Dies begünstigt eine schnelle Evakuierung. Bei Reisebussen wird dem Reisekomfort eine weit höhere Bedeutung zugemessen. Schmale Türen und Treppen sowie ein vergleichsweise enger Mittelgang sind hier der Standard. Siehe hierzu auch [17].

Betriebstüren stehen nur dann als Notausstieg zur Verfügung, wenn das Fahrzeug auf den Rädern steht und die Türen nicht von außen durch Kollisionsgegner (andere Fahrzeuge, Schutzplanken, Mauern, ...) blockiert oder bis zur Funktionslosigkeit deformiert sind. Im Türbereich – insbesondere außerhalb des Busses – darf es zu keiner starken Brand- oder Rauchbelastung kommen.

Ansätze zur Optimierung

Türen spielen bei der Evakuierung generell eine wichtige Rolle. Als gewohnter Weg werden sie bei Fluchtgedanken als erstes angesteuert. Durch ihre Funktion als Ein- und Ausstieg sind sie im Normalfall gut zu erreichen und weisen eine ausreichende Dimensionierung auf. Zur Weiterentwicklung der Türanlagen für den Fall einer Evakuierung wurden und werden regelmäßig Verbesserungsvorschläge erarbeitet und Patente angemeldet. Eine Implementierung von aus der Luftfahrt bekannten Systemen auf insbesondere Reisebusse, wie häufig vorgeschlagen, ist dabei gerade im Brandfall nicht immer sinnvoll.

Bereits 1975 wurde in den USA ein System patentiert, bei dem das Türblatt im Notfall um ein unteres Gelenk herausklappt und dann als Rampe fungiert. Einsatzziel waren die typischen amerikanischen Schulbusse, bei denen dieses System als zusätzliche Nottür im Heck oder an der Seite angebracht werden sollte [18]. Eine Übertragung auf in Europa üblicherweise eingesetzte Fahrzeuge erfolgte nie. Im Stadtbusverkehr war die Notwendigkeit nie gegeben und hat sich mit Einführung der Niederflurtechnik endgültig erledigt, im Reisebusverkehr sind die zu überwindenden Höhenunterschiede zu groß.

Immer wieder wird auch das automatische Öffnen von Bustüren nach Feststellung einer Evakuierung erfordernden Situation vorgeschlagen. Entsprechende Konzepte gibt es schon lange im Luftverkehr, wobei sich diese in der zivilen Luftfahrt aus Sicherheitsgründen nicht durchgesetzt haben. Auch im Busbereich sind solche Systeme bislang nicht zum Tragen gekommen. Eine zuverlässige Crasherkenkung gestaltet sich schwierig und im Brandfall (Kopplung mit der Brandmeldeanlage) entstehen daraus zusätzliche Gefahren. Das gewichtigste Argument gegen eine automatische Türöffnung erwächst genau aus der Situation, in der am ehesten eine schnelle Evakuierung des Fahrzeugs erforderlich wird: dem Brandfall. Durch das automatische Öffnen der Türen besteht die nicht unerhebliche Gefahr, dass außerhalb des Fahrzeugs auftretende Flammen und Rauch in den Fahrgastraum eintreten und so zu einer massiven zusätzlichen Gefährdung der Insassen führen. Zusätzlich wird dem Fahrer die Möglichkeit genommen, das Fahrzeug in einen für die Evakuierung geeigneten Bereich zu fahren.

Optimierungspotentiale

Die Bedienung der Notbetätigungseinrichtungen und das anschließende manuelle Öffnen der Türen ist für darin unerfahrene Personen und damit den Großteil der Fahrgäste in Stresssituationen schwierig. Im Bereich der zivilen Luftfahrt kommen daher Sicherheitseinweisungen und am Platz befindliche Sicherheitskarten zum Einsatz. Seit einiger Zeit erfolgt eine zusätzliche direkte Einweisung der an Notausstiegsplätzen sitzenden Fluggäste in die Bedienung der Nottüren. Bei entsprechenden Fahrgastinformationen im Bus besteht aus Sicht der Verfasser jedoch noch großes Potential.

