

# **Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Fahrzeugtechnik Heft F 51**

**bast**

# Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen

von  
Markus Egelhaaf  
F. Alexander Berg  
Hans-Otto Staubach  
Thomas Lange

DEKRAAutomobil GmbH  
Stuttgart

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 51

**bast**

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

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

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

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

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

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

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt 82.187/2000:**  
Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen

### Projektbetreuung

Frank Nicklisch

### Herausgeber

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

### Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

ISSN 0943-9307

ISBN 3-86509-161-X

Bergisch Gladbach, September 2004

## Kurzfassung – Abstract

### **Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen**

Brände in Reisebussen stellen ein sehr seltenes Ereignis dar. Das daraus resultierende Gefahrenpotenzial übersteigt aber das eines Pkw bei weitem, da von einer größeren Zahl betroffener Personen ausgegangen werden muss. Bauartbedingt ist mit erschwerten Bedingungen bei der Evakuierung von Bussen zu rechnen, insbesondere bei Sichtbehinderung durch Rauch in Verbindung mit Panikreaktionen der Fahrgäste.

Derzeit gültige Richtlinien für Anforderungen an das Brandverhalten von Werkstoffen der Innenausstattung von Reisebussen geben reale Brände als prüftechnisches Szenario nur näherungsweise wieder. Dabei wird dem Einbauort der Materialien zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Bezüglich Brandausbreitung (Übergang auf andere Baugruppen, brennendes Abtropfen) sind neue Kriterien erforderlich, welche die Zulassung des Werkstoffes beeinflussen können. Hinsichtlich der Toxizität der beim Verbrennen oder bei thermischer Belastung der Werkstoffe, insbesondere der Kunststoffe, entstehenden Rauchgase gibt es bis heute für den Reisebussektor nur unzureichende Vorschriften. In diesem Zusammenhang ist vor allem das gleichzeitige Brennen mehrerer unterschiedlicher Materialien im Innenraum von Reisebussen zu berücksichtigen. Zur Weiterentwicklung des bestehenden Regelwerks für die Zulassung von Reisebussen in Hinblick auf eine Optimierung der Brandvermeidung und der Brandeingrenzung mittels praxisnaher Prüfverfahren sollten im Rahmen dieses Projektes bestehende Regelwerke dargestellt und Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Der vorliegende Abschlussberichts stellt die bisher gewonnenen Erkenntnisse dar. Besonderer Wert wurde dabei auf die Auswertung des realen Brandgeschehens von Reisebussen gelegt. Primär sind hierbei die Brandentstehung sowie die Ausbreitungswege analysiert worden. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Darstellung von Brand-Detektionsverfahren. Forderungen aus dem Eisenbahnbereich in Bezug auf den Brandschutz in Personenzugwagen werden wiedergegeben, die Übertragbarkeit auf Reisebusse wird diskutiert. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden in einem Lastenheft zusammengestellt, wobei die Orientierung an bestehen-

den Regelungen erfolgt. Neben der Prävention mittels Prüfverfahren wird besonderer Wert auf die Organisation sowie die Bereitstellung von Löschmitteln für effektive Erstmaßnahmen im Brandfall gelegt. Die Empfehlungen wurden im Rahmen eines Fachgesprächs mit Experten von Reisebusherstellern, mit Busunternehmern und mit Feuerwehrleuten diskutiert, Brandversuche wurden durchgeführt. Bei den vorgeschlagenen Prüfverfahren erfolgte eine Orientierung an den für das deutsche Eisenbahnwesen relevanten Normen. Zur Kostenreduktion werden für einige Bauteile alternative Prüfverfahren zugelassen. Mangels Reproduzierbarkeit, nur geringer Aussagekraft und unverhältnismäßig hoher Kosten wurden Full-Scale-Tests nicht in die Empfehlungen aufgenommen.

Als Ergebnis steht die Forderung, dass alle Vorschläge im Falle einer Umsetzung europaweit gelten müssen. Die Brandfrüherkennung durch automatische Brandmeldeanlagen wurde für den Motorraum sowie in Teilen für den Innenraum befürwortet; dagegen werden automatische Löschanlagen aus wirtschaftlichen Gründen nicht gefordert werden. Beim mitgeführten Löschgerät sind Änderungen der bestehenden Regelung erforderlich, da sich diese auf abgelöste Normen beziehen, die Kombination von Pulver- und Schaumlöschgeräten hat sich als Optimum herauskristallisiert. Besonders wichtig ist eine Information der Fahrgäste vor Fahrtantritt über die im Bus verwendeten Sicherheitseinrichtungen und deren Funktion. Bisher scheiterte die konsequente Umsetzung an der Vielzahl unterschiedlicher Funktionsprinzipien der Sicherheitseinrichtungen. Hier besteht Handlungsbedarf.

Der Originalbericht enthält als Anhänge eine Darstellung der Brandszenarien: Motorraumbrand, Brandentstehung in Nebenräumen, im Fahrgastbereich, im Außenbereich sowie durch Unfalleinwirkung nebst ausführlicher Gefährdungsmatrix (Teil 1) sowie unter anderem die Prüfverfahren zur Bestimmung von Brenngeschwindigkeiten, Schmelzverhalten von Werkstoffen, Brandverhalten, Rauchentwicklung und Toxizitäten (Teil 2). Auf die Wiedergabe dieser Anhänge wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anhänge im Berichtstext wurden zur Information des Lesers beibehalten.

### Fire behaviour of coach interiors

Fires in coaches are a very rare occurrence. However, the dangers posed by such fires far outweigh those posed by passenger cars, due to the larger number of persons normally concerned. Due to design-related factors, buses are also generally more difficult to evacuate, especially if vision becomes impaired by smoke and the bus passengers start to panic.

Presently applicable guidelines concerning the fire behaviour of materials forming the interior of coaches are based on technical tests which only roughly approximate real fires. Too little attention is paid here to material installation points. Fire propagation (transmission to other assembly groups, blazing fluid) needs to be governed by new criteria regarding material approval. Present regulations for coaches are inadequate as concerns the toxicity of fumes arising during combustion and thermal stressing of materials, especially plastics. In this context, particular consideration needs to be paid to a simultaneous burning of different materials inside coaches. This project was intended to examine existent bodies of rules regarding approvals of coaches and explore possibilities of improving these rules with a view toward optimizing fire protection and restriction measures by means of practical test techniques.

This final report describes the findings obtained so far. Special importance has been attached to evaluations of real fire situations involving coaches, origin and propagation of fire being the focuses of analysis here. Emphasis has also been placed on a description of fire detection procedures. Railway specifications concerning fire protection in passenger train carriages are provided and their applicability to coaches is discussed. The obtained findings have been compiled in a set of product specifications based on existent regulations. In addition to prevention by means of test techniques, special priority is given to organization and supply of extinguishing agents as part of effective initial fire-fighting measures. Recommendations were discussed in technical meetings with experts from the coach manufacturing industry, bus operating companies and fire-fighting departments; this was accompanied by a conduction of fire tests. The recommended test techniques are derived from standards of relevance to the German railway network. To lower costs, alternative test techniques have been approved for certain components. Due

to a lack of reproducibility, low degree of usefulness and disproportionately high costs, full scale tests have not been included in the recommendations.

This has resulted in a requirement for all implemented proposals to be applicable throughout Europe. Early fire detection by means of automatic systems has been recommended for engine compartments and a number of interior components; for financial reasons, however, automatic extinguishing systems are not specified. Being based on outdated standards, existent regulations concerning on-board extinguishing equipment need to be modified; a combination of extinguishing powder and foam has proven ideal in this context. It is particularly important to notify passengers, prior to commencement of a journey, about the safety facilities and mechanisms present on their bus. Numerous operational incompatibilities between different safety facilities have prevented rigorous implementation so far. Action is required here.

The original report contains an appendix describing fire scenarios (fire in the engine compartment, in neighbouring compartments, in the passenger compartment, on the exterior and fire due to accident), an appendix comprising a detailed hazard matrix (part 1) and an appendix describing test techniques for ascertaining fire spreading rates, melting characteristics of materials, fire behaviour, smoke generation and toxicity levels (part 2). These appendices are not included in the publication at hand. They are available for viewing at the Federal Highway Research Institute. References to the appendices in the report text have been kept for the reader's information.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	7	3.7.8	Löschsysteme	24
<b>2</b>	<b>Reales Brandgeschehen</b>	7	3.8	Generelle Anforderungen	24
2.1	Erste Erkenntnisse	8	<b>4</b>	<b>Bestehendes Regelwerk</b>	24
2.2	Brandursachen und Folgen	8	4.1	Nationale Vorschriften	24
2.3	Einzelfälle	9	4.2	Allgemeine Geltung	24
2.3.1	Brandbeginn im Innenraum	9	4.3	Richtlinie 2001/85/EG	25
2.3.2	Brandbeginn im Motorraum	10	4.3.1	Motorraum	25
2.3.3	Brandverlauf	11	4.3.2	Elektrische Ausrüstung und Verkabelung	25
2.4	Internationale Studien	17	4.3.3	Batterien	26
<b>3</b>	<b>Analyse des realen Brandgeschehens</b>	17	4.3.4	Werkstoffe	26
3.1	Begriffsbestimmungen	18	4.3.5	Feuerlöscher und Verbandkasten	26
3.2	Übersicht der Szenarien	18	4.4	ECE-Regelung R 36	27
3.2.1	Szenario 1: Motorraumbrand	18	4.4.1	Kraftstoff-Einfüllöffnungen	27
3.2.2	Szenario 2: Brandentstehung in Nebenräumen	18	4.4.2	Kraftstoffbehälter	27
3.2.3	Szenario 3: Brandentstehung im Fahrgastbereich	19	4.4.3	Kraftstoff-Versorgungsanlage	27
3.2.4	Szenario 4: Brandentstehung im Außenbereich	19	4.4.4	Notschalter	27
3.2.5	Szenario 5: Brandentstehung durch Unfalleinwirkung	19	4.5	Brennbarkeitsversuche	28
3.3	Einzeldarstellung	19	4.5.1	Richtlinie 95/28/EG	28
3.4	Gefährdungsmatrix	19	4.5.2	Weitere Prüfverfahren	28
3.5	Brandablaufbeschreibung	20	4.6	Auswahl	30
3.5.1	Beispiel für Szenario 1.1	20	<b>5</b>	<b>Grundlagen der Brandlehre</b>	31
3.5.2	Beispiel für Szenario 3.3	20	5.1	Zündung	31
3.6	Risikobetrachtung	21	5.2	Brandentstehung	31
3.6.1	Brandentstehung	21	5.3	Explosionen	33
3.6.2	Brandausbreitung	21	5.4	Brandausbreitung	34
3.6.3	Pyrolytische Emissionen	22	5.5	Brandklassen	34
3.7	Ableitung von Anforderungen an Prüfverfahren	22	<b>6</b>	<b>Toxizität von Rauchgasen</b>	34
3.7.1	Materialien im Motorraum und Innenraum	22	6.1	Toxikokinetik	36
3.7.2	Elektrische und elektronische Leiter, zum Bordnetz gehörende Komponenten und Geräte	23	6.2	Relevante Brandgase	38
3.7.3	Ausbreitungswege	23	6.2.1	Kohlenmonoxid (CO)	38
3.7.4	Leitungsverlegung	23	6.2.2	Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	38
3.7.5	Systemausfälle	23	6.2.3	Stickoxide (NO <sub>x</sub> )	39
3.7.6	Notausstiegsmöglichkeiten	23	6.2.4	Cyanwasserstoff oder Blausäure (HCN)	39
3.7.7	Räumliche Trennung von Bauteilgruppen	23	6.2.5	Chlorwasserstoff oder Salzsäuregas (HCL)	39
			6.3	Grenzwerte unterschiedlicher Einsatzbereiche	39

<b>7</b>	<b>Eisenbahnwesen</b>	41	<b>11</b>	<b>Modellbildung</b>	62
7.1	Aufgabenstellung	41	11.1	Rechnergestützte Simulation	62
7.2	Basisparameter	41	11.2	Grafische Phasenmodelle	62
7.2.1	Umfrageergebnisse	41	<b>12</b>	<b>Brandversuche</b>	64
7.2.2	Prüfungsumfang	41	12.1	Einbauanordnung	65
7.2.3	Anforderungen an die Prüfverfahren	42	12.2	Versuch 1	65
7.3	Klassifizierung der Werkstoffe	42	12.3	Versuch 2	67
7.4	Auswahl der Prüfverfahren	42	12.4	Versuch 3	69
7.4.1	Feuerreaktion der Materialien	43	12.5	Gewonnene Erkenntnisse	72
7.4.2	Feuerbeständigkeit der Baugruppen	46	<b>13</b>	<b>Empfehlungen</b>	72
7.4.3	Prüfung der Brandprodukte	46	13.1	Erforderliche Definitionen	72
7.4.4	Brandversuch natürlicher Größe	47	13.1.1	Reisebus	72
7.5	Übertragbarkeit	48	13.1.2	Innenausstattung von Reisebussen	73
<b>8</b>	<b>Brandschutz</b>	48	13.1.3	Innenraum	73
8.1	Primärer Brandschutz	48	13.1.4	Flashover (Feuerüberschlag)	73
8.2	Sekundärer Brandschutz	48	13.1.5	Übrige Definitionen	73
8.3	Tertiärer Brandschutz	49	13.2	Allgemeine Anforderungen	73
8.4	Zielekatalog	49	13.2.1	Brandmeldeanlage	74
8.5	Diskussion des Zielekatalogs	49	13.2.2	Automatische Löschanlagen	74
8.6	Insassenraum	51	13.2.3	Feuerlöscher	74
8.7	Motorraum	51	13.2.4	Notausstiege und Fluchtwege	74
8.8	Gepäckraum	51	13.2.5	Fahrgastinformation	75
<b>9</b>	<b>Branddetektion</b>	51	13.2.6	Rauchverbote	75
9.1	Detektionsverfahren	52	13.2.7	Batteriekästen	75
9.1.1	Flammenmelder	52	13.2.8	Rauchabzug	75
9.1.2	Thermomelder	52	13.2.9	Automatische Alarmierung	75
9.1.3	Rauchmelder	52	13.3	Toxizitätsprüfung	76
9.2	Einsatzbereiche	53	13.4	Raumtrennung	76
9.2.1	Motorraum	53	13.5	Sitze	77
9.2.2	Gepäckräume	54	13.6	Fußbodenbelag	77
9.2.3	Fahrgastbereich	54	13.7	Reinigung	77
9.3	Meldeverfahren	55	13.8	Mülleimer und Aschenbecher	77
9.4	Ausblick	55	13.9	Elektroinstallation	77
9.5	Mindestforderung	55	13.10	Auswahl der Prüfverfahren	78
<b>10</b>	<b>Brandbekämpfung</b>	56	13.10	Empfohlene Baustoff- und Bauteilprüfungen	78
10.1	Löschanlagen	56	<b>14</b>	<b>Literatur</b>	82
10.2	Feuerlöscher	57			
10.2.1	Löschmittel	57			
10.2.2	DIN EN 3	58			
10.3	Professionelle Brandbekämpfung	58			
10.4	Brandbekämpfung durch Laien	60			
10.5	Erfordernisse im Reisebus	60			

## 1 Einleitung

Im Jahr 1999 wurden den deutschen Versicherungen 190 Reisebusbrände gemeldet [1]. Angesichts dieser Zahl erscheint eine Verbesserung des vorbeugenden Brandschutzes in dieser Fahrzeugklasse vernachlässigbar. Betrachtet man dagegen das Gefahrenpotenzial, welches aus derartigen Ereignissen resultiert, so übersteigt dieses das von Pkw um ein Vielfaches. Ohne Vorwarnung kann eine größere Menge an Personen in einer für sie ungewohnten Umgebung einer direkt ersichtlichen Gefahr ausgesetzt sein. Bauartbedingt ist mit erschwerenden Bedingungen bei der Evakuierung zu rechnen, insbesondere bei Sichtbehinderung durch Rauch in Verbindung mit Panikreaktionen.

Die aus einem Brand resultierende Gefahr besteht nicht nur aus dem unkontrollierten Feuer selbst, vielmehr muss den Begleiterscheinungen, den so genannten Brandnebenerscheinungen, erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet werden. Hierzu zählen die Wärmefreisetzungsraten, die optische Rauchgasdichte, die Menge der entwickelten Rauchgase sowie deren toxische Bestandteile. Die Wärmefreisetzungsraten stehen wiederum in direktem Bezug zur Brandausbreitungsgeschwindigkeit.

Als Reisebus sind Kraftomnibusse definiert, die nach Bauart und Einrichtung für Reisen über lange Wegstrecken bestimmt sind. Die Fahrzeuge sind mit besonderem Komfort für sitzende Fahrgäste ausgestattet, stehende Fahrgäste werden nicht befördert. Die Sitzplatzzahl beträgt inklusive Fahrer mindestens 9 [2].

Das für Reisebusse derzeit gültige Regelwerk bleibt im Brandschutzbereich auf die Materialprüfung im kleinen Maßstab begrenzt. Diese Verfahren sind auch notwendig und liefern wertvolle Erkenntnisse, zur Simulation des realen Brandgeschehens reichen sie aber nur bedingt aus. Prüfungen in großem Maßstab können Aufschluss darüber geben, wie sich mehrere Bauteile nebeneinander verhalten, wie sich die Rauchgaszusammensetzung gegenüber den Einzelproben ändert und ob sich die Abbrandgeschwindigkeit durch negative gegenseitige Beeinflussung erhöht. Bei der Brandausbreitung muss die Übertragung auf andere Bereiche durch brennendes Abtropfen effektiv verhindert werden. Das vorgeschriebene Prüfverfahren muss daher auf die Übertragbarkeit hin überprüft werden. Die gleichzeitige Prüfung mehrerer Baugruppen führt aber zu nicht unerheblichen Problemen bei der Reproduzierbarkeit. Zusätzlich steigen

dadurch die Kosten gerade bei den Kleinserien im Reisebusbereich unverhältnismäßig an.

Bisher unberücksichtigt blieben in diesem Regelwerk die entstehenden Rauchgase und toxischen Stoffe. Hierbei müssen Grenzwerte auch für den Fall aufgestellt werden, dass das Material nur thermisch belastet wird, ohne selbst zu verbrennen. Ebenfalls muss eine Überprüfung in Hinblick auf die Bildung von Pyrolysegasen erfolgen.

Besondere Relevanz hat der Brandschutz bei Komponenten der sicherheitstechnischen Bordausrüstung. So muss vermieden werden, dass ein Brand Notausstiegs- und Rettungseinrichtungen unbrauchbar macht oder die Weiterfahrt in einen sicheren Evakuierungsbereich verhindert.

Für die Auswahl geeigneter alternativer Prüfverfahren bietet sich der Blick über die Grenzen, hin zum Eisenbahn- und Luftfahrtbereich, an. Anleihen können auch in den Testanordnungen des Bauwesens gemacht werden. Die enorme Zahl an standardisierten Prüfverfahren macht die komplette Neukonstruktion und -entwicklung solcher für den Reisebusbereich überflüssig, die Übernahme der in anderen Bereichen gültigen Grenzwerte ist aber nicht ohne weiteres möglich und bedarf einer eigenständigen Betrachtung.

