



Brand in einem Busdepot – eine bisher nicht beachtete Gefahr?

1. Einleitung

Im Dezember 2011 verursachte ein Feuer in einem Busdepot in NRW einen Totalverlust der kompletten Abstellhalle und aller 70 dort abgestellten Busse bzw. Fahrzeuge. Die Grundfläche der Halle umfasste ca. 5.000 m² und wurde 1976 gebaut (**Bild 1**). Es handelte sich um ein massives Gebäude mit Stahlbetonstützen und Stahlbetonbindern für die Dachkonstruktion. Die Dacheindeckung bestand aus Trapezblechen mit Wärmedämmung und Bitumenbahnen. Lichtkuppeln waren ebenso wie integrierte Rauch-/Wärmeabzugsanlagen vorhanden. Überraschend waren neben dem Totalverlust der Halle und aller abgestellten Busse (**Bild 2**) die extrem schnelle Brandausbreitung, die schnelle Abbrandgeschwindigkeit, die hohe Brandlast und die Chancenlosigkeit der Feuerwehr trotz schneller Anrück- und Angriffszeit.

Als Brandursache wurde der Batteriekasten unterhalb des Motorraums eines Busses ermittelt. Fremdverschulden bzw. Brandstiftung wurde durch umfangreiche Untersuchungen der Sachverständigen ausgeschlossen. ¹ Der Gesamtschaden mit Gebäude, Inventar und den Bussen belief sich auf ca. 22 Millionen Euro. ² Der größte Anteil (ca. 85 %) musste für die neuen Busse aufgewandt werden.

Das Objekt war bei der Westfälischen Provinzial Versicherung AG in Deckung. Ausgelöst durch diesen Brand, wurden nun von der Westfälischen Provinzial Versicherung AG alle Bus- und Bahndepots von Experten der Schadenverhütung auf die Brandschutzstandards überprüft. Hierbei wurde deutlich, dass das Brandrisiko für Busabstellhallen bisher eher als untergeordnetes Risiko in der Versicherungsbranche eingeschätzt wurde, bei dem bisher weder eine intensive brandschutztechnische Bewertung durch Experten aus der Schadenverhütung noch zusätzliche Anforderungen neben den gesetzlichen

Sicherheitsvorschriften hinsichtlich des Brandschutzes erfolgte.

Daher wurde anhand der Risikosituation vor Ort, der Baugenehmigungen und Brandschutzkonzepte geprüft, ob ein vergleichbares Brandereignis prinzipiell hätte verhindert werden können oder spezielle Anforderungen an den Brandschutz für Busabstellhallen zu stellen sind. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen wurde ein Sicherheitskonzept entwickelt, wie solche Totalverluste verhindert werden können. Um dieses Konzept auch belastbar bei Fachleuten und den Verkehrsgesellschaften präsentieren zu können, wurde die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin (BAM) als wissenschaftlicher Partner beauftragt. Die BAM sollte das Brandgeschehen nachstellen und die Brandausbreitung in Busdepots unter Variation von verschiedenen Einflussparametern untersuchen, um die Risiken und Brandschutzmaßnahmen bewerten zu können.



2. Recherche von Busbränden und statistische Erhebungen

Nach statistischen Abschätzungen brennen jährlich 350 bis 400 Busse in Deutschland.³ Die Dunkelziffer scheint allerdings wesentlich höher zu sein, da keine offiziellen Statistiken für Busbrände existieren. In einer 2012 veröffentlichten Studie⁴ wurden von Studenten der Uni Magdeburg 141 Busbrände, die sich von 1997 bis 2010 ereignet hatten, auf Brandursachen ausgewertet und mit den Ergebnissen einer 2004 erstellten Dekra-Studie⁵ von Bränden in 55 Bussen verglichen. Beide Untersuchungen zeigen, dass sich der Brandausbruch zu über 75 % im Motorraum ereignet und zu ca. 85 % fahrende Busse betroffen sind. Auch neue Busse, die jünger als ein Jahr alt waren, waren laut Dekra-Studie häufig von einem Brand betroffen (67 %).

Allerdings führt nicht jeder Brand zu einer Katastrophe mit 20 Toten, wie 2008 auf der A 2, als ein Reisebus während der Fahrt in Flammen aufging. Unabhängig dieses tragischen Einzelfalls ist die Gefahr, eine Rauchgasvergiftung zu erleiden, sehr groß, wenn man typische Busbrände analysiert und die Zusammensetzung der Rauchgase kennt.⁶

Der eingangs beschriebene Brand des Busdepots in NRW 2011 ist nicht der einzige, allerdings derjenige mit den bisher gravierendsten Ausmaßen. 2007 brannten in Heidelberg⁷, 2009 in Darmstadt⁸ und erst im Mai 2013 in München⁹ entsprechende Busdepots bzw. Werkstatthallen. Kennzeichnend für alle diese Brände waren die sehr schnelle Brandausbreitung, die Brandentstehung im Motorraum und in der Regel die Zerstörung der Busse in dem betroffenen Brandabschnitt, wie z. B. in der Werkstatthalle.