Fenster als Notausstieg

Rechtlicher Rahmen

Fenster, welche im Unglücks- oder Brandfall als Notausstieg benutzt werden können, werden als Notfenster bezeichnet. Es existieren laut UN R 107 zwei unterschiedliche Arten von Notfenstern: Fenster, die sich durch ein Scharnier nach außen öffnen lassen und Fenster, welche durch den Einsatz z. B. eines Nothammers zertrümmert werden können. Beide müssen nach außen zu öffnen sein und

im Falle der zu zertrümmernden Fenster aus „leicht zertrümmerbarem Sicherheitsglas bestehen. Die letztgenannte Vorschrift schließt die Möglichkeit aus, Scheiben aus Verbundglas oder Kunststoff zu verwenden.“ [1]

Die Fenster müssen, wenn es sich hierbei um die an der Fahrzeugseite angebrachte handelt, mindestens eine Fläche von 400.000 mm² und Abmessungen von mindestens 500 mm x 700 mm haben. Am Heck angebrachte Notfenster müssen mindestens eine Größe von 450.000 mm² bei minimal 600 mm x 700 mm in den Rahmenabmessungen haben. Diese Abmessungen gelten sowohl für die aufklappbaren als auch für die zertrümmerbaren Fenster. Diese Fenster dürfen nicht weiter als 1.200 mm vom unteren Ende des Fensters bis zum Fußboden entfernt sein, wenn es sich um zertrümmerbare Fenster handelt, bzw. 650 mm, wenn es sich um aufklappbare Fenster mit einer Vorrichtung gegen das Herausfallen handelt. Notfenster zählen je als ein Ausstieg nach Punkt 7.6.1.4 der UN R 107, es sei denn es handelt sich hierbei um ein Doppelfenster, die als zwei Ausstiege zählen. [1]

Fenster, welche aufklappbar sind, können gegen unbefugte Öffnung von außen geschützt werden, wenn sichergestellt ist, dass diese Vorrichtungen das Öffnen bzw. Zertrümmern der Fenster im Betrieb von innen nicht einschränken. Ebenso müssen aufklappbare Fenster, welche nicht direkt vom Fahrerplatz aus einsehbar sind, durch eine akustische Warneinrichtung gegen das unbefugte Aufklappen während der Fahrt oder eventuelle nicht vollständige Schließung gesichert werden.

Aktuelle Umsetzung

Fenster werden bei europäischen Fahrzeugen in der aktuellen Umsetzung meist als Notfenster mit Zerstörung der Scheiben umgesetzt. Die Anbringung der Nothämmer erfolgt entsprechend der Vorgabe neben den Notfenstern an den Säulen des Fahrzeugs. Diese können im Notfall dazu verwendet werden, die Scheiben entweder an einer herstellerseitig spezifizierten Stelle, welche durch einen roten Punkt gekennzeichnet ist, oder an einer beliebigen Stelle zu zertrümmern.

Nothämmer bestehen aus einem spitz zulaufenden Kegel auf einem Zylinder aus Metall, welcher an einem roten Plastikhandgriff befestigt ist. Diese Hämmer sind meist leuchttrot und teilweise mit einer nachleuchtenden Farbe beschichtet, welche das Auffinden nachts oder in dichter Verrauchung erleichtern soll. Sie können mit einem Drahtseil und einer Plombe gegen das unbefugte Entfernen gesichert werden.

Notfenster stehen als zusätzliche Notausstiege zur Verfügung, wenn die vorhandenen Türen nicht zu öffnen sind, die Wege dorthin blockiert sind oder sie aus anderen Gründen nicht genutzt werden können. Die Höhe der Fensterunterkante erfordert allerdings einen Sprung aus größerer Höhe. Werden die Scheiben nach Einschlagen nicht komplett aus dem Rahmen gedrückt, bleibt ein verletzungsträchtiger Rest stehen. Kommen Busse unfallbedingt auf der Seite zum Liegen, sind insbesondere die Front- und Heckscheibe als Ausstiegsersatz prädestiniert. Gerade bei der Frontscheibe kann es aber zu Problemen bei der Zerstörung kommen, so dies nicht kollisionsbedingt erfolgt ist. Fenster auf der Seite, auf der der Bus zum Liegen kam können in aller Regel nicht zur Flucht genutzt werden. Bei den Fenstern der „Oberseite“ ergibt sich durch die Zerstörung beim Einschlagen ein enormes Verletzungsrisiko durch das Herabfallen der schweren Verglasung sowie die anschließend im Innenraum verteilten Splitter. Bei Endlage auf dem Dach stellen Fenster sehr gute Notausstiege dar.

Ansätze zur Optimierung

Die Optimierung von Fenstern als Notausstieg beschäftigt Fahrzeughersteller, Systemlieferanten und TÜftler schon lange. So wurde z. B. bereits 1955 ein Patent für ein System erteilt, bei dem durch Drücken eines Knopfes die Scheibe aus der Verklebung gelöst und somit leichter herausgedrückt werden kann [19]. Auch aktuell werden noch Systeme entwickelt, die ein einfacheres manuelles Herauslösen der unzersplitterten Verglasung im Notfall optimieren, wie z. B. [20] zeigt.