Im vorliegenden Abschlussbericht wird die reale Brandsituation im Reisebusbereich dargestellt. Die Forderungen zum Brandschutz aus der neuen Busrichtlinie 2001/85/EG des europäischen Parlaments und Rates werden vorgestellt, die übrige Rechtslage wird erläutert.

## 2 Reales Brandgeschehen

Die Auswahl geeigneter Prüfverfahren zur Modifikation des bestehenden Regelwerks für Reisebusse erfordert eine grundlegende Analyse des realen Brandgeschehens bei diesen Fahrzeugen. Auf die amtliche Statistik [3] kann hierbei nur begrenzt zurückgegriffen werden, da zum einen nur die Kategorie Reisebusverkehr, nicht aber ein Fahrzeugtyp Reisebus ausgewiesen wird und zum anderen keine Angaben zu Zahlen über Fahrzeugbrände gemacht werden. Für das Jahr 2002 gibt das Bundesverkehrsministerium eine Zahl von ca. 86.000 zugelassenen Kraftomnibussen inklusive Obussen an, wobei dieser Wert den gesamten Linienverkehr mit beinhaltet [4]. Im BAST-Bericht Unfall- und Unfallkostenanalyse im Reisebusverkehr [5] wird für



das Jahr 1993 die Zulassungszahl von rund 19.000 Fahrzeugen genannt.

Zur Erlangung von Erkenntnissen über Einflussfaktoren des Brandgeschehens von Reisebussen wurde bei der DEKRA-Unfallforschung in Zusammenarbeit mit dem DEKRA-Sondergutachtenbereich eine Datenbank aufgebaut, die sich auf Schaden- und Unfallgutachten stützt. Je nach Umfang des ursprünglichen Auftrags variiert der Umfang solcher Gutachten. Enthalten sein können Brandursachenermittlungen, Brandausbreitungswege und Angaben über Personenschäden mit eventuellen Schilderungen der Evakuierung bzw. Rettung. Mindestens enthalten ist das Schadenausmaß mit genauer Benennung der geschädigten Komponenten. Die Datenbank beinhaltet 55 Fälle. Die Ergebnisse der Grobauswertung werden in diesem Kapitel vorgestellt, die der In-Depth-Untersuchung in Kapitel 3 sowie im Anhang.

Erstellt wurden die zitierten Gutachten von DEKRA-Sachverständigen, die im Auftrag von Staatsanwaltschaften, Versicherern und Fahrzeughaltern tätig werden. Neben ihrer Grundqualifikation als DEKRA Sachverständige verfügen diese Spezialisten über Zusatzqualifikationen in den Bereichen Omnibusgutachten sowie Brandursachenermittlung nach Kraftfahrzeugbränden.

## 2.1 Erste Erkenntnisse

Bei der Ermittlung des Betriebszustands im Moment der Brandentstehung kristallisierte sich eindeutig der Fahrbetrieb heraus. In 46 Fällen (84 %) war das Fahrzeug in Bewegung. In weiteren 3 Fällen (5,5 %) stand das Fahrzeug mit laufendem Motor. Diese Erkenntnis ist für die Gefährdungsbeurteilung von besonderer Bedeutung, da gerade in diesem Betriebszustand mit Fahrgästen gerechnet werden muss. Bild 2.1 zeigt die gesamten Ergebnisse.

Betrachtet man die Orte, an denen es zu Fahrzeugbränden kam, so sind die Orts- und Landstraßen mit je 14 bzw. 18 Fällen am häufigsten vertreten, gefolgt von 11 Fällen auf Autobahnen. Das zum Zeitpunkt der Brandentstehung gefahrene Geschwindigkeitsniveau hat nur einen untergeordneten Einfluss. Zwar sind die Landstraßen und Autobahnen als Strecken mit hohem Geschwindigkeitsniveau in der Summe öfter vertreten als Ortsstraßen mit niedrigen Geschwindigkeiten, ein Großteil der von Reisebussen gefahrenen Strecken wird aber

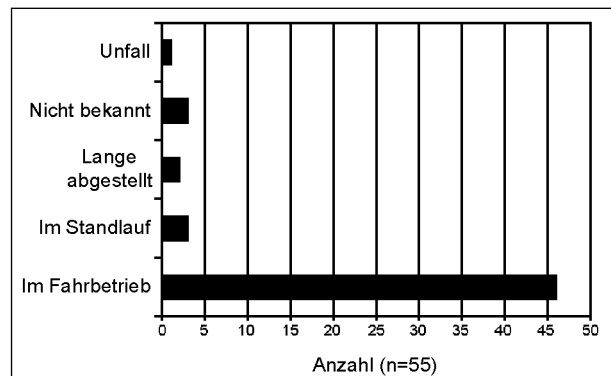


Bild 2.1: Betriebszustand bei der Brandentstehung

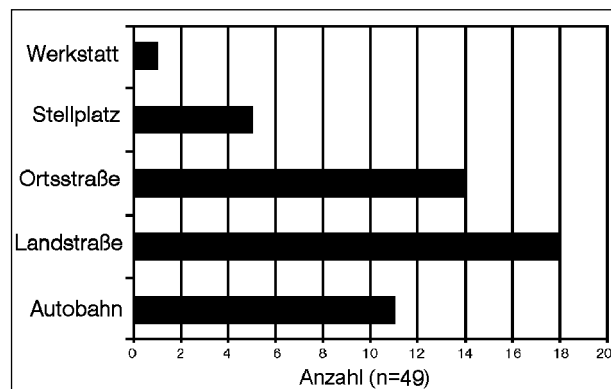


Bild 2.2: Brandorte

auf Fernstrecken zurückgelegt. Bild 2.2 zeigt die zugehörige Verteilung. Eine bedeutende Rolle spielt die Temperatur des Motors. Im Motorraum kam es bei kaltem Motor zu keiner Brandentstehung.

Von insgesamt 42 Reisebussen war das Datum der Erstzulassung bekannt. Es ergab sich folgende Altersverteilung, bezogen auf das Datum des Brandes:

0 Jahre	1
1 Jahre	16
2 Jahre	8
3 – 5 Jahre	7
6 – 10 Jahre	4
11 – 14 Jahre	6

## 2.2 Brandursachen und Folgen

Um einer Brandausbreitung wirkungsvoll entgegenwirken zu können, ist es wichtig, die Ausbreitungswege zu kennen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Brandursache und der räumliche Bereich der Brandentstehung. Die Untersuchung

der Brandursache erlaubt Rückschlüsse auf die vorhandene Zündenergie und somit auf die zur Brandverhinderung bzw. Minimierung der Ausbreitungsgeschwindigkeit erforderlichen Maßnahmen. Undichtigkeiten im Bereich der Kraftstoff- und Ölversorgung waren in 21 Fällen mitverantwortlich. Mechanische Schäden und elektrische Defekte führten in jeweils 11 Fällen zu einem Brand. An dieser Stelle ist es wichtig zu erkennen, dass die angegebene Brandursache nur eine Komponente der zur Brandentstehung notwendigen Größen darstellt. Bei der Kraftstoff- und Ölversorgung handelt es sich um den Brennstoff, bei den elektrischen Defekten um die Zündquelle. Verschleiß führte in 4 Fällen zum Brand. In einem Fall war ein Defekt an der Abgasanlage brandursächlich.

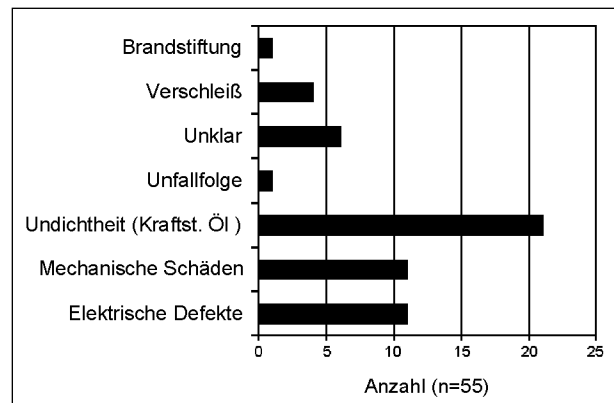
In jeweils einem Fall kam es zu einer Brandentstehung in Folge eines Unfalls und durch vorsätzliche Brandstiftung. Diese Szenarien bedürfen einer gesonderten Betrachtung, da ein Teil der getroffenen Brandschutzmaßnahmen außer Kraft gesetzt werden kann. Durch Kollisionen können Abschottungen beschädigt und im Normalzustand räumlich getrennte Komponenten zusammengeschoben werden. Deformationen können zum Reißen von Betriebsmittelleitungen führen, wodurch schnell größere Mengen an leicht und normal entflammaren Flüssigkeiten als Brennstoff zur Verfügung stehen. Im Bereich elektrischer Anlagen kann es zu Kurzschlüssen kommen [6], [7], [8].

Bei der Brandstiftung müssen 2 Arten unterschieden werden:

- vorsätzlich unter Zuhilfenahme von brandfördernden Substanzen,
- durch z. B. Übermut unter Zuhilfenahme gegebener Brennstoffe wie alter Zeitungen.

Im ersten Fall ist die Gestaltung von Präventivmaßnahmen schwierig. Durch den externen Brennstoffeintrag ist eine brandhemmende Wirkung der verarbeiteten Materialien nahezu wirkungslos. Effektive Gegenmaßnahmen müssen aber für den zweiten Fall vorgesehen werden. So dürfen Bezugs- und Verkleidungsmaterialien nicht durch die Einwirkung einer Feuerzeug- oder Streichholzflamme in Brand gesetzt werden können. Auch darf brennendes Zeitungspapier nicht zu einem anschließenden selbstständigen Weiterbrennen führen, das den Flammen ausgesetzte Material muss selbstverlöschend sein.

Bild 2.3 zeigt die Brandursachen der bisher ausgewerteten Fälle.



**Bild 2.3:** Brandursachen (keine Mehrfachnennungen)

In mehreren Fällen wurden Personen leicht verletzt. Dabei handelte es sich um Rauchgasintoxikationen und leichte Verbrennungen. Zu diesen kam es bei Löschversuchen bzw. bei Versuchen zur Gepäckrettung.

## 2.3 Einzelfälle

Nachfolgend soll anhand dreier Einzelfalldarstellungen gezeigt werden, wie ein Reisebusbrand ablaufen kann. Die ausgewählten Beispiele stellen dabei keine Risikoschwerpunkte dar.

### 2.3.1 Brandbeginn im Innenraum

Im vorliegenden Fall kam es durch einen technischen Defekt zu einem Kurzschluss in einem elektrischen Bauteil im Bereich der Bordtoilette. Die resultierende Überhitzung führte zu einer starken thermischen Belastung umgebender Kunststoffelemente, die sich nach anfänglich sehr starker Rauchentwicklung entzündeten. Die Flammen griffen im weiteren Verlauf auf im Toilettenraum gelagerte Hygieneartikel über, brennend abtropfender Kunststoff führte zu Verkohlungen im Bereich der unterhalb des Bauteils gelegenen Toilettenschüssel und des Waschbeckens. Durch die relativ dicht schließende Toilettentür und den rauchbedingt entstehenden Überdruck kam es zu einer Reduktion des Sauerstoffgehalts, der zuerst zu einer stärkeren Rußbildung, anschließend aber zum Ersticken der Flammen führte. Bild 2.4 zeigt das beschädigte Bauteil sowie die brandgeschädigten Komponenten Toilettenschüssel und Waschbecken. Deutlich ist zu erkennen, dass sich im unteren Bereich keine Rußantragungen befinden. Bild 2.5 zeigt den Toilettenraum mit geöffneter Türe. An der unbeschädigten Wandverkleidung wird deutlich, dass nur kleinere Mengen an Rauch aus dem Raum in

den Fahrgastbereich gedrungen sein können. Auch auf diesem Bild ist die horizontale Rauchgrenze klar zu erkennen. Diese Schichtenbildung ist wich-



**Bild 2.4:** Brandgeschädigter Toilettenraum



**Bild 2.5:** Geöffnete Toilettür mit Rußantragungen

tig für Fluchtmöglichkeiten, da im unteren Bereich noch ausreichend Sauerstoff zum Überleben vorhanden ist.

### 2.3.2 Brandbeginn im Motorraum

Wegen der guten Darstellung des Falls und der Übertragbarkeit wird an dieser Stelle auf einen Brand in einem Linienbus zurückgegriffen. Die Besonderheit dieses Brandgeschehens liegt darin, dass es zu keinem direkten Flammenübersprung des in Brand geratenen Motorraums auf den Insassenbereich kam, sondern dass allein die Hitzeentwicklung zu einer Zündung mit anschließendem Totalverlust des Fahrzeugs führte.

Zu dem Brand kam es während einer Leerfahrt. Der Fahrer bemerkte nach einer gefahrenen Strecke von ca. 25 km Rauchgeruch im Fahrzeug und Rauchentwicklung aus dem Motorraum, ohne einen Leistungsverlust festzustellen. Während des sofort eingeleiteten Bremsvorgangs kam es zum Blockieren der Federspeicherbremse der Hinterachse. Im Innenraum war eine leichte Rauchentwicklung feststellbar. Eingeleitete Löschversuche im Motorraum unter Zuhilfenahme der mitgeführten und durch an-



**Bild 2.6:** Motorraum nach Brandeinwirkung



**Bild 2.7:** Komplette ausgebrannter Bus

dere Verkehrsteilnehmer bereitgestellte Feuerlöscher blieben erfolglos.

Zündursächlich war ein technischer Defekt eines Aggregats im Abgassystem. Von hier breitete sich der Brand auf den gesamten Motorbereich aus. Der resultierende Hitzestau führte zu einer Aufwärmung im darüber liegenden Fahrgastbereich, Fußbodenbelag und Sitzpolster wurden thermisch aufbereitet. Der fehlende Löscherfolg führte zu einer weiteren Erhitzung des Innenraums, es kam zu einer Durchzündung der gebildeten Pyrolysegase, einem so genannten Flashover. Die dabei freigesetzte Energiemenge reichte aus, den Brand so stark zu beschleunigen, dass es in kürzester Zeit zu einem Vollbrand des Innenraums kam. In Bild 2.6 ist der Brandentstehungsbereich abgebildet, Bild 2.7 zeigt den gesamten Omnibus. Die enorme Hitzeentwicklung wird an dem linksseitig abgeschmolzenen Bereich der Motorraumverkleidung aus Aluminium sowie den Aufwerfungen am Dach deutlich.

### 2.3.3 Brandverlauf

Die Geschwindigkeit, mit der sich ein Brand im Reisebus ausbreitet, ist von einer Vielzahl an Einflussfaktoren abhängig. Neben der Brandursache und der Brandausbruchsstelle spielen Faktoren wie Bauform, Ladezustand und Zeitpunkt der Entdeckung entscheidende Rollen. Auch Löschversuche mittels mitgeführter oder durch Ersthelfer herangeschaffter Löschgeräte verzögern die Ausbreitung. Die sehr schnelle Brandausbreitung wird aber in den meisten untersuchten Fällen [9] und ausgewerteten Zeitungsartikeln [10] genannt. Anhand der Bilder 2.8 bis 2.20, aufgenommen von Reisebus-



**Bild 2.8:** Nach Brandentstehung im Motorraum Branddurchbruch im Bereich des hinteren Ausgangs, erste Flammerscheinungen, komplette Verrauchung des Innenraums beider Geschosse mit hellem Rauch, Sicht in Bodennähe zur Flucht vorhanden

passagieren, wird der Brandverlauf deutlich. Die Zeitspanne zwischen erstem und letztem Bild ist nur im zweiten Fall bekannt. Da die Evakuierung beim ersten Bild bereits abgeschlossen ist und beim letzten Brandbild die Feuerwehr vor Ort ist, kann für den ersten Fall eine Zeitspanne von ungefähr 10 bis 15 Minuten angenommen werden [11].



**Bild 2.9:** Brand des kompletten Treppenbereichs der hinteren Türe, brennendes Abtropfen von Kunststoffen auf die Fahrbahn, stark eingeschränkte Sicht in Bodennähe



**Bild 2.10:** Thermische Aufbereitung der Innenraumkomponenten mit Bildung stark rußhaltigen Rauchs, vollständige Verrauchung des Innenraums, auch in Bodennähe keine Sicht



**Bild 2.11:** Flashover mit anschließendem Vollbrand des Busses auf beiden Geschossen



**Bild 2.12:** Vollbrandphase mit verstärkter Rauchbildung, Flammenbildung in der Rauchwolke als Zeichen großer Mengen unverbrannter Pyrolysegase bei gleichzeitig großer Hitze



**Bild 2.13:** Durchbruch der Heckscheibe im Untergeschoss, weitere Verstärkung der Rauchentwicklung, Brandübergriff auf die Reifen



**Bild 2.14:** Durchbruch der Heckscheibe im Obergeschoss



**Bild 2.15:** Eintreffen der ersten Rettungskräfte



**Bild 2.16:** Selbstständiges Nachlassen der Branderscheinung mangels zur Verfügung stehender Brandlast, Rückgang bei der Rauchentwicklung



**Bild 2.17:** Nachlöscharbeiten der Feuerwehr am vollständig ausgebrannten Bus



**Bild 2.18:** Ausgebrannte Karosserie nach Abschluss der Löscharbeiten, komplett ausgebrannte Innenausstattung, linke Seite



**Bild 2.19:** Ausgebrannte Karosserie nach Abschluss der Löscharbeiten, komplett ausgebrannte Innenausstattung, rechte Seite



**Bild 2.20:** Bereich des ersten Brandeintritts in den Innenraum an der Hecktüre nach Abschluss der Löscharbeiten, der Boden des Obergeschosses ist komplett weggebrannt

Der aufgezeigte Fall wurde verwendet, da der Brandverlauf sehr gut dargestellt ist. Es handelt sich allerdings um ein älteres Busmodell, das nicht den aktuell gültigen Richtlinien entspricht.

Gut dokumentiert ist auch der nächste Fall, bei dem ein moderner Reisebus in Folge eines Motorbrandes komplett ausbrannte. Der Brand trat während der Fahrt auf, bemerkt wurde er nach einem Nothalt wegen des selbsttätigen Öffnens der vorderen Türe, Bilder 2.21 bis 2.38 [12].