Bei dem Busdepotbrand in NRW wurde die Schadenursache mit großer Wahrscheinlichkeit auf den Bereich des Motorraumes, in dem auch die Batterien untergebracht sind, eingegrenzt. Hier zeigten sich im Bereich der Batterie massive Schmelzspuren



Bild 1 | Ausgebrannte Busabstellhalle (Quelle: IFS-Gutachten¹)

Bild 2 | Blick in die Abstellhalle mit den ausgebrannten Bussen (Quelle: IFS-Gutachten¹)

Bild 3 | Batterie im Motorraum (Quelle: IFS)

an der Dauer-Plus-Leitung (**Bild 3**).

Möglicherweise führt die kompaktere Bauweise von Motoren, um einen größeren Fahrgastraum sowie erhöhte Service- und Komfortansprüche zu erzielen, bei einer

Störung zu diesen gefährlichen Brandereignissen. Wenn z. B. eine druckführende Leitung leckt, können sich Betriebsmittel freisetzen und in Verbindung mit einer Zündquelle entzünden.¹⁰ ▶



3. Ergebnisse aus den Risiko- untersuchungen von Bus- und Bahndepots vor Ort

Neben diversen Verkehrsbetrieben (Bus-, Straßenbahndepot) wurden auch Abstellhallen der Müllabfuhr, Straßenbahnbetriebe etc. durch die Schadenverhütungsingenieure der Versicherung besichtigt und bewertet. Dabei wurden die Depots dieser Einrichtungen unter der Fragestellung untersucht, ob ein vergleichbares Schadenereignis wie 2011 wieder eintreten kann, und wenn ja, welche Maßnahmen baulicher, technischer und organisatorischer Art den Totalverlust der Abstellhallen und vor allem der darin abgestellten Fahrzeuge verhindern können.

Hierbei sind folgende Kriterien eingeflossen:

- Hallengröße und Hallenhöhe
- Brandentwicklung und Brandausbreitung in der Halle
- Brandentwicklung und Brandausbreitung in und an den Fahrzeugen
- Brandlast und Abbrandverhalten der abgestellten Fahrzeuge
- Brandfrüherkennung und Löschmitteltechnik

Im Verlauf weiterer Untersuchungen lag der Fokus auf den Busdepots, da diese im Vergleich zu Straßenbahnen oder anderen kommunalen Betrieben (Straßenmeisterei, Müllabfuhr etc.) besonders gefährdet sind. Die Differenzierung ergab sich aus den Untersuchungen des unterschiedlichen Brandverhaltens der Innenraummaterialien von Bussen und Straßenbahnen (siehe 4.3).

Für Busabstellhallen gibt es keine speziellen Regelungen in der Sonderbauverordnung NRW (SBauVO NRW)¹¹. Ab 1.000 m² Fläche handelt es sich um eine Großgarage, für die besondere Anforderungen gelten (Mindestanforderungen an den baulichen Brandschutz, an Rauchabschnitte, Brandmelde- oder Löschanlage). Diese Anforderungen gelten für Pkw-Großgara-



Bild 4 | Cone-Kalorimeter

gen. Die untersuchten Busabstellhallen hatten Hallengrößen von 5.000 bis über 12.000 m² und unterscheiden sich gravierend von Pkw-Tiefgaragen. Der Aufbau der Busdepots ist durch die Betriebsweise in den verschiedenen Verkehrsgesellschaften ähnlich gelagert: In der Regel handelt es sich um eine oder mehrere große Busabstellhallen mit angrenzender Werkstatt, Waschstraße, Lager für Betriebsmittel, Sozialräume etc. Diese Betriebseinrichtungen können in der Busabstellhalle baulich integriert sein. Bei den neueren Betrieben waren fachgerecht ausgeführte feuerbeständige Trennungen vorhanden oder die einzelnen Bereiche waren räumlich von der Busabstellhalle getrennt. Bei den älteren Betrieben (teilweise aus den 1950er Jahren) gab es entsprechende Defizite in der feuerbeständigen Abtrennung bzw. sie waren aufgrund des Baualters damals auch nicht gefordert. Dementsprechend stellten sich die vorgefundenen Zustände des baulichen und anlagentechnischen Brandschutzes der Hallen sehr unterschiedlich dar. Teilweise waren spezielle Brandmeldeanlagen (Flammendetektion, Wärmeleitkabel in der Abstellhalle, Rauchmelder in den Nebenräumen Werkstatt, Lager) oder eine Sprinkleranlage zum Schutz der Busabstellhalle vorhanden.