Immer wieder wurden auch Systeme zum Patent angemeldet oder vorgestellt, bei denen Notausstiegsfenster durch Sprengbänder oder andere Detonationskörper zerstört werden und so das manuelle Einschlagen und Herausdrücken ersetzen. Durchgesetzt hat sich keines dieser Systeme, da die Definition eines möglichst zuverlässigen, aber auch vandalismussicheren Algorithmus schwerfällt und eine Auslösung durch den Fahrer in vielen Fällen durch dessen Zustand nicht mehr möglich ist.

Eine der neuesten Innovationen auf diesem Gebiet ist ein „elektronischer Nothammer“. Dieses nach dem Unfall von Puisseguin [16] entwickelte und 2020 in Frankreich mit einem Preis für Verkehrssicherheit ausgezeichnete System zerstört die Scheiben der Notausstiegsfenster nach Triggerung automatisch. Nach Auslösung müssen die Scheiben von den Insassen manuell nach Außen gedrückt werden. [21] Das System unterliegt allerdings den gleichen Limitationen wie die Systeme mit Sprengung. Es fehlt an einer zuverlässigen und vandalismussicheren Auslösung.

Eine Auslösung solcher Systeme über die Brandmeldeanlage scheidet aus. Die Unfallfolgebrände von Puisseguin und Münchberg wären durch eine Brandmeldeanlage nicht frühzeitig detektiert worden. Auch der Brand von Hannover ohne vorhergegangenen Unfall wäre nicht rechtzeitig detektiert worden. Gleichzeitig resultieren aus einer Scheibenzerstörung bei Auslösung einer BMA erhebliche Risiken. Bei einem Brandausbruch im von der BMA überwachten Motorraum stellen die Scheiben im hinteren Teil des Busses einen Schutz gegen das Eindringen von Flammen und Rauch in den Innenraum dar. Sind die Scheiben zerstört, kann dieser Schutz nur sehr kurz aufrechterhalten werden und die für die Evakuierung zur Verfügung stehende Zeit erheblich verkürzen. Die Aufgabe einer BMA ist es, den Fahrer möglichst frühzeitig auf ein Brandereignis im Motorraum hinzuweisen, die Anfahrt eines für die Evakuierung geeigneten Halteplatzes zu ermöglichen und die Passagiere möglichst ohne Panik in Sicherheit zu bringen. Eine Löschanlage soll diesen Zeitraum weiter verlängern. Werden während der Fahrt gleichzeitig mehrere Scheiben zerstört, wird das Risiko einer Panik unter den Fahrgästen erheblich erhöht und der Fahrer wird gezwungen, schnellstmöglich anzuhalten, die Fahrt zu einem sicheren Halteplatz entfällt. Eine Zerstörung der Scheiben während der Fahrt führt zudem dazu, dass durch fahrbedingte Verwindungen des Busses die Scheiben komplett zerbrechen und nach innen auf die Fahrgäste fallen können. Nicht außer Acht gelassen werden darf auch der wirtschaftliche Schaden. Durch die Auslegung der Brandmeldeanlagen auf ein frühzeitiges Auslösen, ist die Fehlauflösequote solcher Systeme nach DEKRA Recherchen sehr hoch. Zudem können viele der detektierten Brände mit einem Feuerlöscher gelöscht werden. Auch hier wäre eine derartige Schadenerweiterung unverhältnismäßig.

Die Kopplung eines solchen Systems an die Crashererkennung des Fahrzeugs würde zwar viele der Probleme beheben, die aus einer Kopplung an die BMA entstehen, gleichzeitig aber neue Risiken schaffen. Auch im Bereich der Zuverlässigkeit einer Crashererkennung ist diese Art der Kopplung als kritisch zu sehen. Bei Umstürzen des Fahrzeugs würde das Risiko des Herausschleuderns von nicht angeschnallten Insassen sowie das Einklemmen von Gliedmaßen angeschnallter Insassen zwischen Boden und Fahrzeug begünstigen. Zudem würden die Splitter der „oberen“ Fenster auf die Insassen herabstürzen. Zusätzlich stellt sich die Frage, ab welcher Crashintensität ein solches System

zuverlässig auslösen kann. So hätte die Crashsensorik beim Unfall von Münchberg durch die Small-Overlap-Konstellation und die Weiterbewegung beider Fahrzeuge nur geringe Verzögerungen erfasst, die in der Form auch bei einer schweren Kollision mit einem größeren Pkw auftreten, die kein Zerstören der Notfenster rechtfertigt. Auch bei reinen Busbränden wie in Hannover oder Wilmer bliebe das System wirkungslos.