**Bild 2.21:** Rauchentwicklung im Motorraum, Evakuierung abgeschlossen, leichter Flammenschein sichtbar, Zeit: 00:00



**Bild 2.22:** Löscharbeiten des Fahrers mittels des bordeigenen Feuerlöschers, Zeit: 00:01



**Bild 2.23:** Kurzzeitige Bildung von hellem Rauch-Löschpulvergemisch, Zeit: 00:02



**Bild 2.24:** Weitere Löschversuche mittels zweier 6-kg-Feuerlöcher, bereitgestellt von einem vorbeikommenden Lkw-Fahrer, Zeit: 00:03



**Bild 2.27:** Rauchentwicklung im Innenraum, Rauchaustritt aus zwischenzeitlich geöffnete hinterer Betriebstüre, Zeit: 00:08



**Bild 2.25:** Löschmitteleintrag von der Seite in den Motorraum, Räumung des Gepäckfachs, Zeit: 00:03



**Bild 2.28:** Brandeintritt in den Innenraum, Flashover im hinteren Busbereich, starke Rauchentwicklung im Frontbereich, Zeit: 00:10



**Bild 2.26:** Motorvollbrand nach Öffnen der heckseitigen Motorhaube, Zeit: 00:05



**Bild 2.29:** Moment unmittelbar vor dem kompletten Durchzündenden, Zeit: 00:10





**Bild 2.30:** Durchzündung des Busses, thermische Aufbereitung der neben dem Bus gelagerten Gepäckstücke mit sichtbarer Bildung von Pyrolysegasen, Zeit: 00:11



**Bild 2.32:** Flammenaustritt zur vorderen Tür, sichtbare Flammen hinter der Windschutzscheibe, Zeit: 00:13



**Bild 2.31:** Bildung großer Mengen schwarzen Rauchs durch Temperaturerhöhung und Sauerstoffmangel im Bus, Zeit: 00:11



**Bild 2.34:** Weiteres Absinken der Flammenaustrittsfront in der Windschutzscheibe, unvermindert starke Flammenbildung in der Rauchphase über dem Bus, Zeit: 00:13



**Bild 2.33:** Durchbrand der Windschutzscheibe, Erlöschen der Scheinwerfer des Busses, Zeit: 00:13





**Bild 2.35:** Flashover im Bereich der Gepäckstücke, Zündung ohne direkte Beflammung, Zeit: 00:15



**Bild 2.37:** Erstangriff der Feuerwehr, nachlassende Brandintensität vor Einsetzen der Löschmaßnahmen, fortgesetzter Fahrzeugverkehr, Zeit: 00:18



**Bild 2.36:** Vollbrand von Bus und Gepäck, Zeit: 00:16



**Bild 2.38:** Weiteres Nachlassen der Brandintensität vor Beginn der Löscharbeiten, Zeit: 00:18

Es wird deutlich, dass es in beiden Fällen trotz der unterschiedlichen Bauformen und Baujahre zu durchaus vergleichbaren Brandszenarien kam. Die

schnelle Durchzündung im Innenraum ist dabei eine Folge der vom brennenden Motorraum ausgehenden Erhitzung.

## 2.4 Internationale Studien

Studien zu Busbränden sind auch im internationalen Bereich sehr selten, was auf die geringe Zahl derartiger Brandereignisse zurückzuführen ist. Bei Studien zur Sicherheit von Bussen, besonders im Zusammenhang mit Unfällen, werden Brandereignisse mit eingeschlossen, explizite Ableitungen zur Verbesserung des Brandschutzes werden aber nicht getroffen. Vielmehr wird den Flucht- und Rettungsmöglichkeiten große Bedeutung zugemessen. So wird in einer Studie des US-amerikanischen National Transportation Safety Boards (NTSB) über das Crashverhalten von Bussen [13] ein Unfall analysiert, bei dem ein umgestürzter Bus in Brand geraten ist. Dabei verbrannten 19 Insassen, deren Gliedmaßen während des Umsturzvorgangs zwischen Bus und Boden eingeklemmt wurden. Abgeleitet wird eine Forderung nach Sicherheitsgurten, das Brandverhalten der Innenausstattung bleibt unberücksichtigt. Weitere Studien des NTSB sehen Verbesserungspotenzial bei der Busfahrer-Einsatzplanung, um Unfälle durch Müdigkeit zu verhindern, sowie in der Passagierschulung bzgl. der Sicherheitsausstattung von Bussen und des richtigen Verhaltens im Notfall [14], [15].

Explizit mit Busbränden beschäftigt sich eine Studie des Accident Investigation Boards in Finnland [16] aus dem Jahr 2001. Untersucht wurden 33 Busbrände aus dem Jahr 2000. Das Durchschnittsalter der betroffenen Fahrzeuge lag bei 4,9 Jahren, während das Durchschnittsalter aller in Finnland zugelassenen Busse im Jahr 1999 bei 11,3 Jahren lag. Die Fahrleistung zum Brandzeitpunkt lag zwischen 12.600 km und 927.000 km, der Durchschnitt bei 430.000 km. Lediglich zwei Mal kam es zu einer Brandentstehung im Innenraum (Klimaanlage und defekter Starter einer Leuchtstoffröhre). Häufigster Brandausbruchsort war mit 21 Fällen der Motorraum, gefolgt von Bremsen (7 Fälle) und dem Unterbodenbereich (3 Fälle). Diese Verteilung kann mit der der vorliegenden Untersuchung in Einklang gebracht werden (siehe hierzu auch Kapitel 3, Analyse des realen Brandgeschehens). In fünf Fällen kam es zu einem Brandübergang in den Innenraum, wobei es nie zu Problemen bei der Fahrzeugevakuierung kam. Die Aussage, dass sich der Brand vom Motorraum durch die Heck- oder eine Seitenscheibe in den Innenraum ausbreitet, steht nicht in Einklang mit den eigenen Ergebnissen. In den von DEKRA analysierten Fällen kam es zu einem Durchbrand des Bodens oder einer derartigen thermischen Belastung der Bo-

denschichten, dass es auf der dem Motorraum abgewandten Innenraumseite zu einer Entzündung kam. In 23 Fällen wurden ein oder mehr Feuerlöscher eingesetzt. 17 Mal konnte das Feuer gelöscht werden, 6 Mal waren die Versuche vergeblich, da das Löschmittel (in Finnland ist nur ein 2-kg-Pulverlöscher vorgeschrieben) nicht ausreichte. Als Forderungen wurden die Ausstattung aller Busse mit mindestens einem 6-kg-Pulverlöscher und die Unterweisung des Fahrpersonals ausgearbeitet. Die herstellerseitige Anbringung von Löchern in der Motorraumverkleidung zum gezielten Löschmitteleintrag wird empfohlen. Die Zeitspanne bis zum Eintreffen der Feuerwehr lag im Schnitt bei 11 Minuten, was auf die zum Teil sehr dünn besiedelten Gegenden Finnlands mit einer entsprechend geringen Dichte an Feuerwachen zurückzuführen ist. Die längste Anrückzeit lag bei 50 Minuten. Nahezu alle Fahrzeuge waren mit Branddetektoren im Motorraum ausgestattet, lediglich in vier Fällen wurde der rein optische Alarm vom Fahrer wahrgenommen. Im Bericht wird eine zweckdienlichere Positionierung der Detektoren angemahnt. Eine akustische Komponente zur Alarmmeldung erscheint sinnvoll. Automatische Brandbekämpfungsanlagen werden als sinnvoll dargestellt, wegen der hohen Kosten werden diese aber von den Busbetreibern nicht akzeptiert.

Die National Road Transport Commission in Australien hat im Jahr 1995 eine Studie zu Busunfällen aus den Jahren 1970 bis 1993 durchgeführt [17]. In acht von über 230 Fällen kam es zu einem Brand. Resultierend wird eine Batterienotabschaltung gefordert, die bis auf die relevanten Einrichtungen wie Notbeleuchtung und Warnblinker alle Stromkreise batteriefern unterbricht.

## 3 Analyse des realen Brandgeschehens

Die Brandentwicklung in Reisebussen hängt in besonderem Maße vom Brandentstehungsort und den zur Zündung führenden Komponenten ab. Hieraus resultieren das Gefährdungspotenzial für die Fahrzeuginsassen und der Zerstörungsumfang am Fahrzeug. Daher kommt der Analyse der Brandentstehung und des Brandausbreitungsverhaltens eine besondere Bedeutung zu. Die ermittelten Ausbreitungswege lassen Rückschlüsse auf eine eventuelle Behinderung oder Versperrung von Fluchtmöglichkeiten für die Fahrzeuginsassen zu.

Zur besseren Veranschaulichung und Auswertbarkeit des realen Brandgeschehens an Reisebussen wurden fünf Szenarien gebildet. Diese ermöglichen eine Darstellung der Einflussfaktoren und Ablaufparameter in verdichteter und strukturierter Form. Parallelen der einzelnen Brandverläufe lassen sich so besser erkennen, häufig betroffene Baugruppen können gezielt analysiert werden. Auf dieser Basis lassen sich dann spezifische Prüfverfahren ableiten, deren Ergebnisse gut mit den gewonnenen Erkenntnissen abgeglichen werden können. Eine realitätsnahe Auslegung von Bauvorschriften für die unterschiedlichen Baugruppen wird so ermöglicht.

### 3.1 Begriffsbestimmungen

Zum Verständnis der nachfolgenden Abschnitte ist eine einheitliche Terminologie für die Bewertungsfaktoren erforderlich. Hierzu gehören:

- Brandursache: Benennung der zur Zündung führenden Komponenten und des Grundes für das Auftreten.
- Aufkommen: Quantitative Bewertung aus der Gutachtenauswertung in Bezug auf die Schadensursache.
- Gefährdungspotenzial: Qualitative Bewertung der Gefährdung für die Fahrzeuginsassen, die Gefährdungsart geht hierbei nicht mit ein.
- Charakteristik der Brandentstehungsphase: Angabe bestimmter mit der Brandursache in Zusammenhang stehender Faktoren.
- Bemerkbarkeit der Brandentstehung: Erläuterung, wie sich ein Brand für den Fahrzeugführer, Insassen oder für Dritte darstellt und anhand welcher Erscheinungen er entdeckt werden kann.
- Art der Gefährdung für Insassen: Darstellung der direkt auf die Insassen einwirkenden Gefahren.
- Unmittelbarkeit der Gefährdung: Bewertung der Zeitspanne zwischen Zündung und direkter Gefährdung der Insassen durch die unterschiedlichen Brandfolgeerscheinungen bzw. technischen Risiken.
- Brandausbreitungswege: Benennung der Wege, über welche sich der Brand sowie die Rauchgase im Fahrzeug ausbreiten.

- Relevante Konstruktionsmerkmale: Benennung der Baugruppen, die für die Brandentstehung oder -ausbreitung eine wichtige Rolle spielen, sowie deren einflussnehmenden Besonderheiten.
- Prüfverfahren und Kriterien: Anforderungen an Materialien, Bauteile oder Baugruppen, die durch Prüfverfahren nachgewiesen werden sollen.
- Systemausfall: Wegfall von für die Fahrsicherheit relevanten Komponenten, wie beispielsweise Ausfall des Motors, der Bremsen oder Reifenschäden.
- Fluchtwege in der Gefährdungsbeurteilung: Einschränkung der vollen Gebrauchsfähigkeit von Fluchtwegen durch Rauch, Flammen oder technisch bedingte Faktoren.

### 3.2 Übersicht der Szenarien

Die fünf ausgearbeiteten Szenarien werden in Untergruppen gegliedert, die eine genauere Analyse der Brände ermöglichen, ohne dabei die Übersichtlichkeit herabzusetzen. Eine genaue Betrachtung der Szenarien kann dem Anhang entnommen werden.

#### 3.2.1 Szenario 1: Motorraumbrand

- 1.1 Motorraumbrand mit Betriebsmittel
- 1.2 Motorraumbrand ohne Betriebsmittel

Diese Unterscheidung ist erforderlich, da hiervon die in der primären Brandphase vorhandene Menge an Brennstoff abhängt. Je größer diese ist, desto schneller breitet sich der Brand aus und desto größer ist die Wahrscheinlichkeit eines schnellen Brandübergriffs auf andere Komponenten, resultierend aus der größeren Hitzeentwicklung und brennend abfließender Flüssigkeiten.

#### 3.2.2 Szenario 2: Brandentstehung in Nebenräumen

- 2.1 Brandentstehung im Stauraum (Gepäck, Zusatzgeräte wie z. B. Kühlbox usw.)
- 2.2 Brandentstehung im Batterieraum
- 2.3 Brandentstehung in der Zentralelektrik

Nebenräume sind alle Räume außerhalb des Fahrgastbereichs, dies schließt aber eine direkte Zu-

gangsmöglichkeit oder Verbindung nicht aus. Der Motorraum unterliegt einer gesonderten Betrachtung. Der Stauraum kann sich aus einem großen oder mehreren kleinen Bereichen zusammensetzen.

### 3.2.3 Szenario 3: Brandentstehung im Fahrgastbereich

- 3.1 Brandentstehung in der Bordelektrik
- 3.2 Brandentstehung in der Bordtoilette
- 3.3 Brandentstehung in der Bordküche
- 3.4 Brandentstehung im sonstigen Fahrgastbereich

Der Fahrgastbereich stellt den sensibelsten Abschnitt in Bezug auf eine Brandentstehung dar, da es zu einer unmittelbaren Gefährdung der Insassen durch Rauchgase und gegebenenfalls Flammeinwirkung kommt. Das Risiko einer Panikreaktion ist hier besonders hoch, im Gegenzug ist eine schnelle Entdeckung wahrscheinlich.

### 3.2.4 Szenario 4: Brandentstehung im Außenbereich

- 4.1 Brandentstehung am Fahrwerk (Rad, Achse, Bremse)
- 4.2 Brandentstehung am Unterboden

Die primäre Gefahr einer Brandentstehung im Fahrwerksbereich resultiert aus den eventuell veränderten Fahr- oder Bremseigenschaften. Hierdurch steigt das Unfallrisiko. Eine Brandentstehung im Unterbodenbereich kann zu Behinderungen bei der Evakuierung führen.

### 3.2.5 Szenario 5: Brandentstehung durch Unfalleinwirkung

- 5.1 Brandentstehung durch Unfallschäden am KOM
- 5.2 Brandentstehung durch Unfallschäden am Kollisionsgegner

Unfälle mit Brandfolge stellen ein sehr seltenes Ereignis dar, das resultierende Risiko ist aber sehr hoch, da konstruktive Brandschutzkonzepte zerstört sein und brennbare Betriebsstoffe austreten können. Bei der Unfallkonstellation Bus gegen Pkw ist das Brandrisiko beim Pkw durch die großen Massenunterschiede erhöht. Verkeilen sich die Fahrzeuge, kann der Brandübergriff nur durch Trennung oder effektive Löschmaßnahmen verhindert werden.

## 3.3 Einzeldarstellung

Eine genaue Beschreibung der mit den Szenarien verbundenen Faktoren und der induzierten Gefährdungen lässt sich am besten in Tabellenform darstellen. Eine entsprechende Tabelle wurde zu jeder Untergruppe ausgearbeitet und dem Anhang hinzugefügt.

## 3.4 Gefährdungsmatrix

Die Gefährdungsmatrix stellt eine Übersicht der quantitativen Bewertung der Gefährdung nach Einschätzung der DEKRA in den einzelnen Szenarien dar. Dabei werden die Auftretenswahrscheinlichkeit und die Art der Gefährdung mit in die Wertung aufgenommen. Die Matrix ist zur schnellen Übersicht in Tabelle 3.1 abgebildet. Die Gesamtbewertung ist im Teil 1 des Anhangs aufgeführt.

Szenario	Aufkommen			Gefährdungspotenzial			Art der Gefährdung				
	selten	häufig	sehr häufig	gering	hoch	sehr hoch	Rauchgas	Schmelzgas	Flammenwirkung	Systemausfall	Fluchtwege
1.1 Motorraumbrand mit Betriebsmittel			x		x		x	x	x		
1.2 Motorraumbrand ohne Betriebsmittel		x			x		x	x	x	x	
2.1 Brandentstehung im Stauraum (Gepäck, Zusatzgeräte: Kühlbox)	x			x			x	x	x		
2.2 Brandentstehung im Batterieraum	x			x			x	x	x	x	
2.3 Brandentstehung in der Zentralelektrik	x			x			x	x	x	x	
3.1 Brandentstehung in der Bordelektrik	x					x	x	x	x		
3.2 Brandentstehung in der Bordtoilette	x					x	x	x	x		
3.3 Brandentstehung in der Bordküche	x					x	x	x	x		
4.1 Brandentstehung am Fahrwerk (Rad, Achse, Bremse)	x			x			x	x	x		x
4.2 Brandentstehung am Unterboden	x				x		x	x	x		
5.1 Brandentstehung durch Unfallschäden am KOM	x					x	x	x	x		x
5.2 Brandentstehung durch Unfallschäden am Kollisionspartner	x					x	x	x	x		x

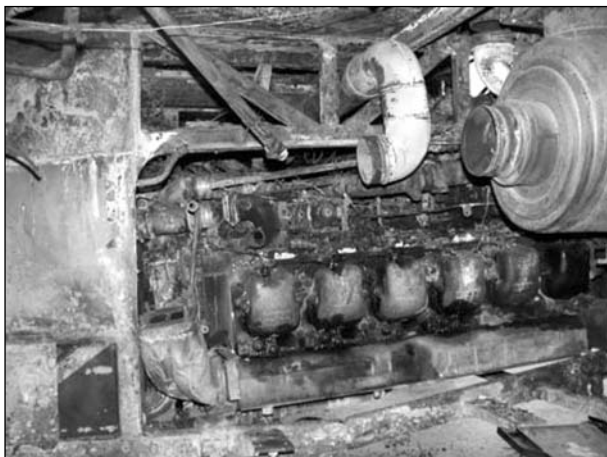
Tab. 3.1: Gefährdungsmatrix

### 3.5 Brandablaufbeschreibung

Im Folgenden werden beispielhaft die Brandabläufe und die daraus resultierende Gefährdung der Fahrzeuginsassen für zwei Szenarien beschrieben, welchen unterschiedliche Randbedingungen zugrunde liegen. Dabei wurden Szenario 1.1 wegen des häufigen Auftretens und Szenario 3.3 wegen des hohen Gefährdungspotenzials ausgewählt.

#### 3.5.1 Beispiel für Szenario 1.1

Defekte an Komponenten von mit Betriebsmitteln versorgten Systemen können zum Austritt von Betriebsmitteln wie z. B. Motoröl, Hydrauliköl oder Kraftstoff führen. Bedingt durch die in der Regel kleinen Austrittsöffnungen, welche einem Düseneffekt gleichzusetzen sind, die oftmals hohen Förderdrücke und durch die im Motorraum herrschenden Luftbewegungen werden die austretenden Betriebsmittel fein zerstäubt, im Motorraum verteilt und mit Luftsauerstoff angereichert. Das hieraus



**Bild 3.1:** Brandherd Motorraum



**Bild 3.2:** Durchbrand in den Innenraum

entstehende zündfähige Betriebsmittel-Luftgemisch kann sich an heißen Bauteilen wie z. B. der Abgasanlage entzünden. Bild 3.1 zeigt den Motorraum eines Reisebusses, in dem es durch eine solche Konstellation zum Brand kam. Ebenfalls ist die Entzündung von auf heiße Teile des Motors oder die Abgasanlage tropfenden Betriebsstoffen möglich.

Aus dem Entstehungsbereich heraus ergibt sich dann eine starke Flammenentwicklung mit hohem Energieumsatz. Die Folge ist ein rascher Übergriff auf die zum Teil mit dem ausgetretenen Betriebsmittel getränkten oder benetzten benachbarten Bauteile.

Eine Gefährdung für die Fahrzeuginsassen tritt im Frühstadium des Brandes durch die indirekte Brandeinwirkung auf den Fahrgastraum ein. Die im Motorraum entstehenden Rauchgase werden direkt durch Wartungsluken sowie mit dem Motorraum in Verbindung stehende Be- und Entlüftungswegen sowie Kabelschächte in den Fahrgastraum geleitet.