Für die neueren Gebäude wurden im Rahmen der Genehmigungsverfahren Brandschutzkonzepte erstellt. Allerdings berücksichtigen diese weder die enorme Brandlast in den Bussen noch das extrem schnelle Abbrandverhalten. Hinzu kommt der „besondere Schutz“ der brennbaren Innenraummaterialien in den Bussen, da die Karosserie das Eindringen von Löschwasser auf den Brandherd verhindert. Der Businnenraum, der die Brandlast beinhaltet, wird durch das Löschmittel einer Sprinkleranlage nicht erreicht. Ebenso wenig wurden die speziellen Bedingungen für abgestellte Busse beleuchtet. Durch die enge Abstellpraxis der Busse in den Hallen breitet sich der Brand schnell auf die direkt umliegenden Busse aus. Der Abstand zwischen den parkenden Bussen beträgt zum Teil weniger als 60 cm! Daher muss die Effektivität selbst einer automatischen Sprinkler-Löschanlage infrage gestellt werden. Eine ausreichende Sicherheit, dass dadurch der Brand auf eine geringere Anzahl von Bussen in der Halle begrenzt werden kann, ist nicht erkennbar. Ergebnis: Aus den vorliegenden Einschätzungen gelangt man zu der Erkenntnis, dass die vorhandenen Brandschutzüberlegungen und -konzepte einen Totalverlust nicht hätten verhindern können. Dies hängt mit den speziellen Gegebenheiten des Betriebes,



der Abstellpraxis von Bussen und der nicht ausreichenden Berücksichtigung des Brandverlaufes in einem Busdepot, wie der Brand im Dezember 2011 zeigte, zusammen. Daher sind andere Brandschutzkonzepte gefordert, die das Brandverhalten, die Abbrandgeschwindigkeit, die Wärmefreisetzung und die Rauchgasentwicklung berücksichtigen.

4. Detaillierte Untersuchungen und verschiedene Brandsimulationen durch die BAM

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin (BAM) untersuchte das Brandverhalten von Busbränden mithilfe von numerischen Simulationen, die auf speziellen mathematischen Modellen mit detaillierten Materialwerten basieren. Ziel der Untersuchung war, aus dem Brandverhalten von Bussen und Straßenbahnen Brandschutzmaßnahmen für Bus- und Straßenbahndepots abzuleiten. Insbesondere die Modellierung von Brand-szenarien war für die Vorhersage, welche Maßnahmen ein Busdepot schützen kann, wesentlich. Auch die Auswertung des Brandrauches über die Brandanalytik mittels FTIR-Analyse, um die Toxizität der Materialien im Brandfall nachzuweisen, ist für den Schutz der Fahrgäste unerlässlich.

Für die Brandversuche zur Untersuchung der Busbrände bei der BAM wurden folgende Tests und Untersuchungen* durchgeführt:

Small-scale Tests

- Brennkasten (EN ISO 11925-2)
- Cone-Kalorimeter (EN ISO 5660)
- Raumdichtekammer (EN ISO 5659-2)

Real-scale Tests

- Fahrgastssitze im SBI
- Fahrgastssitz im Linienbus
- Motorraumbrände mit Detektion/ Löschen
- Rauchmelderversuche im Linienbus
- Brand eines Nahverkehrsbus

* Ein Teil der durchgeführten Untersuchungen wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), gefördert.

	Kraftfahrzeuge	Schienefahrzeuge	Schifffahrt	Luftfahrt
Richtlinie	95/28/EG, ECE R118	96/48/EG	SOLAS Chapter 11-2	FAR 25*
Tests/Normen	ECE R118 Anhänge	EN 45545	Fire Test Procedure Code	FAR 25 + Appendix
Bunsenbrenner	ECE R118 Anh. VI und VIII	EN 45545-2	IMO FTP Code* Part 1	FAR 25.853/855
Cone-Kalorimeter	–	EN 45545-2	IMO FTP Code Part 5	FAR 25.853
Raumdichtekammer	–	EN 45545-2	IMO FTP Code Part 5	FAR 25.853
Strahlungstest (Boden)	–	EN 45545-2	IMO FTP Code Part 5 und 6	FAR 25.856
Sitze	–	EN 45545-2	IMO FTP Code Part 8	FAR 25 Part II Appendix F

Tabelle 1 | Brandschutzanforderungen an Innenraummaterialien verschiedener Fahrzeuge (Kraftfahrzeug entspricht z. B. den Busmaterialien)

* Fire Test Procedures Code der Internationalen Schifffahrtsorganisation (IMO FTP Code Part 5)

* FAR = Federal Aviation Regulations

Die Betriebsbedingungen von Bussen und Bahnen sind hinsichtlich der Fahrgäste, der betrieblichen Anforderungen, des öffentlichen Auftrages, des Verkehrsträgers etc. vergleichbar. Daher konnten die Busmaterialien (siehe **Tabelle 1** unter Kraftfahrzeuge) nach den Standards für Bahnmateriale untersucht werden. Dies hatte den Vorteil, dass man auf normierte Standardverfahren (z. B. EN 45545-2) zurückgreifen konnte, die nicht angreifbar sind.