Unabhängig vom Auslösemechanismus besteht die Gefahr, dass die automatische Zerstörung oder Öffnung von Notfenstern dazu führt, dass die Insassen den Bus auf diesem „vorgegebenen“ Weg verlassen wollen, auch wenn die Flucht über die Türen mit weitaus geringerem Verletzungsrisiko möglich wäre. Des Weiteren führt auch das automatische Öffnen von Fenstern, wie auch das von Türen, zu einer Veränderung der im Brandfall entstehenden thermodynamischen Prozesse. Dringt durch eine Tür von außen Brandrauch ein, der durch ein Fenster abziehen kann, kann der entstehende Kamineffekt dazu führen, dass noch mehr Rauch über den Fluchtweg Tür in den Innenraum gezogen wird und auch die Brandausbreitung im Innenraum beschleunigt wird,

Um die Nutzung von Notfenstern aus Hochdeckern und Doppeldeckern zu optimieren, werden ebenfalls immer wieder Anleihen in der Luftfahrtindustrie gesucht. So taucht regelmäßig die aus dem Flugzeug bekannten Notrutsche auf, wie z. B. ein Konzept der Guangdong Polytechnic Normal University in Guangzhou, China zeigt [22]. Neben den hohen Kosten führen solche Systeme zu einem nicht unerheblichen Zusatzgewicht, was in dieser Busklasse gerade im oberen Bereich das Kippisiko erhöht. Zudem geht im Innenraum Platz verloren, der im Normalbetrieb, insbesondere aber in Evakuierungssituationen benötigt wird.

Optimierungspotentiale

Notfenster stellen einen wesentlichen und wichtigen Teil der Fluchtwege aus einem Bus dar. Die mittlerweile gängige Sicherung von Nothämmern mit Stahlseilen gegen Entwendung hat sich bewährt und die Hämmer stehen im Ernstfall zur Verfügung. In zukünftiger Forschung gilt es zu prüfen, ob die Kennzeichnung der Notfenster mit einem Zielpunkt für das Einschlagen mit dem Nothammer die Akzeptanz dieses Notausstiegs erhöhen kann.

Forschungsbedarf wird ebenfalls darin gesehen, Sonnenschutzrollos an Notfenstern unten anzubringen. Diese können dann genutzt werden, um die eingeschlagene Scheibe ohne Verletzungsrisiko nach außen zu drücken. Anschließend bieten sie einen Schutz gegen in der Verklebung des unteren Rahmenteils verbliebene Splitter.

Um das Verletzungsrisiko durch Splitter zu reduzieren gilt es ebenfalls zu analysieren, in wie weit ESG-Scheiben durch VSG- oder Kunststoffscheiben ersetzt werden können, die dann im Notfall mit einem geeigneten Mechanismus geöffnet werden können.

Gerade beim Umsturz eines Fahrzeugs bietet die Frontscheibe einen wichtigen Ausgang. Da hier Verbundsicherheitsglas verwendet wird, ist eine Zerstörung durch die Insassen kaum möglich. Hier wird ebenfalls Forschungsbedarf gesehen.

Luken im Dach als Notausstieg

Rechtlicher Rahmen

Als Notluken werden Öffnungen im Dach oder Fußboden des Busses bezeichnet, welche im Rahmen einer Evakuierung bei einer Endlage des Busses außerhalb der Normalstellung auf den Rädern benutzt werden können und sollen. Diese können entweder nach außen abgeklappt, abgeworfen oder zertrümmert werden; Bodenluken können entweder nach innen geöffnet werden oder ausgeworfen werden. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Luken nicht vollständig vom Fahrzeug lösen dürfen, da sie sonst eine Gefahr für andere Verkehrsteilnehmer darstellen. [1]

Notluken müssen eine Öffnungsfläche von mindestens 450.000 mm² besitzen und mindestens 600 mm x 700 mm in den Abmessungen aufweisen. Der Zugang zu Dachluken muss durch Sitze oder andere Hilfsmittel wie z. B. eine Leiter gewährleistet sein. Dabei darf die maximal zu überwindende Höhe 1600 mm nicht überschreiten. Falls die Dachluken unter der Deckenverkleidung verborgen sind, muss darauf geachtet werden, dass die Luken maximal 200 mm dick sind. Bodenluken müssen dafür ausgelegt sein, dass eine Platte mit den Abmessungen 600 mm x 400 mm aus einem Meter über dem Bodenniveau durch sie geführt werden kann. [1]

Dachluken, die bei der Notöffnung nicht zerstört werden, müssen sich mindestens um 100° aufklappen lassen. Das Öffnen muss dabei von innen und außen leicht möglich sein. Bei Notluken, die von den Fahrzeuginsassen im Notfall durch Einschlagen oder Zertrümmern geöffnet werden, muss sich die Vorrichtung, welche hierfür gedacht ist (z. B. Nothammer), in unmittelbarer Nähe zur Notluke befinden. [1]