Zeitlich versetzt entstehen Schmel- bzw. Pyrolysegase. Diese werden von Innenraumkomponenten gebildet, die durch die thermische Belastung aus dem darunter liegenden Motorraum zersetzt werden. Primär sind hiervon der Fußbodenbelag, Dämmmaterialien, Auskleidungsmaterialien und Teile der Bodenkonstruktion betroffen.

Die so gebildeten Pyrolysegase sind größtenteils brennbar. Zu einer Zündung kann es durch eine weitere thermische Einwirkung (Selbstzündung/Flashover) oder nach Durchbrand der Bodenkonstruktion (direkte Zündung) kommen. Die Stelle eines Brandübergriffs in den Reisebusinnenraum nach Versagen der Bodenkonstruktion ist in Bild 3.2 dargestellt.

#### 3.5.2 Beispiel für Szenario 3.3

Eine Brandentstehung in der Bordküche kann in der Regel auf Defekte an einem der dort eingesetzten Elektrogeräte oder Unachtsamkeit zurückgeführt werden. Prinzipiell wird eine Brandentstehung in diesem Bereich wegen der Rauchentwicklung und der sehr starken Geruchsbelästigung schnell entdeckt, Gegenmaßnahmen können im Regelfall ohne größeres Risiko eingeleitet werden.

Das Entstehen einer größeren Brandentwicklung aus diesem Bereich heraus ist von daher als selten anzusehen, wobei das Gefährdungspotenzial als sehr hoch einzustufen ist.

In der Entstehungsphase kommt es durch Defekte an Elektrogeräten, die in der Regel aus Kunststoff gefertigt sind, zu einer Flammenbildung mit geringem Energieumsatz bei gleichzeitig starker Rauchbildung. Durch die bereits hier beginnende thermische Zersetzung wird sich dann das gesamte Gerät mit einer extrem starken Rauchgasentwicklung entflammen.

Da sich der Brandentstehungsbereich unmittelbar im Fahrgastraum befindet, können sich die entstehenden Rauchgase schnell in diesem ausbreiten. Dies führt zu Sichtbeeinträchtigungen, Atemproblemen und gegebenenfalls zu einer Panik unter den Fahrgästen.

Durch die sich einstellende Sichtbehinderung wird die Erkennbarkeit der Ausgänge und Fluchtwege stark beeinträchtigt. Da sich die Bordküchen häufig an den mittleren Ausgängen der Fahrzeuge befinden, wird dieser Fluchtweg durch die entstehenden Flammen und die Rauchgasentwicklung unpassierbar.

### 3.6 Risikobetrachtung

Die Hauptrisiken für die Fahrzeuginsassen bei einem Reisebusbrand gehen vom Brandgeschehen selbst aus. Hierbei sind drei Faktoren näher zu be-

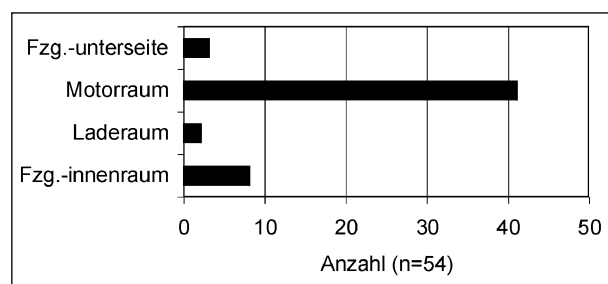


Bild 3.3: Brandherde

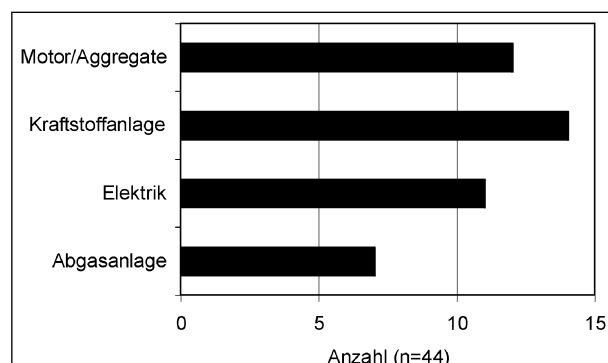


Bild 3.4: Zum Brand führende Baugruppen (keine Mehrfachnennung)

trachten. Dies sind die Brandentstehung, die Brandausbreitung sowie die pyrolytischen Emissionen.

Abhängig vom Entstehungsort, den Ausbreitungsmöglichkeiten und der Ausbreitungsgeschwindigkeit stellt sich das Gefährdungsrisiko der Fahrzeuginsassen unterschiedlich dar, was bereits in der Gefährdungsmatrix deutlich wurde.

So stellt z. B. ein im realen Brandgeschehen vergleichsweise sehr häufig vorkommender Motorraumbrand ein geringeres Risiko für die Fahrzeuginsassen dar als ein seltener vorkommender Brand im Fahrgastinnenraum. Bild 3.3 gibt die Verteilung der ermittelten Brandentstehungsorte wieder.

#### 3.6.1 Brandentstehung

Die im Motorraum am häufigsten als brandursächlich betroffenen Baugruppen sind neben der Kraftstoffanlage die Abgasanlage und der Motor selbst sowie im Motorraum befindliche Nebenaggregate. Insbesondere sind hier Leckagen an Betriebsmittel führenden Leitungen aller Ausführungen (Metall, Kunststoff, Gummi) zu nennen. Bei den brandauslösenden Baugruppen im Fahrgastinnenraum und den sonstigen Nebenräumen handelt es sich überwiegend um das elektrische Bordnetz, die dazugehörigen Komponenten und die daran angeschlossenen Elektrogeräte. Bild 3.4 gibt die Verteilung der brandauslösenden Baugruppen wieder.

#### 3.6.2 Brandausbreitung

Zu einer Ausbreitung eines Brandes von seinem Entstehungsort auf benachbarte Räumlichkeiten und Konstruktionsabschnitte kommt es entsprechend den Gegebenheiten direkt oder indirekt.

Der direkte Übergang erfolgt über Schächte, Kanäle und Lüftungsgitter, über welche die einzelnen Baugruppen und Räume miteinander verbunden sind. Die Flammen können so teilweise ungehindert in diese Bereiche gelangen. Besonders kritisch sind hierbei Flüssigkeiten, die sich brennend ausbreiten.

Die indirekte Brandausbreitung erfolgt durch die Beflammung der jeweiligen dem Brandentstehungsort zugewandten Bauteilseite. Die Bauteile, vorwiegend Trennwände zur Abgrenzung der räumlichen Gegebenheiten, brennen je nach Material, Ausführung und Beflammungsdauer durch oder sie

leiten die eingebrachte thermische Energie auf die Bauteilrückseite ab. Durch die in das Bauteil eingebrachte Energie werden dort aufgebrachte Dämmmaterialien und sonstige Beläge derart thermisch belastet, dass es zur Selbstentzündung dieser kommen kann.

Die direkte Ausbreitungsmöglichkeit der Flammen stellt wegen der hohen Geschwindigkeit ein größeres Risiko als die indirekte Brandausbreitung dar. Auch die Rauchgasverteilung, die im nächsten Abschnitt behandelt wird, trägt zur Erhöhung des Gefahrenpotenzials bei. Die indirekte Brandausbreitung tritt gegenüber der direkten mit einer zeitlichen Verzögerung ein.

### 3.6.3 Pyrolytische Emissionen

Durch die vom Brand ausgehende thermische Belastung der Bauteile kommt es bei diesen zu Zersetzungen. Hierbei werden brennbare und toxische Pyrolysegase emittiert. Die Ausbreitung im Entstehungsraum erfolgt in Abhängigkeit von der hier vorherrschenden Luftbewegung, wobei auch durch die hohe Temperatur der Gase eine eigene Dynamik entwickelt wird. Eine Verteilung erfolgt durch alle nicht gasdicht verschlossenen Öffnungen, insbesondere Lüftungs- und Kabelkanäle.

Die emittierten Rauchgase breiten sich so im Gegensatz zu den Flammen nicht von einem Bauabschnitt zum anderen aus, sondern verteilen sich in Abhängigkeit der Ausbreitungswege sehr schnell im gesamten Bus.

Trotzdem spielt der Entstehungsort der Pyrolysegase eine entscheidende Rolle. Kommt es zur Bildung im Fahrgastraum, sind die Insassen den unverdünnten Gasen ausgesetzt. Hierbei spielen neben der Toxizität die Rauchdurchsichtigkeit und die reizende Wirkung eine wichtige Rolle. Sichtbehinderung und Atemwegs- sowie Augenreizungen sind panikfördernde Faktoren. Das Fluchtverhalten wird dadurch maßgeblich beeinflusst. Werden die Gase außerhalb des Fahrgastraums gebildet, so gelangen sie mit Umgebungsluft verdünnt in den Insassenbereich. Sie werden so vor einer ernst zu nehmenden Lufttrübung mit der Nase wahrgenommen, wodurch mehr Zeit zum Reagieren bleibt. Die entstehenden Gaskombinationen sind auf jeden Fall riechbar.

## 3.7 Ableitung von Anforderungen an Prüfverfahren

Prüfverfahren dienen der Beurteilung von Material- und Produkteigenschaften. Dabei können auch Kombinationen mehrerer Stoffe und Produktanordnungen auf im Voraus bestimmbare Eigenschaften überprüft werden. Im Brandschutzbereich spielen dabei neben dem Brandverhalten die Rauchgasentwicklung und Brandausbreitungswege eine Rolle.

Bisherige Prüfverfahren aus dem Kraftfahrzeugsektor beziehen sich, wie dem nachfolgenden Kapitel 4, Bestehendes Regelwerk, entnommen werden kann, lediglich auf die kleinmaßstäbliche Prüfung einzelner Materialien. Tatsächliche Brandentstehungsszenarien, die Brandausbreitung und pyrolytische Emissionen werden nur unzureichend ermittelt.

Da aber gerade die Rauchgase in der Regel zu einer früheren Gefährdung der Fahrzeuginsassen führen als die Flammen selbst, müssen die Bildung und Ausbreitung der pyrolytischen Emissionen mit in die Prüfungen einbezogen werden.

Ebenso kann der Brandentstehung entgegengewirkt werden, indem Sicherheitsregeln, z. B. für die Verlegung und Befestigung von elektrischen und Betriebsmittel führenden Leitungen, verfasst werden. Auch die konstruktive Trennung betriebsbedingt heißer Bauteile zu benachbarten Baugruppen sollte mehr Beachtung finden. Ansätze hierzu enthält die neue Busrichtlinie [18].

Abgeleitet aus der Art und der Unmittelbarkeit der Gefährdung für die Fahrzeuginsassen werden zur Berücksichtigung des tatsächlich im Reisebusbereich ablaufenden Brandgeschehens die unten beschriebenen Vorschläge möglicher Prüfungen und Bauvorschriften zur Diskussion gestellt.

### 3.7.1 Materialien im Motorraum und Innenraum

Materialien von Trennwänden und Bodenkonstruktionen

- Entflammbarkeit,
- Brennverhalten,
- Durchbrandverhalten/Funktionserhalt,
- Rauchgasbildung,
- Schwelgasbildung.

Das einzusetzende Prüfverfahren muss die Entflammbarkeit sowie das Brennverhalten nach der Zündung der Materialien in verschiedenen Einbaulagen und Betriebszuständen (z. B. unterschiedliche Temperaturen) beschreiben.

Das Durchbrandverhalten und somit das Rückhaltevermögen gegenüber den Flammen, von Abtrennungen und Bodenkonstruktionen bedürfen ebenfalls einer Prüfung, da sich hieraus eine Aussage über einen Ausbreitungszeitraum ableiten lässt.

Pyrolytische Emissionen entstehen nicht erst beim direkten Abbrand, sondern bereits bei der Einwirkung von thermischer Energie. Je nach Material fallen diese mäßig bis extrem stark aus. Eine Prüfung der Emission unter vorgegebenen Umgebungsbedingungen sollte die Toxizität als auch die Rauchdichte und -menge einschließen.

### **3.7.2 Elektrische und elektronische Leiter, zum Bordnetz gehörende Komponenten und Geräte**

- Entflammbarkeit,
- Brennverhalten,
- Rauchgasbildung,
- Schwelgasbildung,
- Absicherung Bordnetz,
- Absicherung elektrischer Zusatzgeräte.

Bezug nehmend auf die Entflammbarkeit, das Brennverhalten sowie die pyrolytischen Emissionen wird auf die obigen Ausführungen verwiesen, wobei eventuelle Prüfverfahren auf die Kraftfahrzeugelektrik abgestimmt sein müssen.

Ebenso ist eine Überprüfung der bestehenden Regelungen für die Absicherung der einzelnen Stromkreise im Bordnetz und möglicher zusätzlich angebrachter elektrischer Gerätschaften erforderlich.

### **3.7.3 Ausbreitungswege**

- Flammen,
- pyrolytische Emissionen.

Die Ausbreitungsmöglichkeit von Flammen und Emissionen wurden bereits beschrieben. Bauvorschriften hinsichtlich der Vermeidbarkeit oder Verzögerung der Ausbreitung können das Gefährdungspotenzial für die Fahrzeuginsassen senken.

### **3.7.4 Leitungsverlegung**

- elektrische Leitungen,
- Betriebsmittel führende Leitungen.

Zur Vermeidung des Durchscheuerns und -trennens der oben angesprochenen Leitungen sind Sicherheitsregeln bezüglich der Verlegung sowie der Befestigung notwendig. Hierzu bietet die Busrichtlinie Ansätze, die auf ihre Wirksamkeit hin diskutiert werden müssen. Keine Anforderungen werden bisher an den Fall einer Kollision gestellt. Dabei sollten sich keine Leitungen in kollisionsgefährdeten Bereichen befinden.

### **3.7.5 Systemausfälle**

- Bremse,
- Lenkung,
- Türen.

Die Ausfallsicherheit bzw. die Notbetätigungsmöglichkeit dieser Komponenten muss über gewisse Zeiträume gewährleistet sein. Entsprechende Vorschriften erlauben beispielsweise eine Aussage über die Anzahl noch möglicher Bremsungen nach dem Durchbrennen einer Luftdruckleitung.

### **3.7.6 Notausstiegsmöglichkeiten**

- Türen,
- Fenster,
- Dachluken.

Eine hohe Anzahl verschiedener Notausstiegsmöglichkeiten gewährleistet eine Evakuierung der Fahrzeuginsassen in einem kurzen Zeitraum. Festlegungen zur Anzahl, Örtlichkeit und Größe der Notausstiegsmöglichkeiten lassen Rückschlüsse auf eine mögliche Evakuierungszeit zu. Hierbei wird auf das BAST-Projekt Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen, FE 82.188/2000, [19] verwiesen.

### **3.7.7 Räumliche Trennung von Bauteilgruppen**

- betriebsbedingte heiße Bauteile,
- Kraftstoffanlage,
- Leitungen,
- sonstige Baugruppen.

Bauvorschriften zur räumlichen Trennung verschiedener Baugruppen oder die Trennung der entspre-



chenden Bauteile mit geeigneten Materialien und deren Befestigung tragen zur Erhöhung der Brand-sicherheit und einer Vermeidung des Zusammen-treffens sich gegenseitig negativ beeinflussender Bauteile bei.

### 3.7.8 Löschsysteme

Löschsysteme bedürfen bezüglich der Anforderun-gen für Auslegung und Einbau ebenfalls einer Prü-fung, da sie an das Individualfahrzeug und dessen Gegebenheit angepasst sein müssen. Es ist zu dis-kutieren, inwieweit Vorschriften in Bezug auf eine Pflichtausstattung von Reisebussen mit derartigen Systemen sinnvoll sind.

## 3.8 Generelle Anforderungen

Prinzipiell darf die Prüfung des Brandverhaltens und der damit verbundenen Nebenprodukte nicht auf einzelne Materialien beschränkt bleiben. Viel-mehr sind komplette Baugruppen in den Anord-nungen zu prüfen, in denen sie im Reisebus zum Einsatz kommen. Nur so lassen sich eventuelle ne-gative gegenseitige Beeinflussungen feststellen. Besonders Bauteile mit trennenden Funktionen sind auf ihr Verhalten bei Wärmeeinwirkung zu prü-fen.

## 4 Bestehendes Regelwerk

### 4.1 Nationale Vorschriften

Der Brandschutz in Reisebussen wird im deut-schen Regelwerk nur in sehr geringem Maße be-handelt. In der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ord-nung (StVZO) [20] wird in § 35 g (1) ein 6-kg-Feuer-löcher für die Brandklassen A, B und C vorge-schrieben. Ebenfalls wird die Unterweisung des Fahrpersonals in der Bedienung gefordert. In § 45 werden Vorgaben an den Kraftstoffbehälter ge-macht. Neben den allgemein gültigen Vorgaben wird in Absatz (3) explizit auf Kraftomnibusse ein-gegangen. So ist die Anbringung des Tanks im Fahrgast- oder Führerraum untersagt. Eine Gefähr-dung der Ausstiege im Brandfall muss ausge-schlossen sein. Hierzu sind Mindestabstände ge-fordert. § 46 regelt den Bereich der Kraftstoffleitun-gen. In Absatz (4) wird die Verlegung im Innenraum von Kraftomnibussen untersagt, ebenso darf der Kraftstoff bei diesen Fahrzeugen nicht durch Schwerkraft gefördert werden. Die übrigen zulas-

sungsrelevanten Vorschriften wurden auf europäi-scher Ebene vereinheitlicht und festgelegt.

### 4.2 Allgemeine Geltung

Im Rahmen der Konformitätsbestrebungen im eu-ropeischen Binnenmarkt nahmen das Europäische Parlament und der Europäische Rat am 24. Okto-ber 1995 den Entwurf für eine neue Richtlinie an, die das Brennverhalten von Werkstoffen regelt, welche in Reisebus-Innenräumen zum Einsatz kommen. Diese Richtlinie, 95/28/EG, Brennverhal-ten von Werkstoffen für die Innenausstattung be-stimmter Kraftfahrzeugklassen [21], erlangte nach einer Übergangsfrist von 48 Monaten Gültigkeit für alle erstzugelassenen Fahrzeuge der betroffenen Bauart. Die in diesen Fahrzeugen eingesetzten Bauteile und Baugruppen sind darin eingeschlos-sen. Ziel dieser Richtlinie ist die Verhinderung der Brandentstehung beziehungsweise deren Verzöge-rung und die Minimierung der Brandausbreitungs-geschwindigkeit, um den Insassen ausreichend Zeit zum Verlassen des Fahrzeugs zu gewähren.