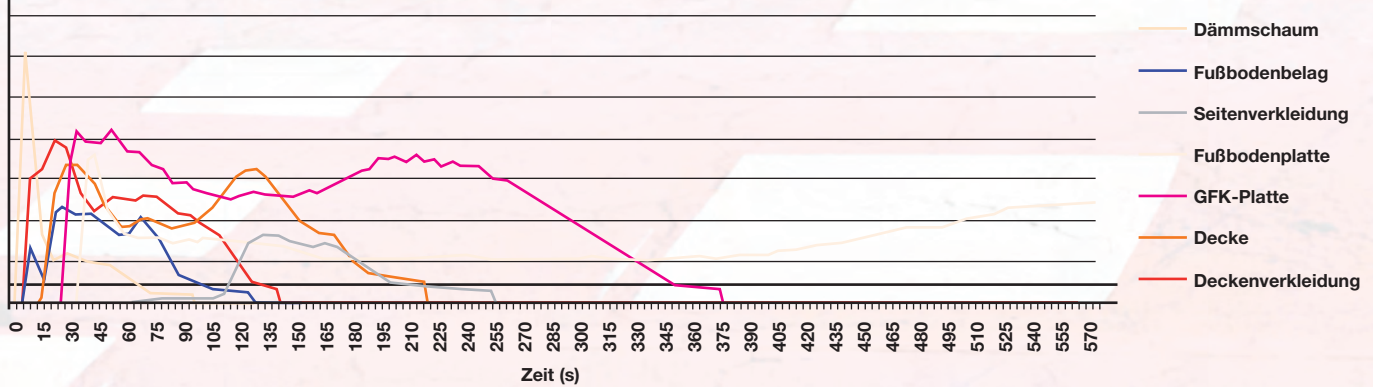
Die **Tabelle 1** zeigt die brandtechnologischen Tests für die Innenraummaterialien im Vergleich der verschiedenen Verkehrsmittel. Der fundamentale Werkstofftest (Bunsenbrenner nach dem amerikanischen Standard FMVSS 302) für Innenraummaterialien in Bussen ist das Prüfverfahren zur Bestimmung der horizontalen Brenngeschwindigkeit (ECE R118). Dieser Test wird nahezu von allen Materialien bestanden.^{12,13} Der Vergleich mit anderen Transportsektoren zeigt, dass die Brandschutzanforderungen für Busse weit unter den Anforderungen der anderen Verkehrsträger liegen. Der Cone-Kalorimetertest (**Bild 4 und 5**) ist ein wesentlicher Bestandteil der Brandschutztests in den anderen Verkehrsträgern ▶



Bild 5 | Dämmprobe (10 x 10 cm) im Cone-Kalorimeter danach



Wärmefreisetzungsrate beim Cone-Kalorimeter (50 kW/m²)



Grafik 1 | Wärmefreisetzungsrate beim Cone-Kalorimeter gegenüber Zeit. Innerhalb von 120 Sekunden ist bei den meisten Innenraummaterialien die gesamte Wärmemenge freigesetzt worden.

(Messung der Wärmefreisetzung), fehlt aber ebenso wie die Untersuchung der Rauchgasdichte und -toxizität von Busmaterialien (**Grafik 1**).

4.1 Real-Brandversuche

Nach diversen Brand- und Rauchgasversuchen mit einzelnen Testmaterialien wurden Versuche auf Fahrzeug-Innenraumsysteme, z. B. Fahrgastsitze, bis hin zu einem Brandversuch mit einem vollständigen Linienbus ausgedehnt (siehe **Tabelle 2, Bild 6**). Mit den hierdurch ermittelten Kenngrößen aus allen Versuchen, z. B. Abbrandgeschwindigkeit, Wärmefreisetzungsrate, Rauchgasmengen, -dichte und -toxizität, wurde das Brandverhalten anschließend in einer mathematischen Simu-

lation nachgestellt, um daraus effektive Schutzmaßnahmen entwickeln zu können.

Es zeigte sich, dass die verbauten Innenraummaterialien eine Brandlast besitzen, die ungefähr mit der im Fahrzeug mitgeführten Menge an Kraftstoff vergleichbar ist.