Wie bei Fenster und Türen können Mechanismen angebracht werden, welche das unbefugte Öffnen der Luken von außen unterbinden. Hierbei muss jedoch darauf geachtet werden, dass diese die Benutzung der Luken im Notfall nicht einschränkt. Bodenluken dürfen während der Fahrt nicht geöffnet werden können, es sei denn, die Fahrgeschwindigkeit unterschreitet 5 km/h. [1]

Aktuelle Umsetzung

Bei Notluken im Dach kommen viele verschiedene Konzepte und Bauformen zur Anwendung. Die Bandbreite reicht von der den gesetzlich geforderten Mindestmaßen entsprechenden in den Dachhimmel möglichst unauffällig integrierten Luke über große Panoramafenster bis zu auffällig als Notausgang gekennzeichneten Luken mit möglichst großen Abmessungen.

Bei Übungen der Feuerwehr hat sich bewährt, die Einsatzkräfte bei auf der Seite liegenden Bussen durch die Notluken im Dach ins Fahrzeug zu schicken und die Rettung der darin befindlichen Insassen durch die Front- und Heckscheibe abzuschließen (Einbahnverkehr).

Ansätze zur Optimierung

Im Notfall kommt einer eindeutigen Kennzeichnung der Notluken als Notausgang eine besondere Bedeutung zu. Anders als bei Türen und Fenstern sind sich die meisten Passagiere dieser Option nicht direkt bewusst. Auch die Handhabung zur Öffnung der Luke muss klar und eindeutig mit Piktogrammen beschrieben sein, die auch dann gelesen werden können, wenn der Bus auf der Seite liegt. Im Rahmen der Fortschreibung der UN-Regelung 107 wurden neue Anforderungen zur Kennzeichnung aufgenommen, die bei zukünftigen Fahrzeugen signifikante Verbesserungen bringen werden.

Immer wieder kommt auch die Forderung auf, zwischen dem unteren und oberen Deck von Doppelstockfahrzeugen Luken zu verbauen. So auch in [4] mit einem Verweis auf eine Studie aus 1985: „Für das untere Passagierdeck von Doppelstockfahrzeugen sollte der Zwischenboden mit der entsprechenden Anzahl und Verteilung von "Notklappen" versehen werden. 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.“ Hier muss allerdings dem Schutz der Passagiere im oberen Deck vor Absturz Rechnung getragen werden. Daher besteht hier noch Forschungsbedarf.

Optimierungspotentiale

Notluken stellen primär dann einen Fluchtweg dar, wenn der Bus auf der Seite liegt. Vorgaben an Aufstiegshilfen wie Sitz oder Leiter sind daher wenig zielführend und schränken die Positionierungsmöglichkeiten ein.

Bei der Verwendung von ESG für Notluken im Dach entfällt das Risiko, dass es zu einem Verklemmen von Klappen durch Deformationen im Dachbereich kommt, die aus einem einen Umsturz oder Überschlag resultieren.

Das automatische Öffnen der Notluken im Falle einer Auslösung der BMA im Motorraum führt zu den im Kapitel Fenster als Notausstieg beschriebenen Problemen. Befindet sich dagegen schon Rauch im Fahrgastraum, kann eine Notluke als Rauch- und Wärmeabzug dienen und so die Evakuierungszeit verkürzen. Rauchmelder, die direkt im Bereich der Notluke im Dach angebracht sind, könnten eine automatische Öffnung auslösen, so es sich um Systeme handelt, die zerstörungsfrei geöffnet werden können. An dieser Stelle besteht weiterer Forschungsbedarf.

Notbeleuchtung

Rechtlicher Rahmen

Notbeleuchtungen sind Systeme, die die erforderliche Mindestbeleuchtung bieten, damit die Fahrzeuginsassen sicher aus dem Fahrzeug gelangen können. Solche Notbeleuchtungssysteme sind für Fahrzeuge der Klassen II, III und B vorgeschrieben. Neben der manuellen Ansteuerung durch den Fahrer vom Fahrerplatz aus, muss sich das System bei Betätigung der Notsteuerung einer Betriebs- oder Nottür automatisch einschalten. Weitere Vorgaben gibt es an die Mindestleuchtdauer, die Mindesthelligkeit sowie an eine sichere Stromversorgung. Die Notbeleuchtung muss weißes Licht abstrahlen [1].