Anders als die Richtlinie 70/156/EWG, Betriebser-laubnis für Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeugan-hänger [22], die der Fahrzeugklasse M3 Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitz-plätzen außer dem Fahrerplatz (> 9 Sitzplätze) und einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 5 Tonnen zuordnet, gilt 95/28/EG erst ab einer Zahl von mehr als 22 Insassen (> 22 Sitzplätze). Hierbei sind außerdem Stehplätze und die Benutzung als Stadtbuss ausgeschlossen. Im Folgenden werden diese Fahrzeuge Reisebus genannt. Laut ECE-R 36, Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftomnibussen hinsichtlich ihrer Konstruktionsmerkmale [23], ist ein Kraftomnibus ein Fahr-zeug, das zur öffentlichen Beförderung von mehr als 22 Fahrgästen entworfen und ausgerüstet ist. Dazu kommt der Fahrerplatz. Dass der Fahrer in 95/28/EG nicht als Insasse betrachtet wird, geht aus der Definition für Fahrgastraum hervor, der hier im Bereich der Rückenlehne des Fahrers nach vorne hin abgegrenzt wird. Der Ausschluss von Stehplätzen gilt in ECE-R 36 als Kriterium für die Eingruppierung in Klasse III. Hierin ist aber bei-spielsweise ein zweideckiges Fahrzeug (Doppel-decker) nicht vorgesehen, für das 95/28/EG jedoch durchaus Gültigkeit hat.

Obwohl 95/28/EG explizit für den Innenraum von Reisebussen gilt, fehlt eine genaue Definition des-sen, was alles zum Innenraum gehört. Eine grobe

Abschätzung lassen zwar die angeführten Definitionen für Fahrgastraum (hier fehlt der gesamte Führerraum) und Innenverkleidung (hier fehlt z. B. Isoliermaterial) zu, eine klare Definition wäre an dieser Stelle aber erforderlich.

### 4.3 Richtlinie 2001/85/EG

Mit Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 13.02.2002 trat die Richtlinie 2001/85/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001 in Kraft [18]. Diese so genannte „Busrichtlinie“ enthält besondere Vorschriften für Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz. Sie dient der Änderung der Richtlinien 70/156/EWG und 97/27/EG. Artikel 7, Absatz 5 des Anhangs I zur Richtlinie 2001/85/EG enthält Anforderungen zum Schutz gegen Brandgefahren. Es erfolgt eine Unterteilung in die Gefahrenschwerpunkte Motorraum, elektrische Ausrüstung und Verkabelung, Batterien und Werkstoffe. Zur Unterbringung von Feuerlöschern und Verbandkästen werden Räume mit bestimmten Abmessungen und Volumina vorgeschrieben.

#### 4.3.1 Motorraum

„Im Motorraum dürfen keine entzündlichen schalldämpfenden Stoffe oder Materialien, die sich mit Kraftstoff, Schmiermitteln oder sonstigem brennbaren Material vollsaugen können, verwendet werden, sofern sie nicht mit einer undurchlässigen Beschichtung versehen sind“ (7.5.1.1). Dieser Abschnitt ist unzureichend. Der Ausschluss entzündlicher poröser Materialien ist zwar sinnvoll, aber auch das Vollsaugen von nicht brennbaren porösen Materialien mit den oben genannten brennbaren Stoffen führt zu einer Oberflächenvergrößerung, die sich brandbegünstigend auswirkt. Die Begrenzung auf schalldämpfende Materialien ist nicht nachvollziehbar. Der Einsatz entzündlicher Isolier- und Dämmstoffe muss generell ausgeschlossen werden. Alterungsbedingt oder durch äußere Einflüsse wie Marderbiss können die geforderten Beschichtungen beschädigt und damit wirkungslos werden. Es werden keine Anforderungen an die thermische Belastbarkeit entzündlicher Stoffe und Materialien im Motorraum gestellt.

„Durch geeignete Gestaltung des Motorraums oder durch Anbringung von Abflussöffnungen ist Vorsorge zu treffen, dass Ansammlungen von Kraftstoff,

Schmiermitteln oder sonstigen brennbaren Materialien im Motorraum möglichst vermieden werden“ (7.5.1.2). Durch die haftenden Eigenschaften der oben genannten Substanzen ist das komplette Vermeiden einer Sammlung austretender Stoffe nicht möglich. Bei der Schaffung von Abflussöffnungen ist aber darauf zu achten, dass keine Ansammlung in anderen gefährdeten Bereichen erfolgt, ferner sind die Vorschriften des Umweltschutzes zu beachten. Undichtigkeiten müssen bei der Wartung erkennbar sein, die problemlose Reinigung verschmutzter Teile muss möglich sein.

Absatz 7.5.1.3 fordert die Abschirmung des Motorraums und jeder anderen Wärmequelle vom übrigen Fahrzeug mittels hitzebeständigem Material. Die hierzu verwendeten Befestigungsklemmen, Dichtungsringe und ähnliche Komponenten müssen dabei feuerbeständig sein. Keine Anforderungen werden hierbei an die Feuerwiderstandsdauer und die Temperaturdurchlässigkeit gestellt. Anforderungen entsprechend den Feuerwiderstandsklassen aus DIN 4102 [24] wären hier sinnvoll.

„Der Fahrgastraum kann mit einer Heizungsanlage ausgerüstet sein, die nicht durch den Warmwasserkreislauf gespeist wird, wenn der Gehäusewerkstoff den von der Einrichtung erzeugten Temperaturen standhält, die Anlage keine giftigen Rauchgase freisetzt und so angeordnet ist, dass kein Fahrgast mit einer heißen Fläche in Berührung kommen kann“ (7.5.1.4). Sinnvoller wären hier Anforderungen an die maximal zulässige Oberflächentemperatur der Heizungsanlage, da so keine zusätzlichen Anforderungen an die umgebenden Bauteile gestellt werden müssen. Das Gleiche muss für Bauteile gelten, die Warmluft übertragen. Entsprechende Vorgaben werden in eingeschränkter Form im Anhang V zur Richtlinie 2001/56/EG gestellt [25]. Hiernach darf die Oberflächentemperatur der Teile des Heizungssystems, mit denen sitzende Fahrgäste in Berührung kommen können, 70°C bei metallischen und 80°C bei den übrigen Werkstoffen nicht überschreiten. Die austretende Warmluft darf die Temperatur von 150°C nicht überschreiten.

#### 4.3.2 Elektrische Ausrüstung und Verkabelung

Dieser Abschnitt enthält Vorgaben an die Isolation, den Leiterquerschnitt, die Verlegung sowie an die notwendige Absicherung und Notabschaltung. So müssen alle Kabel gut isoliert sein und, wie die elektrische Ausrüstung, den jeweils auftretenden Temperatur- und Feuchtigkeitsbeanspruchungen

standhalten. Gerade im Motorraum ist zusätzlich eine ausreichende Resistenz gegen die hier erhöhten Belastungen und auftretende Schadstoffe gefordert (nach 7.5.2.1). Nicht enthalten sind dabei Bestimmungen für das Brenn- bzw. Schmorverhalten der Isolationsmaterialien.

Eine Überlastung der Kabel durch zu hohe Ströme muss unter Normalbedingungen ausgeschlossen sein (nach 7.5.2.2), alle Stromkreise, außer den für den Motorstart relevanten, müssen mit einer Sicherung oder einem Stromkreisunterbrecher versehen sein (nach 7.5.2.3). Jeder Stromkreis mit einer Effektivspannung über 100 V muss an einen gemeinsamen handbetätigten Stromkreisunterbrecher angeschlossen sein, der im Innenraum an einer für den Fahrer gut zugänglichen Stelle angebracht ist. Ausgenommen ist dabei die Fahrzeugaußenbeleuchtung (nach 7.5.2.5). Durch diese Vorgaben kann das Risiko einer elektrischen Zündung reduziert werden. Mit der Unterbrechung der weiteren Energiezufuhr in der Entstehungsphase einer elektrischen Zündung kommt es im Kraftfahrzeugbereich erfahrungsgemäß in den meisten Fällen zu einem schnellen Selbstverlöschen der umgebenden Bauteile.

„Alle Kabel sind gut zu schützen und so sicher zu befestigen, dass sie nicht durch Schnitt, Abrieb oder Scheuern beschädigt werden können“ (7.5.2.4). Des Weiteren hat die Kabelanordnung so zu erfolgen, dass kein Kontakt mit Teilen der Kraftstoffversorgungsleitung oder der Abgasanlage besteht (nach 7.5.2.6). So erfolgt ein weit gehender Schutz der Leitungen vor mechanischen Beschädigungen und daraus resultierenden Kurzschlüssen oder Systemausfällen. Die räumliche Trennung von der Abgasanlage schützt die Leitungen vor hohen thermischen Belastungen, die Trennung von der Kraftstoffleitung sorgt im Falle einer Leckage dafür, dass eine mögliche Zündquelle wegfällt.

#### 4.3.3 Batterien

„Alle Batterien müssen gut befestigt und leicht zugänglich sein (7.5.3.1). Die Batterie muss außerhalb des Fahrgast- und Fahrerraums an einer von außen belüfteten Stelle untergebracht sein“ (7.5.3.2, wortgleich mit 7.5.3.3). Zwischen dem Batterieraum und dem Businnenraum muss eine komplette Abtrennung bestehen, die den Eintritt auslaufender Batteriesäure in den Innenraum, z. B. nach einem Umsturz des Busses, verhindert. Die Batterie muss von außen her zugänglich sein, wobei sowohl ein

Schutz gegen unbefugten Zugriff als auch der schnelle Zugang durch Rettungskräfte gewährleistet sein muss. Erfolgt die Energieversorgung mittels mehrerer Batterien, die an unterschiedlichen Stellen im Bus untergebracht sind, so ist in jedem Batteriefach ein Hinweis auf die Lage der anderen Batterien anzubringen.

#### 4.3.4 Werkstoffe

„Innerhalb eines Umkreises von 100 mm um die Auspuffanlage oder sonstige nennenswerte Wärmequellen darf sich kein entzündlicher Werkstoff befinden, es sei denn, der Werkstoff wird wirksam abgeschirmt. Erforderlichenfalls kann eine Abschirmung vorgesehen werden, um zu verhindern, dass Schmiermittel oder andere entzündliche Werkstoffe mit der Auspuffanlage oder sonstigen nennenswerten Wärmequellen in Berührung kommen. Im Sinne dieses Abschnitts gilt als entzündlicher Werkstoff ein Werkstoff, der nicht für Temperaturen ausgelegt ist, die an dieser Stelle auftreten können“ (7.5.5). Generell sollte auf die Verwendung von entzündlichen Materialien in den oben angegebenen Bereichen verzichtet werden. Eine Abschirmung ist nur dann sinnvoll, wenn diese den auftretenden mechanischen Belastungen und übrigen Umgebungseinflüssen dauerhaft standhält. Die Wärmeleitfähigkeit der zur Abschirmung verwendeten Materialien muss gering sein, so dass kein kritischer Wärmeübertrag in den geschützten Bereich stattfindet. Aus der Definition für entzündlichen Werkstoff geht nicht hervor, ob die Anforderung nur für Temperaturen gilt, die beim Normalbetrieb auftreten, oder ob auch beispielsweise durch einen technischen Defekt bedingte erhöhte Temperaturen eingeschlossen sind. Ausgeschlossen wird durch die Definition der Einsatz von Materialien, bei denen es zu einem temperaturbedingten Werkstoffversagen ohne Entzünden kommt.

#### 4.3.5 Feuerlöscher und Verbandkasten

In Teil 7.5.4 werden Vorgaben an Unterbringungsmöglichkeiten für Feuerlöscher und Verbandkästen gemacht. Dabei muss sich einer dieser Räume für Feuerlöscher in der Nähe des Fahrersitzes befinden. Eine Sicherung gegen Diebstahl und Vandalismus ist zulässig, solange eine ausreichende Kennzeichnung angebracht ist und eine leichte Entnahme der Geräte möglich bleibt. Hierbei wird den Vorgaben aus § 35g der StVZO [20] Rechnung getragen, nach denen mindestens ein 6-kg-ABC-Löcher in der Nähe des Fahrerplatzes vorgeschrie-

ben ist. Die Integration von Anbringungsstellen für Feuerlöscher und Verbandkästen in die Fahrzeugkonstruktion ist sehr sinnvoll, da so der direkte Zugriff gewährleistet ist und auch Belange der Ladungssicherung Beachtung finden. Feuerlöscher dürfen nach Teil 7.7.11.2 nicht durch geöffnete Türen zu Innenräumen verdeckt werden.

#### 4.4 ECE-Regelung R 36

Umfangreiche Forderungen zum Brandschutz in Reisebussen werden auch in ECE-R 36 [23] gestellt. Die Busrichtlinie 2001/85/EG [18] bedient sich vieler dieser Artikel, teilweise durch wörtliche Wiedergabe, teilweise in überarbeiteter Form. Nachfolgend werden die nicht in die Busrichtlinie übernommenen Reglements dargestellt. Da eine ganzheitliche Betrachtung des Brandschutzes in Reisebussen erforderlich ist, werden auch die Reglementierungsbereiche dargestellt, die nicht unmittelbar den Innenraum betreffen.

##### 4.4.1 Kraftstoff-Einfüllöffnungen

„Die Kraftstoff-Einfüllöffnungen dürfen nur von der Außenseite des Fahrzeugs her zugänglich sein“ (5.5.2.1). Abhängig von der Kraftstoffart werden Mindestabstände zu Türöffnungen gefordert, eine Positionierung im Fahrzeuginnenraum wird ausgeschlossen. Während des Tankens darf kein Kraftstoff mit dem Motor oder Teilen der Abgasanlage in Berührung kommen (5.5.2.2). Der Deckel des Kraftstoffbehälters sowie die Entlüftung müssen auch bei gekipptem Bus nahezu dicht sein (5.5.2.3). Der Deckel darf bei seitlicher Anbringung nicht über die Karosseriefäche herausstehen (5.5.2.4) und sich nicht versehentlich öffnen lassen (5.5.2.5). So wird ausreichend sichergestellt, dass die Peripherie der Kraftstoffanlage gegen Beschädigungen durch kleinere Kollisionen geschützt ist. Das Risiko eines Kraftstoffaustritts und einer damit verbundenen Brennstoffzufuhr wird verringert.

##### 4.4.2 Kraftstoffbehälter

In Teil 5.5.3.1 werden Mindestabstände des Kraftstofftanks zur Fahrzeugfront bzw. zum Heck gefordert, um einen ausreichenden Kollisionsschutz sicherzustellen. „Kein Teil eines Kraftstoffbehälters darf über den Aufbau hervorstehen“ (5.5.3.2). Die Behälter müssen einer Überdruckprüfung nach Teil 5.5.3.3 standhalten und korrosionsbeständig sein (5.5.3.4). Entlüftungsvorrichtungen müssen vorhan-

den sein, die durch ihre Anbringung Brandgefahren ausschließen (5.5.3.5). Moderne Reisebusse haben Tankvolumina von um die 1.000 l. Kommt es kollisionsbedingt zu einem Kraftstoffaustritt, ist mit der Bildung einer größeren Lache zu rechnen. Der hauptsächlich verwendete Dieseldieselkraftstoff lässt sich zwar nicht so leicht entzünden wie beispielsweise Benzin, heiße Teile des Motors oder der Abgasanlage können aber durchaus zündwirksam sein. Ein derartiges Szenario mit Flüssigkeitsbrand kann durch seine Ausbreitung Notausgänge schon vor Beginn einer Evakuierung unbenutzbar machen. Kraftstoffbrände weisen eine hohe Hitzeentwicklung auf und bilden große Rauchmengen. So werden die Brandausbreitungsgeschwindigkeit weiter erhöht und die Evakuierung erschwert. ECE-R 36 stellt keinerlei Anforderungen an die Festigkeit von Kraftstofftanks gegen von außen wirkende Belastungen. Eine Tankdichtheitsprüfung entsprechend des amerikanischen Crashtest FMVSS 301 [26] ist empfehlenswert. Dieser gilt zwar nur für Fahrzeuge bis ca. 4.500 kg und Schulbusse, kann aber auch ggfs. in modifizierter Form auf Reisebusse angewendet werden. In § 45 (3) der StVZO [20] wird gefordert, dass der Kraftstofftank so angebracht wird, dass bei einem Brand die Ausstiege nicht unmittelbar gefährdet werden. Mindestabstände von 500 mm zu den Türöffnungen werden aber nur für Tanks für Vergaserkraftstoffe angegeben.

##### 4.4.3 Kraftstoff-Versorgungsanlage

„Im Führer- oder Fahrgastraum darf kein für die Kraftstoffversorgung bestimmtes Teil untergebracht sein“ (5.5.4.1). Des Weiteren werden grundlegende Anforderungen an die Eigenschaften und die Verlegung der Leitungen gestellt. Diese sind zwar nicht sehr konkret verfasst, reichen aber aus. Ergänzend wäre eine Regelung sinnvoll, die ein Auslaufen des Tanks nach einer Beschädigung der Kraftstoff-Versorgungsleitung und Abstellen des Motors verhindert. § 46 der StVZO [20] fordert die Verwendung schwer brennbarer Stoffe für die Kraftstoffleitungen, wobei für den wertenden Begriff schwer brennbar die Angabe des Prüfverfahrens fehlt. Des Weiteren hat die Leitungsanordnung so zu erfolgen, dass austretender oder verdampfender Kraftstoff nicht an heißen Teilen oder elektrischen Geräten entzündet werden kann.

##### 4.4.4 Notschalter

Zur Verringerung der Brandgefahr nach dem Anhalten des Fahrzeugs ist ein Notschalter vorzuse-

hen. Dieser muss vom Fahrersitz aus erreichbar und als solcher klar gekennzeichnet sein. Er dient der schnellen Motorabschaltung und Betätigung des Batterietrennschalters, wobei die im Notfall relevanten Funktionen erhalten bleiben müssen (nach 5.5.5). Es ist zu prüfen, inwieweit eine automatische Auslösung des Notschalters durch Crashesensoren aus fahrsicherheitstechnischen Gesichtspunkten vertretbar ist. Ein weiterer Notschalter sollte im Bereich des Batteriekastens angebracht werden, damit Rettungskräfte im Falle einer unfallbedingten Beschädigung bzw. nicht Erreichbarkeit des Fahrerplatzes eine Möglichkeit zur Bus-sicherung haben.

## 4.5 Brennbarkeitsversuche

### 4.5.1 Richtlinie 95/28/EG

Um Erkenntnisse über das reale Brandgeschehen gewinnen zu können, ist es erforderlich, die verwendeten Materialien umfangreichen Tests zu unterziehen. Hierbei kommt besonders den Versuchen im kleinen Maßstab große Bedeutung zu, da so in Bezug auf das Brandverhalten kritische Materialien und Verbundstoffe herausgefiltert werden können. Auch sprechen die Reproduzierbarkeit und die vergleichsweise geringen Kosten für solche Prüfverfahren. Ein gänzlicher Verzicht auf Full-Scale-Tests (Komponententests) ist aber nicht möglich. Nur mit solchen Verfahren können eventuelle negative Wechselwirkungen im Abbrandverhalten bzw. bei der Rauchgasentwicklung von als unbedenklich geprüften Einzelstoffen erkannt werden.