Zudem sind diese Materialien im Bus durch eine große Oberfläche gut zugänglich, ungeschützt (also nicht schwer entflammbar) und können leicht entzündet werden. Die im Brandfall frei werdende Wärmeenergie reicht für den Abbrand des gesamten Busses aus.

Bei der Auswertung der Busmaterialien im Vergleich mit den Bahnstandards (**Bild 7**) müssten alle Materialien ausgetauscht werden und dürften weder in Straßenbah-

nen noch in Zügen Verwendung finden. Selbst im Vergleich mit den Bauproduktklassen nach DIN 4102-1 (bzw. DIN EN 13501-1) ergeben sich hierbei entweder normal entflammbare (B 2) oder leicht entflammbare (B 3) Baustoffe, wobei leicht entflammbare Baustoffe in Gebäuden generell nicht zum Einsatz kommen dürfen (siehe **Tabelle 1 und 2**).

4.2 Vorschriften des Brandschutzes von öffentlichen Verkehrsträgern

Unter den öffentlichen Verkehrsträgern wie Schienenfahrzeugen, Schiffen oder Flugzeugen stellt im Brandfall der Bus das gefährlichste Fahrzeug für die Fahrgäste dar. Und das obwohl beispielsweise Straßen-

	Zulässig als Bauprodukt nach EN ISO 11925-2	Zulässig als Bahnmaterial nach EN 45545-2	Euroklasse nach DIN EN 13501-1	Baustoffklasse nach DIN 4102
Dämmung	Nein	Nein	F	B3
Fußbodenbelag	Ja	Nein	D	B2
GFK-Teil	Ja	Nein	D	B2
Deckenverkleidung	Ja	Nein	D	B2
Decke	Nein	Nein	F	B3
Armaturenbrett	Nein	Nein	E	B2

Tabelle 2 | Vergleich der Innenraummaterialien nach verschiedenen Anforderungen (Quelle: BAM, 2013)



Bild 6 | Real-Brandversuch mit einem Bus beim SP Technical Research Institute of Sweden

bahnen und Stadtbusse bzw. Reisebusse und Fernzüge in etwa gleiche Evakuierungsbedingungen aufweisen. Die Unterschiede der Brandschutzanforderungen zwischen den erstgenannten Verkehrsmitteln und den Bussen sind eklatant. Die im Wesentlichen weltweit geltenden Brandprüfungen für die Innenmaterialien von Bussen stammen ursprünglich von dem amerikanischen Standard FMVSS 302⁴. Dieser wurde in den 1960er-Jahren für Straßenfahrzeuge entwickelt und sollte mit Brandprüfungen für Innenraummaterialien das Brandverhalten gegen kleine Zündquellen (Raucherutensilien) Schutz bieten. Allerdings haben sich seitdem sowohl die

Motoren als auch die Materialien von und in Bussen erheblich gewandelt. Die aktuellen Vorschriften berücksichtigen bei Weitem nicht die gestiegenen zusätzlichen Gefahren durch den Einzug eines immer stärker steigenden Kunststoffanteils für die Innenraummaterialien (**Bild 7**).

Weltweit, und damit auch für Deutschland, sind die UNECE R 118 für Brandschutzanforderungen an Innenraummaterialien und die UNECE R 107 für weitere Brandschutzaspekte in Bussen verbindlich (Tabelle 1). Lange Zeit gab es keine Fortschreibung oder Anpassung der Prüfanforderungen an die heutigen Materialien für Busse. Wie schon erwähnt wird die horizontale Brenngeschwindigkeit nach FMVSS 302 geprüft. Dieser Test wird nahezu von allen Materialien bestanden.^{11,12} Übersetzt heißt dies: Wie lange kann man ein Streichholz waagrecht in den Fingern halten, ohne sich zu verbrennen? Die senkrechte Brandweiterleitung, wenn man das Streichholz mit der Flamme nach unten hält, wird nicht untersucht! Entwickelt wurde der Brandversuch ursprünglich, um Brände, die durch Rauchen im Fahrzeug entstehen könnten, zu verhindern.

Erst in den letzten Jahren wurde die bestehende Gefahr bei Bussen, ausgehend von unzureichenden Brandschutzanforderungen und der Vielzahl an Busbränden (z. T. mit Opfern), vonseiten des Gesetzgebers

erkannt und behandelt. Ergänzend zu den bestehenden Brandschutzprüfungen ist eine Anforderung für Elektrokabel hinzugekommen. Außerdem müssen Materialien von vertikal verbauten Innenraumteilen zukünftig auch vertikal getestet werden, die zulässige horizontale Brandgeschwindigkeit wurde zudem von 100 mm/min auf 80 mm/min gesenkt. Erstmals werden nun auch Branddetektoren bzw. Rauchmelder für Motorräume und nicht einsehbare Abteile im Bus gefordert. In den kommenden Jahren werden vielleicht auch Löschanlagen für Motorräume folgen. Viele der neuen Anforderungen werden aber erst zwischen 2014 und 2020 rechtskräftig, weshalb noch mehrere Jahre Busse mit den heute zulässigen, aber veralteten Brandschutzstandards auf den deutschen Straßen unterwegs sein werden.