Aktuelle Umsetzung

Die Zulieferindustrie bietet unterschiedliche, zumeist LED-basierte Systeme an, die sich gut in den Businnenraum integrieren lassen

Ansätze zur Optimierung

Das Fehlen einer geeigneten Notbeleuchtung wurde in der Vergangenheit häufig bemängelt und auch bei zahlreichen Evakuierungen als problematisch erkannt. Mit der Überarbeitung der UN R 107 im Jahr 2014 (Änderungsserie 06) wurde diesem Problem begegnet. Ein Bedarf einer Überarbeitung wird auf Basis der im Rahmen dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse aktuell nicht gesehen.

Optimierungspotentiale

Eine bodennahe Fluchtwegmarkierung kann bei starker Verrauchung des Fahrgastraums das Auffinden der Nottüren erleichtern. Bei Betrachtung der Situationen, bei denen es zu einer sehr schnellen und intensiven Verrauchung der Innenräume kommt, ergibt sich nur ein geringer Mehrwert. Der Bedarf für eine gesetzliche Regelung wird nicht gesehen.

Gewonnene Erkenntnisse

Die Häufigkeit von Brandereignissen in Bussen lässt sich statistisch nur schwer erfassen. Aus internationalen Studien und Hochrechnungen lässt sich ableiten, dass in Europa und Nordamerika zwischen einem und zwei Prozent aller zugelassenen Busse pro Jahr in ein Brandereignis involviert sind. Dabei handelt es sich in aller Regel nicht um Kompletverluste der Fahrzeuge. Die durchschnittliche Schadenhöhe ist aber durch den großen Wert der Fahrzeuge als sehr hoch anzusehen.

Trotz der häufigen Brandereignisse kommt es nur äußerst selten zu Vorfällen mit Personenschaden. Die meisten Verletzungen sind Rauchgasintoxikationen, Schnittverletzungen und Prellungen. Häufig sind die Fahrer betroffen, die sich die Verletzungen bei Löschversuchen zuziehen.

Brandereignissen mit schwerem Personenschaden (mehrere Verunglückte mit schweren oder tödlichen Verletzungen) geht in sehr vielen Fällen eine Kollision voraus. Besonders betroffen sind auch Passagiere mit Gehbehinderung sowie Senioren. Bei den Unfallfolgebränden stellen Ereignisse mit der Entzündung von kollisionsbedingt freigesetztem Kraftstoff des Busses oder des Unfallgegners ein besonderes Risiko dar.

Zur weiteren Erhöhung der Sicherheit kommt damit den Aspekten der Unfallvermeidung sowie dem konstruktiven Schutz vor der Kombination aus Kraftstofffreisetzung und effektiver Zündquelle eine besondere Bedeutung zu. Insbesondere Fahrerassistenzsysteme wie weiter verbesserte automatische Notbremssysteme oder Spurhalteassistenten bieten hier große Potentiale. Der Vergleich amerikanischer und europäischer Studien sowie der Brandmeldungen lässt den Rückschluss zu, dass eine regelmäßige Inspektion und Wartung der Achsen, Räder und Bremsen die Zahl der dort entstehenden Brände deutlich reduziert. Hier sind weitere Analysen erforderlich.

Die Schulung von Busfahrern im Bereich des richtigen Verhaltens bei Auslösung einer Brandmeldeanlage oder Erkennen eines Brandereignisses sollte ebenso wie das wiederholte Training im Umgang mit Feuerlöschern regelmäßig erfolgen.

Die Information der Fahrgäste über die vorhandenen Sicherheitseinrichtungen und deren Bedienung ist insbesondere im Reisebus deutlich verbesserungswürdig. Die bekannten und von Herstellern und Verbänden angebotenen Materialien wie Sicherheitskarten oder Informationsfilme müssen deutlich mehr eingesetzt werden.

Zusammenfassung

Es ist davon auszugehen, dass pro Jahr zwischen einem und zwei Prozent der in den USA oder zahlreichen Ländern Europas registrierten Busse in ein Brandereignis involviert sind. Zu einem Personenschaden kommt es dabei nur äußerst selten. Einzelne Ereignisse, häufig Unfallfolgebrände, stechen aber mit großen Zahlen an getöteten oder schwer verletzten Insassen hervor. Besonders Senioren und Menschen mit Gehbehinderung sowie die Fahrer stellen die Gruppe der am meisten Gefährdeten.

Die mit Abstand meisten Brände entstehen während der Fahrt im Motorraum. In Staaten ohne verpflichtende periodische technische Überwachung führt auch der Bereich Rad/Reifen/Bremse zu nennenswerten Zahlen bei der Brandentstehung. Die Regelungen der Europäischen Union stellen hohe Anforderungen an die Evakuierungsmöglichkeiten von Bussen im Brandfall. Aspekte der Brennbarkeit der Innenraummaterialien sowie deren Freisetzung toxischer Gase und der Rauchdichte und -menge im Brandfall waren nicht Bestandteil dieser Studie.