In den Anhängen zur Richtlinie 95/28/EG werden drei Prüfverfahren beschrieben, anhand derer das Brennverhalten der zu testenden Werkstoffe klassifiziert werden kann. Kriterien sind hierbei die horizontale und vertikale Brandausbreitungsgeschwindigkeit sowie das Abtropfverhalten bei thermischer Belastung. Die genauen Versuchsanordnungen sowie die zulässigen Grenzwerte sind im Anhang des vorliegenden Berichtes aufgeführt. Ziel der Verfahren zur Bestimmung der horizontalen und vertikalen Brenngeschwindigkeit ist es, die Brandausbreitungsgeschwindigkeit im Reisebus gering zu halten. Die aus der Prüfung des Schmelzverhaltens resultierenden Anforderungen sollen eine Brandausbreitung auf andere Baugruppen durch brennendes Abtropfen verhindern.

Auch wenn die Prüfverfahren das Brenn- und Abtropfverhalten von Verbundstoffen beinhalten, wer-

den die Werkstoffe letztendlich nicht in der Form und Zusammensetzung geprüft, wie sie später eingebaut werden. Hierfür sind weiter gehende Prüfverfahren erforderlich, mit denen komplette Komponenten, wie beispielsweise Sitze, untersucht werden können. Keine Beachtung finden in den geforderten Verfahren die Rauch- und Toxizitätsentwicklung, die aber bei der Evakuierung, Flucht und Rettung im Brandfall eine Hauptrolle spielen. Auch für diesen Bereich sind weiterführende Testverfahren und die Aufstellung von Grenzwerten erforderlich.

Die Einhaltung der Richtlinie 95/28/EG ist Zulassungsvoraussetzung nach § 35j StVZO [20] und dem Anhang zu diesem Paragraphen.

### 4.5.2 Weitere Prüfverfahren

Im internationalen Standardisierungs- und Regelungsbereich kann auf eine Vielzahl von Brand- und Rauchprüfverfahren zurückgegriffen werden. Besonders der bauliche Brandschutz hat hierbei eine Vorreiterrolle. Im Hinblick auf den Brandschutz im Reisebusbereich können aber auch umfangreiche Anleihen im schienenengebundenen Personentransport sowie im Luftfahrtbereich gemacht werden. Im Folgenden sollen einige interessante Ansätze vorgestellt werden, die jeweiligen Prinzipskizzen befinden sich im Anhang.

#### 4.5.2.1 Kraftfahrzeugbereich

In DIN 75200, Bestimmung des Brennverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeuginnenausstattung [27], wird das Verfahren zur Prüfung der horizontalen Brenngeschwindigkeit eines Probenkörpers dargestellt. Dieser Brennkasten ist identisch mit dem aus der Richtlinie 95/28/EG, Anhang IV. Die Norm lässt sich vom Aufbau her auf die US-Kraftfahrzeugsicherheitsnorm FMVSS 302, Flammability of interior materials [28], zurückführen. Im Gegensatz zum FMVSS 302 beinhaltet DIN 75200 aber keine Grenzwerte. Die im FMVSS festgelegten Grenzwerte entsprechen mit einer maximalen Brenngeschwindigkeit von 102 mm/min in etwa der aus 95/28/EG mit 100 mm/min. Somit erwächst aus diesen Regelwerken keine Notwendigkeit zur Modifikation der bestehenden Richtlinie.

#### 4.5.2.2 Eisenbahnwesen

DIN 5510, Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen [29], gilt für zum öffentlichen Perso-

nentransport gebaute und ausgestattete spurgebundene Fahrzeuge im Bereich der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) [30] oder der Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) [31]. Hierin erfolgt eine Einteilung der Fahrzeuge in vier Brandschutzstufen. Diese hängen vom Einsatz der Fahrzeuge auf Streckenabschnitten mit unterschiedlichem Anteil an unterirdischen Fahrstrecken und deren Sicherheitsausstattung ab. Diese Klassifizierung ist im Reisebusbereich nicht erforderlich, eine Orientierung kann an den Forderungen für Schienenfahrzeuge der Brandschutzstufe 1 erfolgen. Sinnvoll erscheint die Übernahme der drei in DIN 5510 definierten Teilschutzziele, die in Tabelle 4.1 zitiert sind. Dies sind im Wesentlichen das Erschweren einer Brandstiftung, Verhindern einer Brandentstehung durch einen technischen Defekt und die Begrenzung der Brandausbreitungsgeschwindigkeit.

Aus Gründen der hohen Kosten und des enormen Arbeitsaufwandes regelt die DIN 5510 bisher nur Prüfverfahren zum Erlangen des Teilschutzziels 1. Ergänzungen sind vorgesehen. Die Norm beinhaltet keine eigenen Prüfverfahren, vielmehr werden stoffspezifisch Grenzwerte für Verfahren aus anderen Normen festgelegt, die im Anhang dargestellt werden.

Im US-amerikanischen Reglementierungsbereich gibt es von fünf unterschiedlichen Organisationen Vorgaben zum Brandschutz in Personenzügen. Neben Normen der American Society for Testing and Materials (ASTM) existieren Vorgaben der National Fire Protection Association (NFPA), der Federal Transit Administration (FTA) und der Federal Railroad Administration (FRA). Weitere Vorgaben gibt es von der amerikanischen Eisenbahngesellschaft Amtrak. Basis all dieser Anforderungen sind aber die Testverfahren nach den ASTM-Maßgaben.

Die Zielvorgaben sind durchaus vergleichbar mit denen aus DIN 5510. Ebenso sind die Maßnahmen und Wege, die zum Erreichen der Zielvorgaben vorgesehen sind, in vielen Punkten identisch. Einige Prüfverfahren sind im Anhang aufgeführt. Besonderes Augenmerk gilt dabei dem Cone Calorimeter Test (ASTM E 1354, ISO 5660), welcher bei der aktuellen Überarbeitung des Regelwerks eine wichtige Position einnimmt. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse dienen als Basiswerte für Computersimulationen [32], [33]. Die Ergebnisse einer Studie auf europäischer Ebene zur Vereinheitlichung der Brandprüfungen werden im Kapitel 7, Eisenbahnwesen wiedergegeben.

#### 4.5.2.3 Luftfahrt

Da der Einsatz von Flugzeugen nicht auf ein bestimmtes Land beschränkt bleibt, gilt im Luftfahrtbereich eine Vielzahl von nationalen Vorschriften. Problematisch ist aber, dass der Brandschutz in Flugzeugen nicht weltweit durch eine unabhängige Organisation, wie z. B. der International Civil Aviation Organization (ICAO), reglementiert wird. Eine Orientierung erfolgt an den Richtlinien der amerikanischen Luftfahrtaufsichtsbehörde, der Federal Aviation Administration (FAA). Diese Federal Aviation Regulations (FAR) stellen aber nationale Vorschriften der USA dar. Durch internationale Abkommen ist festgelegt, welche nationalen Prüfverfahren einander entsprechen und anerkannt werden. Gerade in diesem Bereich findet sich eine Vielzahl an sehr strengen Vorschriften, da bis zur sicheren Landung und der erst daran anschließenden Evakuierung der Passagiere mehr Zeit vergeht, als dies bei landgebundenen Verkehrsmitteln der Fall ist. Eine Übernahme der geltenden Grenzwerte für den Reisebusbereich ist von daher sicherlich nicht erforderlich, Anleihen können aber bei den

a)	Teilschutzziel 1: Verhinderung eines durch Brandstiftung im Fahrgastraum entstehenden Brandes. Definition	Das UIC-Papierkissen (UIC-Merkblatt 564-2, Anlage 4, Verfahren A) an jeder beliebigen, den Fahrgästen zugänglichen Stelle angezündet, darf weder zur Brandausbreitung im Fahrgastraum noch zur Gefährdung der Fahrgäste durch Sichtbehinderung oder toxische Gase führen.
b)	Teilschutzziel 2: Verhinderung eines durch technische Defekte Im Fahrgastraum entstehenden Brandes. Definition	Eine standardisierte technische Zündquelle darf weder zur Brandausbreitung im Fahrgastraum noch zur Gefährdung der Fahrgäste durch Sichtbehinderung oder toxische Gase führen.
c)	Teilschutzziel 3: Verzögerung und Begrenzung der Brandausbreitung für diejenigen Fälle, in denen die Teilschutzziele 1 und 2 nicht erreicht werden. Definition	Ermöglichung der Rettung von Fahrgästen innerhalb einer durch die Betriebsbedingungen und baulichen Gegebenheiten bestimmten Aufenthaltszeit im Brandeinwirkungsbereich. Der Brandeinwirkungsbereich ist derjenige räumliche Bereich, in dem die Gesundheit von Personen durch alle Auswirkungen eines Fahrzeugbrandes gefährdet werden kann.

Tab. 4.1: Teilschutzziele nach DIN 5510 Teil 1 [27]

Prüfverfahren gemacht werden. Die interessantesten sind im Anhang aufgeführt [34], [35].

#### 4.5.2.4 Bauwesen

Die grundlegende Norm für die Prüfung von im Bauwesen verwendeten Materialien ist DIN 4102, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen [24]. Die in dieser Norm festgelegten Prüfverfahren sowie die Baustoffklassen-Einteilung kommen auch in vielen anderen Bereichen zum Einsatz. Gerade im Bauwesen hat diese Norm Gesetzescharakter, da sich in der Musterbauordnung, den darauf basierenden Landesbau- und den zugehörigen Ausführungsverordnungen sehr viele Verweise finden. Die wichtigste Prüfung ist die Brandschichtprüfung, die im Anhang erläutert wird. Die Einteilung der geprüften Stoffe und Teile erfolgt in die weiter unterteilten Baustoffklassen A für nicht brennbare Stoffe und B für brennbare Stoffe, siehe Tabelle 4.2.

Um europaweit einheitliche Vorschriften zu schaffen, wird momentan an einer kompletten Überarbeitung der bisher bestehenden über 30 nationalen Vorgaben gearbeitet [36]. Basisnorm ist dabei die DIN EN 13501, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten [37]. Die interessantesten Änderungen sind die Aufnahme von Rauchgrenzwerten, Kriterien für das Abtropfverhalten, ein komplett neues Prüfscenario sowie eine neue Baustoffklassen-Einteilung. Die neuen Euro-Klassen sind in die Hauptklassen A 1, A 2 und B – F unterteilt, in den Unterklassen werden Indizes für den entstehenden Rauch (s1, s2, s3) und brennendes Abtropfen (d0, d1, d2) angefügt. Bodenbeläge werden neben der Hauptklasse mit dem Index fl versehen, es gibt nur die Klassifizierungen s1 und s2 für die Rauchentwicklung, das Abtropfen/Abfallen wird nicht geprüft. Das neue Klassifizierungssystem baut auf fünf verschiedenen Prüfverfahren auf. Die Nichtbrennbarkeitsprüfung für

die Eingruppierung in die Klassen A1, A2, A1<sub>fl</sub> und A2<sub>fl</sub> erfolgt auf Basis des Prüfverfahrens aus DIN EN ISO 1182 [38]. Darin wird der Baustoff in einem Behältnis mit einer Temperatur von 750°C auf Temperaturerhöhung und Massenverlust untersucht. Die Bestimmung der Verbrennungswärme erfolgt entsprechend DIN EN ISO 1716 [39]. Ermittelt wird die potenzielle maximale Wärmefreisetzung bei vollständiger Verbrennung. Bestimmt werden können Brennwert und Heizwert. Dieses Verfahren ist ebenfalls für die oben genannten A-Klassen erforderlich. Den Kern des neuen Systems bildet der neu entwickelte SBI-Test (Single Burning Item), ein Prüfverfahren mittleren Maßstabs. Genormt ist das Verfahren in DIN EN 13832 [40]. Als Bemessungsgröße dient hierbei die Zeit, bis es zu einem Flashover kommt. Unter einem Flashover versteht man den Übergang zu einer Brandphase, in der die gesamte Oberfläche der brennbaren Materialien in einem geschlossenen Raum am Brand beteiligt ist [41]. Ebenfalls werden das Abtropfverhalten und die Rauchentwicklung geprüft. Von der Validierung grenzwertiger SBI-Ergebnisse mittels der Cone-Kalorimetrie wurde entgegen einem älteren Normentwurf Abstand genommen, das Cone-Kalorimeter wird nicht verwendet. Das vierte Prüfverfahren basiert auf DIN EN ISO 11925 Teil 2 [42]. Dieser Test basiert auf dem deutschen Kleinbrennertest nach DIN 53438 [43]. Die Probe wird dabei in vertikaler Ausrichtung (Bodenbeläge horizontal) entsprechend der späteren Verwendung mit einem Kleinbrenner kanten- oder flächenbeflammt. Gemessen wird die vertikale Flammenausbreitung über dem Beflammungspunkt nach einer entsprechend der Klasse vorgegebenen Zeit. Die Prüfung ist für alle Klassen bis auf F erforderlich. Bei Fußbodenbelägen erfolgt eine Messung des kritischen Wärmestroms, unterhalb dessen keine Flammenausbreitung auf einer horizontalen Oberfläche stattfindet. Genormt ist dieses Verfahren in DIN EN ISO 9239 Teil 1 [44].

A	nicht brennbare Baustoffe
A 1	nicht brennbare Baustoffe ohne brennbare Bestandteile
A 2	nicht brennbare Baustoffe mit brennbaren Bestandteilen
B	brennbare Baustoffe
B 1	schwer entflammbar
B 2	normal entflammbar
B 3	leicht entflammbar

Tab. 4.2: Baustoffklassen nach DIN 4102 [24]

## 4.6 Auswahl

Bei der Auswahl von geeigneten Prüfverfahren für den Brandschutz in Reisebussen kann auf bestehende Verfahren zurückgegriffen werden, die Entwicklung eines komplett neuen Verfahrens ist nicht erforderlich. So kann auch mit einer größeren Akzeptanz bei den betroffenen Herstellern gerechnet werden. Sinnvolle Grenzwerte können auf Basis der Auswertung des realen Brandgeschehens er-

folgen, ein Abgleich mit den im Eisenbahnwesen vorgeschriebenen Werten ist aus Gründen der Kompatibilität einzelner Komponenten, z. B. Fußbodenbeläge oder Sitze, als durchaus sinnvoll zu erachten.

## 5 Grundlagen der Brandlehre

In DIN 14011, Teil 1, „Begriffe aus dem Feuerwesen – Physikalische und chemische Vorgänge“ (Entwurf 7.91) [45] wird ein Brand wie folgt definiert: „Brand ist ein nicht bestimmungsgemäßes Brennen (Schadenfeuer), das sich unkontrolliert ausbreiten kann.“ Die selbstständige, unkontrollierte Ausbreitung und das Entstehen eines Schadens grenzen somit den Brand von einem Nutzfeuer ab.

Brennen ist nach diesem Normentwurf eine mit Flamme und/oder Glut selbstständig ablaufende exotherme Reaktion zwischen einem brennbaren Stoff und Sauerstoff oder Luft. Selbstverständlich ist das in der Luft enthaltene Oxidationsmittel ebenfalls der Sauerstoff, der hierin aber nur mit einem Anteil von zirka 21 % vorliegt. Die explizite Erwähnung der Luft kommt daher, dass diese in den meisten Fällen das Umgebungsmedium für einen Brand darstellt. Da bei einem Großteil der Fahrzeugbrände Sauerstoff das einzige auftretende Oxidationsmittel ist (das ladungsbedingte Auftreten anderer Oxidationsmittel wird hier ausgeschlossen), kann diese Definition auch für dieses Projekt übernommen werden.

### 5.1 Zündung

Zur Entstehung eines Brandes bedarf es mehrerer Komponenten. Neben einem brennbaren Stoff und dem Oxidationsmittel ist eine effektive Zündquelle erforderlich. Erst wenn diese drei Komponenten in räumlicher und zeitlicher Koinzidenz und der brennbare Stoff mit dem Oxidationsmittel im richtigen Mischungsverhältnis vorliegen, kann es zu einer Zündung kommen. Dieser Sachverhalt ist sehr deutlich im Zündungstetraeder nach Emmons dargestellt, Bild 5.1 [46].

Zündquellen ist gemeinsam, dass sie eine Energiequelle darstellen, die dem jeweiligen brennbaren Stoff oder Stoffgemisch mindestens so viel Energie zur Verfügung stellen kann, wie für eine Entzündung erforderlich ist (Mindestzündenergie).

### 5.2 Brandentstehung

Nicht jede mögliche Zündung führt zu einem Brand. So ist es erforderlich, dass auch nach der Zündung brennbarer Stoff im richtigen Mischungsverhältnis mit einem Oxidationsmittel zur Verfügung steht. Des Weiteren muss eine ausreichende Energiezufuhr vorhanden sein, um einem sofortigen Selbstverlöschen entgegenzuwirken. Um diesen Sachverhalt zu erklären, wird im Folgenden eine Unterscheidung zwischen festen und flüssigen brennbaren Stoffen getroffen. Gasförmige brennbare Stoffe können im herkömmlichen Kraftfahrzeugbereich vernachlässigt werden, Dampfphasen werden den Flüssigkeiten zugerechnet.

Flüssigkeitsbrände finden in der Dampfphase statt. Die Menge der Dämpfe über der Flüssigkeit ist von deren Temperatur sowie dem Umgebungsdruck abhängig. Wird der Druck dem theoretischen Normaldruck auf Meereshöhe gleichgesetzt, lassen sich zwei sicherheitstechnische Kennwerte ableiten: der Flammpunkt und der Brennpunkt.

Der „Flammpunkt einer brennbaren Flüssigkeit ist die niedrigste Flüssigkeitstemperatur [in °C], bei der sich unter festgelegten Bedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickeln, dass über dem Flüssigkeitsspiegel ein durch Fremdentzündung entzündbares Dampf/Luft-Gemisch entsteht“ [45]. Bei der Zündung kommt es zu einem kurzen Überflammen der Flüssigkeit mit unmittelbar daran anschließendem Selbstverlöschen. Reicht die hierbei freigesetzte Energie nicht aus, um durch Sekundär-

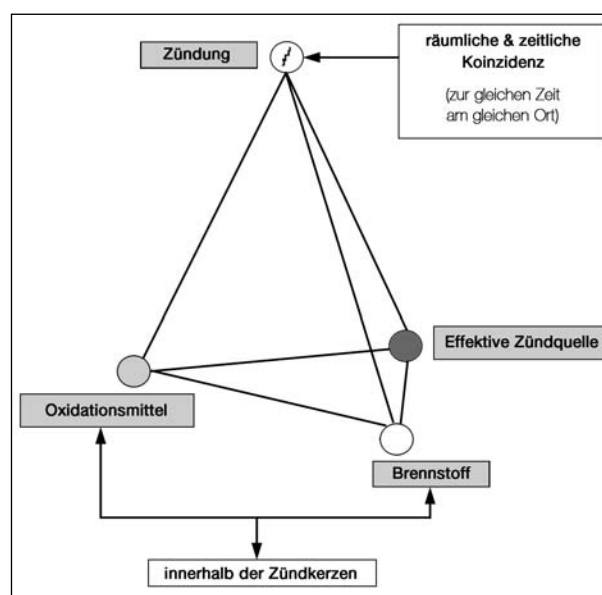


Bild 5.1: Zündungstetraeder nach EMMONS [42]



zündung auf einen anderen brennbaren Stoff überspringen, entsteht kein Brand.