Nach Meinung von Brandschutzexperten sind dies zwar erste Schritte in die richtige Richtung, aber noch längst nicht alle notwendigen Maßnahmen, die an den eigentlichen Kernproblemen ansetzen. Die eigentliche Gefahr eines Brandes geht zumeist von den Rauchgasen aus. Speziell bei Kunststoffen sind es die hohen Konzentrationen toxischer Rauchgaskomponenten, die eine lebensgefährliche Bedrohung innerhalb kürzester Zeit darstellen. Eine schnelle Selbstrettung ist absolut notwendig. Aber auch die Entzündbarkeit und die Brandausbreitung der Materialien sind zu ▶

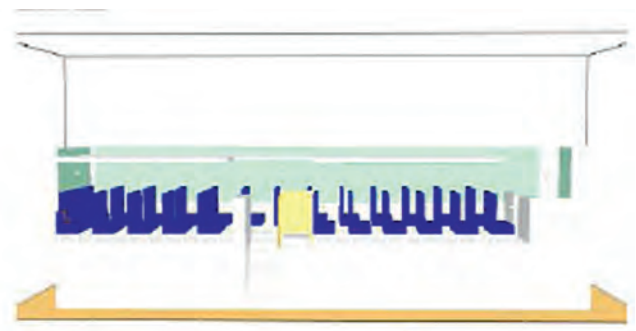
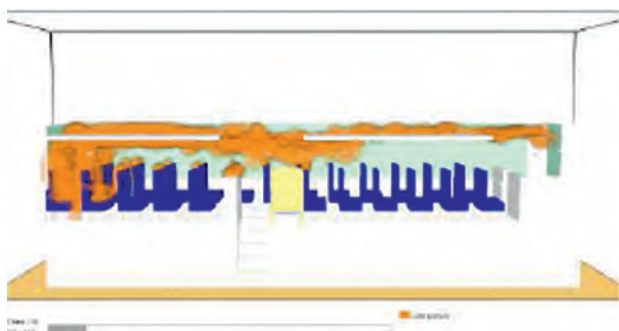


Bild 7 | Vergleich Simulation Brandentwicklung Bus gegenüber Bahn



betrachten, da diese in den Bussen völlig unzureichend geregelt ist. Für einen realitätsnahen und ausreichenden Brandschutz einschließlich Rauchgassicherheit für die Fahrgäste müssten die Prüfanforderungen mindestens folgende Kriterien umfassen, wie sie beispielsweise auch für Schienenfahrzeuge und Schiffe üblich sind:

- 2.1 Minimierung der Entzündbarkeit von Materialien und Einschränkung der vertikalen Brandausbreitung (ISO 11925-2)
- 2.2 Einschränkung der Rauchgasproduktion und der Rauchgastoxizität (Prüfung mit ISO 5659-2, gekoppelt an ein FTIR-Messgerät nach ISO/DIS 21489, Prüfablauf nach EN 45545-2, Grenzwerte nach SMP-800-C)
- 2.3 Einschränkung der Wärmefreisetzungsrate (ISO 5660-1, Grenzwerte nach EN 45545-2)
- 2.4 Einführung einer Brandschutzprüfung für Fahrgastsitze (ISO/ TR 9705-2, Ablauf und Grenzwerte nach EN 45545-2)
- 2.5 Einsatz von Rauchmeldern für nicht einsehbare Bereiche im Bus (seit Ende 2012 vorgeschrieben und ab 2014 für neue Busse gültig)
- 2.6 Rauchklappen im Deckenbereich, kombiniert mit Rauchmeldern

Auf Basis der vorgenannten Prüfkriterien müssten keine neuen Anforderungen entwickelt, sondern nur die bestehenden Anforderungen von den Schienenfahrzeugen auf Busse übertragen werden.

Bei Bränden gilt ein Grundsatz, der oft vergessen wird: Materialien aus Kunststoff sind brennbar. Kunststoffe werden aus Kohlenstoffverbindungen, also Erdöl, hergestellt. Auch durch Umwandlungen und Veredelungen bleiben Kunststoffe brennbar, mit einem sehr hohen Energiegehalt. Die Kunststoffe behalten somit ihre Energie und geben diese je nach Umgebungsbedingungen ab. Damit steigt aber auch die

Brandgefährdung, wenn Temperaturen die Zündenergie der Kunststoffe erreichen und diese zur Zündung bringen. Beim Einsatz von leichteren Rohstoffen und Entwicklungen muss das spezifische Brandverhalten betrachtet werden.