Trotz des erreichten hohen Sicherheitsniveaus sind weitere Verbesserungen nötig und möglich. Allerdings müssen die neuen Ansätze einer ganzheitlichen Risiko- und Nutzenpotenzialanalyse unterzogen werden, da die auf der Hand liegenden positiven Effekte häufig auch neue Risiken schaffen. So ist eine automatische Schaffung von Notöffnungen auf den ersten Blick sinnvoll. Durch Veränderungen thermodynamischer Prozesse oder einem möglichen Flammen- und Raucheintritt von außen können sie aber auch zu einer Erhöhung des Risikos für die Insassen beitragen. Gleichzeitig können sie als „vorgegebene“ Fluchtwege interpretiert und entsprechend genutzt werden, obwohl andere Wege mit deutlich geringerem Risiko begehbar sind. Schwierigkeiten ergeben sich ebenfalls aus einer zuverlässigen Auslösung. Generell darf dem Fahrer nicht die Möglichkeit genommen werden, einen für die Evakuierung geeigneten Halteplatz anzusteuern. Der Einfluss auf die Fahrdynamik und die Massenverteilung im Fahrzeug müssen bei konstruktiven Vorschlägen in die Risikobewertung mit einbezogen werden.

Zielführend sind im Hinblick auf den großen Anteil der Unfallfolgebrände bei Vorfällen mit Personenschaden Systeme zur Unfallvermeidung. Insbesondere Fahrerassistenzsysteme wie weiter verbesserte automatische Notbremssysteme oder Spurhalteassistenten bieten hier große Potentiale. Kommt es zur Kollision, gilt es dem konstruktiven Schutz vor der Kombination aus Kraftstofffreisetzung und effektiver Zündquelle eine hohe Priorität beizumessen.

Die Schulung von Busfahrern im Bereich des richtigen Verhaltens bei Auslösung einer Brandmeldeanlage oder Erkennen eines Brandereignisses sollte ebenso wie das wiederholte Training im Umgang mit Feuerlöschern regelmäßig erfolgen. Die Information der Fahrgäste über die vorhandenen Sicherheitseinrichtungen und deren Bedienung ist insbesondere im Reisebus deutlich verbesserungswürdig. Die bekannten und von Herstellern und Verbänden angebotenen Materialien wie Sicherheitskarten oder Informationsfilme müssen deutlich mehr eingesetzt werden.

Summary

It is assumed that each year between one and two percent of all registered busses in the USA and several European countries are involved in a fire incident. Personal injury is rare. Single incidents, often post-collision fires, stand out with large numbers of killed and/or severely injured passengers. Especially seniors, people with walking disabilities and the driver form the high-risk group.

By far the most fires occur in the engine compartment while driving. In countries with no mandatory periodical technical inspection, the tire/wheel/brake-assembly also generates noteworthy figures. The regulations of the European Union make high demands on the evacuation of busses in case of a fire. Aspects like the burning behavior of bus interior materials and the amount and toxicity of the emitted smoke and gases was not part of this study.

Despite the already reached high safety level, further improvements are possible and necessary. However, new approaches need to undergo a holistic risk-benefit-analysis. Obvious positive effects may also create new risks. The automatic generation of emergency openings is one example. Highly effective at first sight, the risk for the occupants can be increased, however, due to changed thermodynamic processes and creating an opening for flames and smoke from outside to get into the passenger compartment. The openings can also be misinterpreted as “best escape routes”, though another way poses a by far lower risk. Difficulties do also occur when it comes to the necessity of a reliable trigger. Generally, an automatically triggered evacuation support system should not limit the driver in steering the bus to a safe place for evacuation. The influence of approaches dealing with constructive measures on the driving dynamics and the mass distribution need to be considered.

Against the background of the high share of post-collision fires among those incidents with severe personal damage, systems designed to prevent accidents are important. Especially driver assistance systems like further improved emergency braking or lane keeping have a great potential. In the case of a collision, the combination of leaking fuel and an effective source of ignition needs to be prevented by construction design.

Bus drivers need a regular and repeated training about how to properly react on an alarm of the fire detection system or the direct detection of a fire. This is also necessary for the training with fire extinguishers. The passenger information on the safety features of the bus and their handling has a need of improvement, especially in long distance coaches. The materials provided by bus manufacturers and operator organizations need to be used a lot more.