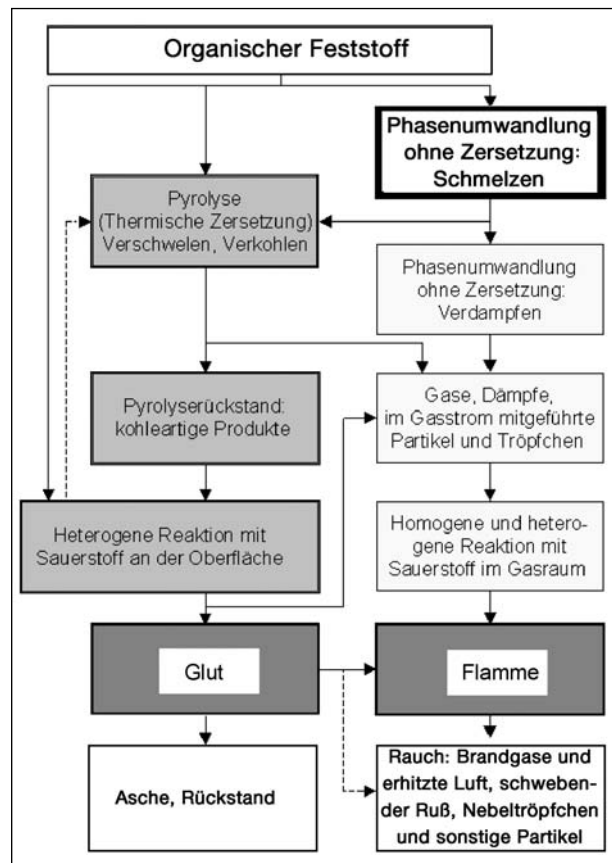
Der „Brennpunkt ist die niedrigste Temperatur einer brennbaren Flüssigkeit [in °C], bei der sich Dämpfe in solchen Mengen entwickeln, dass nach ihrer Entzündung durch eine Zündquelle ein ständiges Brennen unterhalten bleibt“ [45]. Das selbstständige Weiterbrennen nach Entfernung der Zündquelle führt zu einem Temperaturanstieg in der Umgebung des Flüssigkeitsbrandes. Hierdurch können wiederum andere umgebende brennbare Stoffe aufbereitet und gezündet werden.

Erwähnenswert in diesem Zusammenhang sind auch die Explosionsgrenzen. Werden kleine Brennstoffpartikel wie Dämpfe, Stäube oder Gase mit einem Oxidationsmittel durchmischt, ist diese Kombination nicht zwangsläufig zündfähig. Dies setzt ein Mischungsverhältnis innerhalb stoffspezifischer Grenzen, dem Explosionsbereich, voraus. Liegt zu wenig brennbarer Stoff vor, spricht man von einem zu mageren Gemisch, bei zu viel von einem zu fetten oder überfetteten Gemisch. DIN 14011, T 1 [45] definiert: „Untere und obere Explosionsgrenze [UEG und OEG] ist die niedrigste bzw. höchste Konzentration des brennbaren Stoffes im Gemisch von Gasen, Dämpfen, Nebeln und/oder Stäuben, in dem sich nach dem Entzünden ein Brennen nicht mehr selbstständig fortsetzen kann. Anmerkung: Die für Explosionsgrenzen tabellierten Werte beziehen sich in der Regel auf explosionsfähige Atmosphären“, das Gemisch liegt damit in Luft inklusive der üblichen Beimengungen, z. B. Feuchtigkeit, vor. UEG und OEG grenzen den Explosionsbereich ein. Eine genaue Beschreibung der Explosion erfolgt im nächsten Abschnitt, 6.3, „Explosionen“.

Bei brennbaren Feststoffen sind neben der genauen Stoffzusammensetzung auch weitere Faktoren ausschlaggebend. So spielen für die Brandentstehung und den späteren Brandverlauf die Oberflächenform, die Kompaktheit sowie die Packungsdichte entscheidende Rollen. Generell kann bei den brennbaren Feststoffen aber in zwei Arten der Verbrennungsreaktion unterschieden werden:

- Schwel- oder Glimmbrand,
- Flammenbrand.

Bei Schwel- und Glimmbränden handelt es sich um Festkörperreaktionen, bei denen die oxidierbaren Inhaltsstoffe exotherm mit dem Oxidationsmittel reagieren. Beim Flammenbrand liegen zwei Ausgangsmechanismen vor. Zum einen kann es zu



**Bild 5.2:** Verbrennung organischer Stoffe beim Brand (vereinfachtes Schema) [46]

einer Phasenumwandlung ohne Zersetzung kommen, der Feststoff schmilzt. Durch weitere Energiezufuhr erfolgt die nächste Phasenumwandlung, ebenfalls ohne Zersetzung, der Stoff verdampft. Die so freigesetzten brennbaren Bestandteile der Dämpfe verbrennen in der Gasphase unter Flammenbildung. Die zweite Form ist die Pyrolyse, die eine thermische Feststoffzersetzung darstellt. Hierbei entstehen kohleartige Rückstände, aber auch brennbare Gase, die ebenfalls wieder mit Flammenreaktion exotherm mit dem Oxidationsmittel reagieren. In den meisten Fällen lassen sich Mischformen des Schwel- und Glimmbrandes zusammen mit einem offenen Flammenbrand beobachten. Bei thermoplastischen Kunststoffen zeigt sich dagegen ein reiner Flammenbrand. In Bild 5.2 sind die Reaktionsschritte dargestellt.

Grundvoraussetzung für die Entstehung eines Feststoffbrandes ist somit eine Zündquelle, die ausreichend Energie freisetzt, so dass entweder ein Teil des Feststoffes verdampft oder die Pyrolyse eingeleitet wird. Des Weiteren muss genügend Energie zur Verfügung stehen, um die entstehenden brennbaren Gase zu entzünden. Bild 5.3 stellt die unterschiedlichen Brennstoffformen dar.

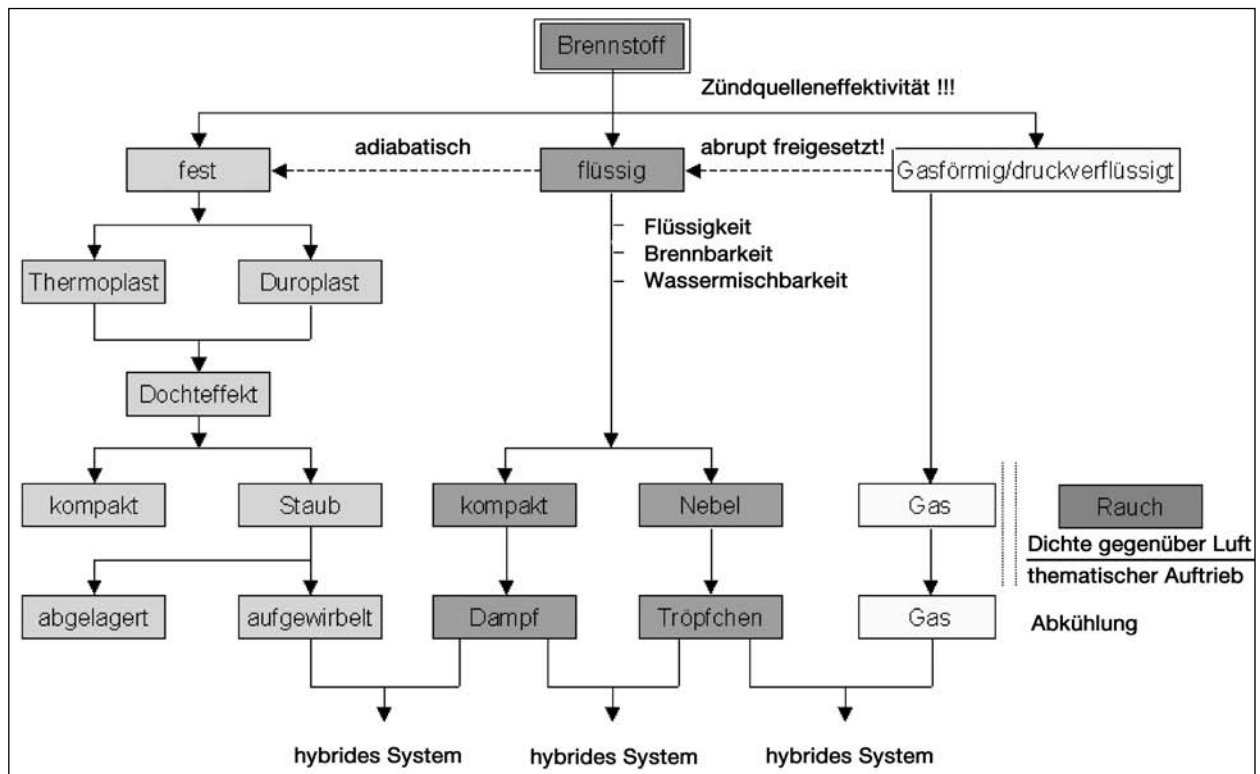


Bild 5.3: Erscheinungsformen der Brennstoffe [42]

### 5.3 Explosionen

Eine genaue Beschreibung der Voraussetzungen für eine Explosion erfolgte im vorigen Kapitel. In diesem Abschnitt sollen die verschiedenen Formen des im Volksmund als Explosion bezeichneten Vorgangs erläutert werden. Ausschlaggebend für die Einstufung unter den Oberbegriff der Explosion ist die selbstständige Fortpflanzung einer Flamme im Brennstoff-Oxidationsmittelgemisch, dem explosionsfähigen Gemisch, ohne dass es einer weiteren Zufuhr von Energie, Brennstoff oder Oxidationsmittel bedarf. Die Geschwindigkeit der Flammenfront ist die ausschlaggebende Größe für die Eingruppierung in folgende Vorgänge:

- Deflagration oder Verpuffung,
- Explosion,
- Detonation.

„Deflagration ist eine Explosion mit geringem Druckanstieg.“ [45]

„Deflagration: Mit Unterschallgeschwindigkeit sich ausbreitende Explosion.“ [47]

Es wird deutlich, dass innerhalb bestehender Normenwerke unterschiedliche Definitionen für denselben Sachverhalt bestehen. Sie stellen aber kei-

nen Widerspruch in sich dar. Bedingt durch die geringe Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flammenfront kommt es auch nur zu einem vergleichsweise geringen Druckanstieg.

„Explosion ist die exotherme Reaktion in explosionsfähigen Gemischen bzw. in explosionsfähiger Atmosphäre, solange die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit unterhalb der Schallgeschwindigkeit bleibt. Anmerkung: Bei der Explosion können hohe Flammenausbreitungsgeschwindigkeiten und große Druckanstiege auftreten.“ [45] Der Grenzbereich zwischen einer Explosion und einer Deflagration verläuft fließend. Das erreichbare Schadensmaß einer Explosion liegt aber weit über dem einer Deflagration.

„Detonation ist eine durch eine Stoßwelle ausgelöste Flammenreaktion. Anmerkung: Bei Detonationen können die in Flammenfortpflanzungsrichtung mit Überschallgeschwindigkeit strömenden Gase große Zerstörung verursachen.“ [45]

„Detonation: Durch eine Stoßwelle mit Überschallgeschwindigkeit sich ausbreitende Zerfalls- oder Oxidationsreaktion.“ [47]

Beide Definitionen lassen sich zusammenführen:

Eine Detonation ist eine mit einer Stoßwelle gekoppelte Explosion, die sich mit konstanter Über-

schallgeschwindigkeit ausbreitet. Enorme Schäden, auch in größerem Umkreis sind nicht auszuschließen. Im Kraftfahrzeugbereich treten maximal Deflagrationen/Verpuffungen durch die Zündung von Kraftstoffdämpfen auf. Wichtig sind die Definitionen aber auch zum Verständnis des Flashovers, einer schlagartigen Durchzündung von Pyrolysegasen, auf den gesondert eingegangen wird.

## 5.4 Brandausbreitung

DIN 14011, Teil 2 versteht unter der Brandausbreitung die räumliche Ausweitung eines Brandes über die Brandausbruchsstelle hinaus. Der Brandverlauf wird im Wesentlichen durch folgende Größen bestimmt (modifiziert nach [48]):

- die das Gesamtwärme-Potenzial darstellende Menge und Art der brennbaren Stoffe (Brandlast),
- Konzentration und Lagerungsdichte der Brandlast,
- Verteilung der Brandlast im Brandobjekt,
- Geometrie des Brandobjektes,
- thermische Eigenschaften – insbesondere Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität – der Bauteile, die den Brandbereich umschließen,
- Ventilationsbedingungen, welche die Oxidationsmittelzufuhr zum Brandbereich steuern,
- Löschmaßnahmen.

Das Brandobjekt wird dabei durch das gesamte Kraftfahrzeug, eventuelle Unfallgegner sowie umgebende Medien dargestellt. Der Brandbereich ist der Teil des Brandobjektes, der unmittelbar vom Brandgeschehen betroffen ist. Der Brandbereich kann in seiner maximalen Ausdehnung dem Brandobjekt entsprechen.

Der Verlauf eines Brandes kann in einem Mehrphasenmodell dargestellt werden, wie Bild 5.4 zeigt. In diesem Modell werden optimale Rahmenbedingungen für die Brandentstehung und -ausbreitung zu Grunde gelegt. So sind die Bedingungen nach EMMONS erfüllt und es kommt zu einer Zündung.

Sowohl die Temperatur- als auch die Zeitachse sind als Relativgrößen anzusehen. Insbesondere Phase 2 ist abhängig vom Brennstoff. So fällt sie bei leicht entzündlichen Flüssigkeiten nahezu komplett weg, bei schwer entflammaren Baustoffen

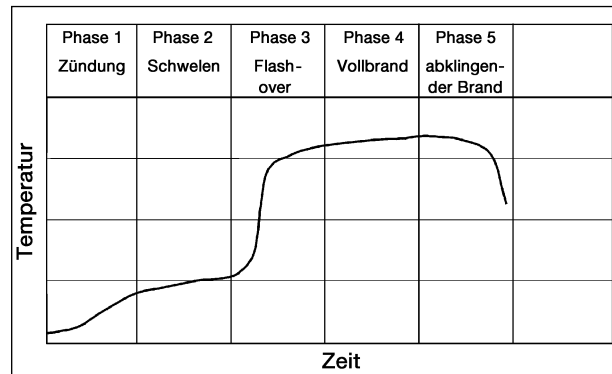


Bild 5.4: Phasenmodell des Brandverlaufs nach [46]

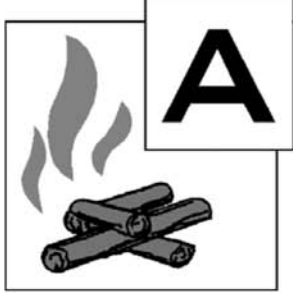

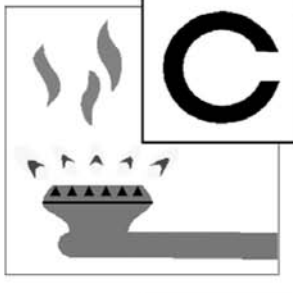

dagegen kann es zu einem lange andauernden Schwelbrand kommen. Als Flashover-Phase bezeichnet man den Zeitpunkt, an dem die Brandlast thermisch so weit aufbereitet ist, dass genug brennbare Komponenten in der Gas-/Dampfphase vorliegen und schlagartig durchzündet. Hierbei kommt es zu einer massiven Zunahme der Abbrandgeschwindigkeit. Dies geht gleichzeitig mit einem enormen Temperaturanstieg einher. Die Vollbrandphase (Post-Flashover-Phase) wird von der Brandraumgeometrie und den Ventilationsbedingungen gesteuert. Die entstehenden Temperaturen sind zusätzlich vom Brennstoff abhängig. Bei einem Oxidationsmittelüberschuss spricht man von einem brandlastgesteuerten Brand, bei Oxidationsmittelmangel (z. B. auch durch Rauchverdrängung) von einem ventilationsgesteuerten Brand. Zu einem Abklingen des Brandes (Phase 5) kann es kommen, wenn entweder kein Brennstoff mehr vorhanden ist, wenn die freigesetzte Energiemenge nicht mehr ausreicht weitere Stoffe thermisch aufzubereiten, wenn die Oxidationsmittelzufuhr nicht ausreicht oder wenn der Brand gelöscht wird.

## 5.5 Brandklassen

Zur Unterteilung der einzelnen Brennstoffe sowie zur Auswahl geeigneter Löschmittel sind in DIN EN 2 Brandklassen definiert [49]. Die Einteilung erfolgt entsprechend dem Aggregatzustand bei Normalbedingungen und der Untergliederung in organische und metallische Werkstoffe (s. Bild 5.5).

## 6 Toxizität von Rauchgasen

Verbrennungen sind chemische Reaktionen, bei denen der Brennstoff, das Reaktionsedukt, umgewandelt wird. Dies geschieht zum einen durch die Verbindung mit Sauerstoff, zum anderen durch

Brandklasse	Brennbare Stoffe
	<b>A</b> Feste, organische Stoffe <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Papier</li> <li>▪ Holz</li> <li>▪ Kunststoffe</li> <li>▪ Textilien,</li> <li>▪ ...</li> </ul>
	<b>B</b> Flüssige oder flüssig werdende Stoffe <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kraftstoffe</li> <li>▪ Schmierstoffe</li> <li>▪ Wachse</li> <li>▪ ...</li> </ul>
	<b>C</b> Gase <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Methan</li> <li>▪ Propan</li> <li>▪ Wasserstoff</li> <li>▪ Erdgas</li> <li>▪ ...</li> </ul>
	<b>D</b> Metalle <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aluminium</li> <li>▪ Magnesium</li> <li>▪ ...</li> </ul>

**Bild 5.5:** Brandklassen und brennbare Stoffe

thermische Änderung der Molekularstruktur. Die entstehenden Stoffe, die so genannten Reaktionsprodukte, hängen von unterschiedlichen Einflussfaktoren ab. Die wichtigste Rolle spielt dabei der Brennstoff. Dessen Zusammensetzung gibt vor, welche Produkte gebildet werden können. Ergänzend kommen die Umgebungs- bzw. Verbrennungstemperatur und der verfügbare Oxidationsmittelgehalt hinzu. Als Brennstoff müssen hierbei alle Komponenten betrachtet werden, die durch die thermische Belastung in ihrer Zusammensetzung verändert werden.

In Abhängigkeit von den oben angeführten Einflussfaktoren kann die thermische Zersetzung zu gasförmigen, festen und flüssigen Produkten führen. Gasförmige Produkte treten bei jeder Verbrennung auf. Feste Produkte entstehen bei unvollständigen Verbrennungen, von denen im Fahrzeugbrandbereich ausgegangen werden muss. Neben den Brennstoffresten zählen auch Rußpartikel und andere rauchgetragene Feststoffe dazu. Durch die thermische Belastung kann es zum Schmelzen einiger Stoffe kommen. Ebenfalls flüssig ist das Kondensat von gebildetem Wasserdampf, das sich an Rußpartikeln und in der Umgebung der Brandstelle niederschlägt.