Dieses Beispiel zeigt sehr deutlich, wie Vorschriften und Normen mit der technischen Entwicklung nicht Schritt gehalten haben. Erst durch Schadenereignisse erkennt man, dass durch den Einsatz von modernen Werkstoffen plötzlich eine Gefahr entstanden ist, die völlig unterschätzt wurde. In Gesprächen mit einzelnen Akteuren von Verkehrsbetrieben und Herstellern, aber auch bei Sachverständigen herrscht Einigkeit, dass Handlungsbedarf besteht.

4.3 Simulationen

Die Simulationen wurden mit dem Fire Dynamic Simulator (Version 5.3) vom National Institute of Standards and Technology in den USA und Pyrosim als unterstützende Software durchgeführt. Das Programm Smokeview wurde zur Auswertung benutzt.

Folgende Simulationen wurden durchgeführt:

- Einzelbus und Einzelbus in einer Halle,
- Einzelbus mit unterschiedlichen Materialien im Vergleich Bus- und Bahnstandard
- 6 Busse in einer Reihe und mit geänderten Flächen der RWAs,
- 12 Busse und 18 Busse in einer Reihe und
- Modell eines Busdepots

Für die Busdepots wurden Simulationen mit verschiedenen großen Rauch-/Wärmeabzugsanlagen im Flächenbezug zur Halle durchgeführt, um die gefährlichen Rauchgase und die großen Wärmemengen aus der Halle abzuleiten. Um einen spürbaren Effekt nachweisen zu können, musste in der Simulation das gesamte Dach weggelassen werden. Neben der Brand- und

Rauchausbreitung wurden auch die Temperaturprofile simuliert. Die Simulationen sind unter dem Link: www.provinzial-online.de/busbraende, Passwort: Schutzsystem, hinterlegt.

Leider werden die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen durch eine Vielzahl von realen Busbränden auf den Straßen bestätigt. Fest steht, dass der Zeitraum der Brandausbreitung, ausgehend vom Motorraum bis zur vollständigen Verrauchung des Innenraumes, extrem kurz ist. Besonders kritisch sind aber Brandverläufe, bei denen sich der Ort der Brandentstehung im Innenraum des Busses befindet.

Bereits nach ca. 2 Minuten ist eine Gesundheitsschädigung der Fahrgäste durch Rauchintoxikation und Temperaturen von mehr als 800 °C unvermeidbar. Die Qualität der Simulationen lässt sich am zeitlichen Vergleich zwischen dem Brandverlauf am Computer und dem realen Abbrand des Depots in NRW überprüfen. Zufällig lag eine Videoaufnahme vor. Die Ergebnisse in der Simulation zeigen, dass innerhalb von 2 bis 3 Minuten der erste Bus durchzündet, nach 5 bis 7 Minuten ist die Halle komplett verraucht und nach 10 bis 15 Minuten hat sich der Brand fast flächendeckend ausgebreitet. Diese Daten sind identisch mit dem Realbrand. Dort war dann nach ca. einer Stunde der Großteil des brennbaren Busmaterials in der Halle, die 70 Busse, verbrannt.

5. Anforderungen an den Brandschutz und Konsequenzen aus den Ergebnissen

Folgende Randbedingungen sind bei Brandschutzkonzepten für Busdepots zu berücksichtigen:

1. Die Brandlast von Bussen ist durch die Innenraummaterialien extrem hoch und in der Regel durch die metallene Karosserie vor Löschmittel von außen gut geschützt,
2. die Zwischenräume zwischen den abgestellten Bussen sind extrem eng,
3. die Brandausbreitung in einem Bus



- bis zum Vollbrand vollzieht sich innerhalb kürzester Zeit (ca. 2 Minuten!),
4. der Brandüberschlag zu den benachbarten Bussen geschieht ohne große Zeitverzögerung, sodass in kürzester Zeit bei dicht abgestellten Bussen diese ebenfalls im Vollbrand stehen,
 5. es entwickeln sich enorm große Rauchgas- und Wärmemengen,
 6. eine Verringerung der Brandlast ist kaum möglich und
 7. der Abzug von Wärme und Rauchgasen ist nicht realisierbar.