Literaturverzeichnis

- [1] UN-Regelung 107: 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] UN-Regelung 118: Regelung Nr. 118 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) — Einheitliche technische Vorschriften über das Brennverhalten von Materialien der Innenausstattung von Kraftfahrzeugen bestimmter Klassen
- [3] Nicklisch Frank; Ellmers Uwe: Sicherheitsmaßnahmen bei Reisebussen; Proceedings zum 4. DEKRA/VDI Symposium Sicherheit von Nutzfahrzeugen, Neumünster, 20.-21. Oktober 2004
- [4] Krieg Michael, Rüter Gert, Weißgerber Andreas: Bericht zum Forschungsprojekt 82.188/2000 des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegsystems bei Reisebussen; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft F 42, ISBN 3-89701-007-9; Bergisch Gladbach, August 2003
- [5] Egelhaaf Markus, Berg Alexander, Staubach Hans-Otto, Lange Thomas: Bericht zum Forschungsprojekt 82.187/2000: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft F 51, ISBN 3-86509-161-X; Bergisch Gladbach, September 2004
- [6] Hofmann Anja, Dülsen Steffen: Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.0377/2009: Entstehung, Ausbreitung und Toxizität von Rauch bei Busbränden/Study on smoke production, development and toxicity in bus fires [engl.]; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft F 99, ISBN 978-3-95606-121-9; Bergisch Gladbach, November 2014
- [7] Ahrens Marty: Automobile Fires in the U.S.: 2006-2010 Estimates; Proceedings of FIVE – Fires in Vehicles, Chicago, USA, 2012.
- [8] Crescenzo Robert: Bus Fires in the United States - Update: Passenger and Driver Evacuation Training; Proceedings of FIVE – Fires in Vehicles, Chicago, USA, 2012.
- [9] Rakovic Alen, Försth Michael., Brandt Jonas: Bus Fires in Sweden; SP Technical Research Institute of Sweden, SP Report 2015:43, 2015
- [10] Download am 02.06.2020 unter:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwisj46c0ITqAhXBYMAKHbT1CMQQFjAAegQIBRAB&url=https%3A%2F%2Fwiki.unece.org%2Fdownload%2Fattachments%2F73925457%2FBMFE-05-03%2520%2528N%2529%2520Bus%2520fires%2520in%2520Norway.pdf%3Fapi%3Dv2&usg=AOvVaw1SSjLsTaqDdOg_vExvpvw
- [11] Hammarström Rolf, Axelsson Jesper, Reinicke Boel: Fire Safety in Buses - WP1 report: Bus and coach fires in Sweden and Norway; SP Report 2006:26, 2006
- [12] Alonso Virginia, Rein Guillermo: Analysis of Fire Protection of UK Buses from 1964 to 2013; Proceedings of FIVE – Fires in Vehicles, Baltimore, USA, 2016.
- [13] Försth Michael: Bus fire safety – state of the art and new challenges; Third International Conference on Fire in Vehicles, Berlin, Oktober, 2014
- [14] Rosenker Mark, Hersman Deborah, Sumwalt Robert, O’Leary Higgins Kathryn, Chealander Steven: Motorcoach Fire on Interstate 45 During Hurricane Rita Evacuation Near Wilmer, Texas September 23, 2005; Highway Accident Report, NTSB/HAR-07/01, PB2007-916202, Notation 7774C, National Transportation Safety Board, Angenommen am 21. Februar 2007

- [15] Aparicio Izquierdo Francisco, Páez Ayuso, Francisco Javier: Conclusions of Bus Fire Accidents: Necessary Regulations; INSIA Report
- [16] Bureau d'Enquêtes sur les Accidents de Transport Terrestre, "Rapport d'enquête technique sur la collision suivie d'un incendie survenue entre un autocar et un poids lourd le 23 octobre 2015 sur la RD 17 à Puisseguin (33)", Affaire n° BEATT-2015-014
- [17] Hagen Michael: "Means of Escape in the Event of Bus/Coach Fires", Third International Conference on Fire in Vehicles, Berlin, Oktober, 2014
- [18] Kinney Ronald L.: U.S. Patent No. 3.861.739; San Francisco: U.S. Patent and Trademark Office, 1975
- [19] Stouder Roy, Goshen, Carbiener Harvey, Rutter David: U.S. Patent No. 2.701.631 Washington, D.C.: U.S. Patent and Trademark Office; 1955
- [20] Mosaner, Olaf: U.S. Patent No. 6.164.15 Washington, D.C.: U.S. Patent and Trademark Office; 2000
- [21] Download auf <https://www.aguila.fr/en/our-solutions/basc-bus-advanced-security-concept> am 14.05.2020
- [22] Konzept der Guangdong polytechnic Normal University Guangzhou, China: <https://ifworlddesignguide.com/entry/216857-the-bus-escape-slide>; Download am 14.05.2020
- [23] KRÜGER, H. J.: Analyse der technischen Möglichkeiten für Notausstiege in Kam im Vergleich zu den ECE-Regelungen 36 und 52. TÜV Rheinland, Köln 1985