FAZIT:

Eine Veränderung für den Brandschutz in Bussen im Betrieb ist für den Personenschutz, insbesondere für die vielen Schulkinder, unabdingbar. Ohne den generellen Einsatz von Motorlöschsystemen in Motorräumen von Bussen steht zu befürchten, dass bei der Vielzahl von Busbränden zukünftige weitere Fahrgäste verletzt werden. Wenn man bedenkt, dass gerade die schwächsten Mitglieder unserer Gesellschaft, unsere Kinder, auf sichere Busse angewiesen sind, sind hier alle Akteure (Gesetzgeber, Bushersteller, Verkehrsgesellschaften etc.) gefordert, dringend den Brandschutz zu verbessern. In Schweden ist man dabei schon wesentlich weiter: Dort besteht eine Nachrüstpflicht und die Löschanlage im Motorraum ist technischer Standard.

Ein Brandschutzkonzept muss diese Tatsachen auch für die Busdepots berücksichtigen. Entweder muss die Abstellhalle feuerbeständig durch eine Brandwand unterteilt, mit max. 20 Bussen pro Brandabschnitt, ausgeführt sein. Die Größe von 20 Bussen ergibt sich aus einer versicherungstechnischen und organisatorischen handhabbaren Menge. Alternativ muss eine frühzeitige Löschung des Entstehungsbrandes im Motorraum sichergestellt werden, damit es keinen Totalverlust von Busdepots samt Inhalt gibt.

Bisherige Brandschutzkonzepte können nach den vorliegenden Auswertungen und Simulationen den Brand in einem Busdepot weder minimieren noch verhindern! Mithilfe der neuesten Untersuchungen und den Simulationen konnte wissenschaftlich nachgewiesen werden, dass die herkömmlichen Brandschutzkonzepte von Busabstellhallen den vorhandenen Gefahren nicht annähernd entsprechen und daher infrage zu stellen sind. Busabstellhallen sind nicht mit Großgaragen zu vergleichen.

Zudem lassen sich durch das vorgestellte Konzept Kosten für die Nachbesserung oder gar den Neubau einer Busabstellhalle wesentlich reduzieren. Die eingesparten Kosten bei der „brandschutztechnischen“ Gestaltung der Abstellhalle können zur Nachrüstung von Motorlöschsystemen wesentlich effektiver eingesetzt werden. Dabei hat die Verkehrsgesellschaft den Vorteil, dass die Busse vor allem im Betrieb geschützt sind, was der Fürsorgepflicht der Verkehrsgesellschaft für ihre Fahrgäste und deren Sicherheit entgegenkommt. ■

Dr.-Ing. Anja Hofmann-Böllinghaus,
Dipl.-Ing. Steffen Dülsen,
Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung, Berlin
Dr. rer. nat. Georg Scholzen,
Westfälische Provinzial Versicherung AG,
Münster

Literatur

- ¹ IfS-Gutachten 11/2022-0 vom 20.01.2012
- ² Bottrop (2011), aus WAZ, 04.03.2012, <http://www.derwesten.de/staedte/bottrop/video-dokumentiert-feuerwalze-in-bottroper-busdepot-id6426086.html>, <http://www.tagesspiegel.de/weltspiegel/17-millionen-euro-schaden-grossbrand-zerstoert-busdepot-in-bottrop/5994732.html>
- ³ Steffen Dülsen, Anja Hofmann, Ulrich Krause, Vorbeugender Brandschutz, 7/11 S. 524–527, Brandschutzanforderungen an die Materialien von Kraftomnibussen
- ⁴ Anja Hofmann-Böllinghaus, Steffen Dülsen, Gefahren bei Busbränden, Technische Sicherheit Bd 2, (2012), S. 33–40
- ⁵ Dekra-Studie: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen, 2005, Stuttgart im Auftrag des BAST
- ⁶ Frieder Kircher, der Busbrand – ein seltenes Ereignis?, Brandschutz Deutsche Feuerwehrzeitung 7/11 S. 522–523
- ⁷ Heidelberg (2007): <http://www.wiesbaden112.de/?p=245>
- ⁸ Darmstadt (2009): <http://www.merkur-online.de/aktuelles/welt/busse-brand-depot-beschaedigt-473897.html>
- ⁹ München (Mai 2013): <http://www.omnibusrevue.de/brand-im-busdepot-1248035.html>,
- ¹⁰ Helmut Enk, Sachverständiger, Umschau vom 14.08.2012
- ¹¹ Verordnung über Bau und Betrieb von Sonderbauten, SBauVO NRW vom 17.11.2009
- ¹² Digges, K.H. et al.: Human survivability in motor vehicle fires, Fire and Materials 32 (2008) Nr. 4, S. 249–258
- ¹³ Försth, M., Modin, H., Sundström, B.: A comparative study of test methods for assessment of fire safety performance of bus interior materials, Fire and Materials 2011. DOI: 10.2002/fam.1116