Am ehesten kann ein Brand durch den Geruch und sichtbaren Rauch wahrgenommen werden. Rauch stellt dabei eine Dispersion aus entstehenden Brandgasen, mittransportierten Feststoffpartikeln (Ruß) und Flüssigkeitströpfchen dar. Erster Indikator ist aber der Geruch, der durch einige gebildete Brandgase hervorgerufen wird. Er ist somit auch ein Zeichen dafür, dass sich Fremdstoffe in der Atemluft befinden. Eine Aussage über den Grad der Gefährdung für den Menschen lässt sich hieraus aber noch nicht ableiten.

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

- akute Toxizität,
- systemische Wirkung,
- Verdrängung von Luftsauerstoff,
- Reizung und Zusetzung der Atemwege durch Feststoffpartikel.

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

Systemisch wirkend sind die Stoffe, die erst einige Zeit nach der Exposition zu einer eventuellen Reaktion im Körper führen. Hierzu zählen z. B. kanzerogen (Krebs erregend), mutagen (erbgutverändernd) und teratogen (fruchtschädigend) wirkende Stoffe. Toxische Effekte sind häufig nicht nur auf die inkorporierten Brandgase, sondern oft auch auf deren Stoffwechselprodukte (Metaboliten) zurückzuführen („Giftung“). Daher sind die Stoffwechselprodukte vieler Brandgase in den meisten Fällen die eigentlich wirksamen toxischen Agentien [50].

Normale Atemluft beinhaltet eine Sauerstoffkonzentration von ca. 21 %. Die zum Überleben notwendige Mindestkonzentration liegt bei 17 %. Brände führen auf zwei Arten zu einer Absenkung der Sauerstoffkonzentration in der Luft. Zum einen verbraucht die Verbrennung Sauerstoff, zum anderen verdrängen die gebildeten sauerstoffarmen Rauchgase die Umgebungsluft mit normalem Gehalt. Hierbei ist unerheblich, ob die Rauchgase toxische Komponenten beinhalten oder nicht. Durch eine verringerte Sauerstoffkonzentration wird aber die unvollständige Verbrennung gefördert, was wiederum zur Bildung eines größeren Anteils an toxischen Gasen im Rauch führt.

In Abhängigkeit des aerodynamischen Durchmessers von Schwebstoffen werden unterschiedliche Bereiche im Atemtrakt erreicht. Große Partikel werden bereits durch die Nasenhärchen herausgefiltert, kleine können alveolargängig sein. Bei großen Mengen von Partikeln sind die Grenzen des körpereigenen Filtersystems schnell erreicht, es kommt zu Abwehrreaktionen wie Husten. Hierdurch kommt es zu einer Reizung der Atemwege, die durch die irritierende Wirkung einiger Gase verstärkt wird. Die Reizwirkung ist panikfördernd. Reichen die Abwehrmechanismen des Körpers nicht mehr aus, setzen sich die Atemwege zu, was zu einer Sauerstoffmangelversorgung bis hin zum Erstickten führen kann.

## 6.1 Toxikokinetik

Die Menge der primär über die Atmung aufgenommenen Stoffe (Gase, Partikel und Tröpfchen) hängt im Wesentlichen von sechs Parametern ab [50]:

- Konzentration in der Luft,
- Expositionszeit,
- Atmungsaktivität,
- Anteil der dermalen Aufnahme,
- Anwesenheit von Rauchpartikeln und Aerosolen,
- physiologische Konstitution.

### Konzentration

Da es bei einem Brandgeschehen zu keiner gleichmäßigen Durchmischung der Brandgase und Rauchpartikel kommt, ist die Stoffkonzentration ortsabhängig. Um aber in die Grenzwertdiskussion einsteigen zu können ist es erforderlich, von einer

gleichmäßigen Durchmischung bei konstanter Exposition auszugehen. Da in erster Linie der Innenraum von Reisebussen zur Grenzwertbildung betrachtet wird, kann der hieraus resultierende Fehler als gering angesehen werden. Die Konzentration wird in parts per million (ppm), parts per billion (ppb),  $\text{mg}/\text{m}^3$  oder  $\text{ml}/\text{m}^3$  angegeben.

### Expositionszeit

Die Expositionszeit ist die Einwirkungsdauer der Rauchbestandteile auf den betrachteten Organismus. Dabei muss für die Evakuierung von Reisebussen eine Zeit zugrunde gelegt werden, in der ein Verlassen des Busses auch mit körperlichen Behinderungen, z. B. als Folge eines vorhergegangenen Unfalls, möglich ist. Eine eingeschränkte Nutzbarkeit der vorhandenen Notausstiege muss in die Kalkulation mit aufgenommen werden. Die Auswertung der untersuchten Brandfälle hat ergeben, dass eine Zeitspanne der Exposition von ca. 10 Minuten als realistisch anzusehen ist. In den ersten Minuten ist die Schadgaskonzentration im Businnenraum gering, nach Eintreffen der Feuerwehr wird sie schnell durch technische Überdruckbelüftung gesenkt.

### Atmungsaktivität

Die Atmungsaktivität steht in direktem Bezug zum Maß der körperlichen Anstrengung. Bei einem erwachsenen Menschen liegt die Atemfrequenz zwischen 16 und 20 Atemzügen pro Minute. In dieser Zeit wird ein Luftvolumen von ca. 7 Litern ausgetauscht (500 ml je Atemzug). Mit steigender Anstrengung steigen sowohl die Atemfrequenz als auch das Atemvolumen, wobei im Extremfall eine Atmungsaktivität von bis zu 120 Litern pro Minute erreicht werden kann. Angst bzw. Panik führt ebenfalls zu einer Erhöhung der Atmungsaktivität, wobei hier keine Addition beider Werte erfolgen darf. Hyperventilation stimuliert dabei die Aufnahme weiterer Brandgase [51].

### Anteil der dermalen Aufnahme

Unter der dermalen Aufnahme wird der Teil an Stoffen verstanden, der durch die Haut in den Körper gelangt. Besonders Flüssigkeiten sind hierbei als kritisch einzustufen. Bei Brandgasen sind längere Expositionszeiten erforderlich. Durch die einmalige und vergleichsweise kurze Expositionszeit wurde diese Komponente bei der Diskussion von Grenzwerten vernachlässigt (in Anlehnung an [50]).

## Anwesenheit von Rauchpartikeln und Aerosolen

Die Problematik von im Rauch mittransportierten Feststoffen wurde im einleitenden Absatz behandelt. Durch den Flüssigkeitsgehalt in Aerosolen wird die dermale Aufnahme begünstigt. Da der Feuchtigkeitsgehalt von Aerosolen zusätzliche Bindungskräfte zum exponierten Bereich der Atemwege bildet, wird die Zusetzung dieser verstärkt. Ein Abhusten wird dadurch erschwert.

## Physiologische Konstitution

Jeder Organismus ist anders. Genauso unterschiedlich sind daher die Reaktionen auf die Exposition von Brandgasen. Besonders kritisch reagieren Kinder, alte Menschen, Schwangere und Personen mit Erkrankungen des Atemtrakts, wie z. B. Asthmatiker. Da aber gerade Jugendliche/Kinder und Alte besonders häufig auf das Transportmittel Reisebus zurückgreifen, müssen Grenzwerte auf diese Gruppen abgestimmt werden.

In welchem Grad die durch den Atemtrakt aufgenommenen Rauchbestandteile vom Organismus aufgenommen (Retention) bzw. wieder ausgeatmet werden, ist stoffspezifisch. Besonders hoch sind die Aufnahmeraten bei hydrophilen, also wasserlöslichen Stoffen. Mit zunehmender Fettlöslichkeit der Stoffe (lipophil) sinkt die Retentionsrate, der direkt ausgeatmete Teil steigt. Aus Tabelle 6.1 wird ersichtlich, wie groß der vom menschlichen Organismus aufgenommene Anteil an der inhalierten Stoffmenge ist.

Der Retentionsgrad kann nur zu Aussagen über akut toxische und systemisch toxische Wirkungen herangezogen werden. Eine erstickende Wirkung durch Verdrängung von Luftsauerstoff bedarf keiner Resorption in den Organismus.

Die Verteilung resorbierter Stoffe im Körper erfolgt auf unterschiedlichen Wegen. Hydrophile Stoffe werden bereits in den oberen Atemwegen angela-

Retentionsgrad	Beispiele
> 90 %	Acrolein, Chlorwasserstoff, Cyanwasserstoff, Fluorwasserstoff, Formaldehyd, Methanol, Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid
50 – 90 %	Acrylnitril, Ammoniak, Hydrazin, Kohlenmonoxid, Methanol, Styrol
30 – 50 %	1,1,1-Trichlorethan, Aceton, Benzol, Ethanol, Kohlendisulfid, Tetrachlorethan, Toluol, Trichlorethen, Vinylchlorid
< 30 %	n-Hexan

Tab. 6.1: Retention von Brandgasen [50]

ger und verstoffwechselt. Hierbei wird die Muttersubstanz in Metaboliten umgewandelt, deren Wirkung im Organismus einer gesonderten Betrachtung bedarf, da sie von der der Muttersubstanzen abweicht. Alveolargängige Gase werden ohne vorherige Umwandlung in der Lunge an das Blut abgegeben und so im Körper verteilt. Hierbei bleibt primär die Muttersubstanz erhalten, eine Umwandlung kann dann im Rahmen der Stoffwechsellvorgänge erfolgen. Tabelle 6.2 zeigt einige Muttersubstanzen mit den daraus gebildeten Metaboliten.

Ein Großteil der aufgenommenen Stoffe wird vom Körper innerhalb des ersten Tages nach der Exposition ausgeschieden. Neben der direkten Abatmung spielt hierbei die Abgabe durch den Urin eine Hauptrolle, wobei die Substanzen zuvor im norma-

Brandgas	Stoffwechselprodukt (Metabolite)
Acrylnitril	2-Chlorethylenoxid
Benzol	Phenol, Benzochinon, Hydrochinon, Mucondialdehyd
Chlor	HOCl, HCl, O <sub>2</sub> -Radikale
Chlorbenzol	Chlorbenzolepoxide
Hexan	Hexandion, Dihydroxyhexanon
Kohlendisulfid	Thiothiazolidine
Methanol	Formaldehyd, Ameisensäure
Stickstoffdioxid	Salpetrige Säure, Salpetersäure
Styrol	Styrolepoxyd
Toluol	Benzoessäure
1,1,2-Trichlorethan	Chloracetaldehyd, Chloroessigsäure
Trichlorethen	Chloralhydrat, Trichlorethanol, Trichloroessigsäure
Vinylchlorid	Chlorethylenoxid, Chloracetaldehyd

Tab. 6.2: Wichtige toxische Stoffwechselprodukte von Brandgasen [46]

Parameter	Beispiele
Eliminierungsweg	
Atemluft	Aceton, Ammoniak, Benzol, Chlorbenzol, Ethanol, n-Hexan, Kohlendioxid, Kohlendisulfid, Kohlenmonoxid, Methanol, Phosphin, Styrol, Tetrachlorethen, 1,1,1-Tetrachlorethan (90 %), 1,1,2-Trichlorethan (8 %), Trichlorethen, Vinylchlorid
Urin	Aceton, Hydrazin, Kohlendioxid (Hydrogencarbonat)
Eliminierungsdauer	
wenige Stunden	Ammoniak, Chlorbenzol, Hydrazin, Kohlendisulfid (frei), 1,1,1-Trichlorethan
etwa einen Tag	Aceton, Hexan, Kohlenmonoxid, Methanol, Toluol, Trichlorethen, Vinylchlorid
mehrere Tage	Acrylnitril, Benzol, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Kohlendisulfid (proteingebunden), Tetrachlorethen

Tab. 6.3: Eliminierung unveränderter Brandgase [46]

Wirkbereiche	Beispiele
Nase und oberer Atemtrakt	Acrolein, Ammoniak, Chlorwasserstoff, Essigsäure, Formaldehyd, Hydrazin
Tiefer Atemtrakt und Lunge	Carbonylchlorid, Stickstoffdioxid
Gesamter Atemtrakt	Chlor, Chlorbenzol, Fluorwasserstoff, Schwefeldioxid
Auge	Acrolein, Ammoniak, Chlorwasserstoff, Ethanol, Formaldehyd, Hydrazin, Methanol
Mund (Schleimhaut)	Fluorwasserstoff, Tetrachlorethen
Haut	Ammoniak, Benzol, Carbonylchlorid, Chlor, Chlorwasserstoff, Fluorwasserstoff, Formaldehyd, Hydrazin
Blut	Acrylnitril, Benzol, Cyanwasserstoff, Hydrazin, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Phosphin, Schwefelwasserstoff
Knochenmark	Benzol
Immunsystem	Toluylendiisocyanate
Innere Organe, ZNS, Gehirn	Organisch-chemische Brandgase

Tab. 6.4: Wirkbereiche von Brandgasen [46]

len Stoffwechselprozess umgewandelt werden. Diese Umwandlungsprodukte können als Messgröße herangezogen werden. Nur ein kleiner Teil der inkorporierten Stoffe wird dauerhaft im Körper eingelagert, wobei davon besonders das Fettgewebe betroffen ist. Tabelle 6.3 stellt die Ausscheidungswege sowie die Eliminierungsdauer einiger Brandgase dar, die nicht verstoffwechselt werden.

Die Bereiche des Körpers, an denen die pulmolar inkorporierten Stoffe wirken, hängen neben deren spezifischen Eigenschaften von der vorhandenen Konzentration, dem Retentionsgrad sowie den anderen im Rauch enthaltenen Komponenten ab. Tabelle 6.4 veranschaulicht die Wirkbereiche einiger Brandgase.

## 6.2 Relevante Brandgase

Die Art der gebildeten Brandgase hängt neben dem jeweiligen Brennstoff vom Ausmaß des Brandes ab. In der Brandentstehungsphase kann von einer brandlastgesteuerten Verbrennung ausgegangen werden. Darunter versteht man einen Verbrennungsvorgang, der bei ausreichender Oxidationsmittelzufuhr durch die Art und Menge des brennbaren Stoffs begrenzt wird. In dieser Phase kommt es zu einer ausgeprägten Flammenbildung

bei geringer Rußbildung. In erster Linie kommt es zu vollständigen Verbrennungen, als Nebenprodukte treten Kohlenmonoxid (CO) und Stickoxide (NOx) auf. Mit Ausbreitung des Brandes auf umliegende Komponenten und Erreichen der Vollbrandphase ist besonders in geschlossenen Bereichen, zu denen auch ein Bus-Innenraum zählt, mit einem Rückgang der Sauerstoffzufuhr zu rechnen. Aus der brandlastgesteuerten Verbrennung wird eine durch das Oxidationsmittel gesteuerte Verbrennung. Hierdurch werden die unvollständige Verbrennung und die Rußbildung begünstigt. Es entstehen vermehrt CO, NOx, Salzsäure (HCl), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Blausäure (HCN), Phosphor(V)-Oxid (P<sub>4</sub>O<sub>10</sub>), Phosgen (COCl<sub>2</sub>) sowie weitere organische Oxidationsprodukte. Nachfolgend werden die Bildung und Wirkung einiger entstehender Rauchgase beschrieben.

### 6.2.1 Kohlenmonoxid (CO)

Kohlenmonoxid entsteht durch die unvollständige Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Materialien, wie z. B. Kunststoffen. Es hat eine ähnliche Dichte wie Luft, es findet eine Durchmischung statt. Beim Einatmen lagert es sich an Stelle des Sauerstoffs O<sub>2</sub> am Hämoglobin an (Hämoglobin: roter Blutfarbstoff, im Körper für den Sauerstofftransport verantwortlich). Ursächlich hierfür ist die ca. 200 – 300 Mal größere Affinität des CO zum Hämoglobin als die des O<sub>2</sub>. Gebildet wird die sehr stabile CO-Hb-Verbindung, wobei das angelagerte CO nur sehr langsam abgegeben wird (haemolytisches Gift). Ist zu viel Hämoglobin durch CO belegt, kommt es zu einer Sauerstoffmangelversorgung, die von Schwindelgefühl und Orientierungsverlust bis hin zum Tod führen kann. CO ist farb-, geruch- und geschmacklos, der Körper zeigt keine Abwehrreaktionen wie Augentränen oder Brechreiz [50], [52], [53], [54]. Der Einsatztoleranzwert, bezogen auf eine vierstündige Exposition, liegt bei 100 ppm, der amerikanische AEGL-2-Wert für die 10-minütige Exposition bei 420 ppm. Bezogen auf eine 30-minütige Exposition liegt er bei 150 ppm (siehe Kapitel 6.3).

### 6.2.2 Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

Kohlendioxid entsteht durch die vollständige Verbrennung von Kohlenstoff. Die akute Toxizität ist als gering einzustufen. Erst bei höheren Konzentrationen (> 15.000 ppm) kommt es zu einer atemungsstimulierenden Wirkung (Hyperventilation). Erst bei Konzentrationen von > 70.000 ppm kommt

es zu Atemnot und Störungen des zentralen Nervensystems (ZNS) [50], [54], [55], [56].

### 6.2.3 Stickoxide (NOx)

Der Anteil von Stickstoff ( $N_2$ ) in der Atemluft liegt bei ca. 78 %. Durch die bei Verbrennungen auftretenden Temperaturen wird der Stickstoff oxidiert, es entstehen Stickoxide. Dabei vermag Stickstoff fünf Oxide mit der Summenformel  $N_2O_n$  ( $n = 1-5$ ) sowie mit der Summenformel NOx zu bilden. Stickoxide führen im Organismus zu Zellschädigungen, Lungenödeme können auftreten. Die Reizwirkung von Stickoxiden ist gering und kann bei gleichzeitiger Anwesenheit anderer Brandgase vernachlässigt werden. NO, NO<sub>2</sub> bzw. N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> entfalten ihre Giftigkeit in Verbindung mit Wasser. Die so gebildeten Säuren greifen das Lungengewebe an und zerstören es durch ihre reduzierende und oxidierende Wirkung. Die gebildeten Nitrosamine wirken kanzerogen, eine Wirkung lässt sich erst nach langer Zeit feststellen, eine Zuordnung zu einem konkreten Schadenereignis ist dann nicht mehr möglich [50], [56], [57], [58].

### 6.2.4 Cyanwasserstoff oder Blausäure (HCN)

Vor allem bei der Verbrennung von Kunststoffen kommt es zu einer vermehrten Bildung von Blausäure. Der biochemische Wirkungsmechanismus beruht auf der reversiblen Anlagerung des Cyanids an das Fe<sup>3+</sup>-Ion des Atmungszyklus Cytochromoxidase in den Zellen des Körpers. Dadurch wird die Sauerstoffzufuhr der Zellen unterbrochen, wodurch die für die Zelle lebenswichtigen Oxidationsprozesse unterbunden werden. Es kommt trotz ausreichender Sauerstoffversorgung des Bluts zu Erstickungserscheinungen. Je nach körperlicher Konstitution können Konzentrationen ab 100 ppm und eine Expositionszeit unter 30 Minuten tödlich sein. Der Einsatztoleranzwert liegt bei 5 ppm. Blausäureinhalation steigert die Atemfrequenz [50], [59].

### 6.2.5 Chlorwasserstoff oder Salzsäuregas (HCL)

Besonders die Verbrennung von PVC setzt große Mengen an Chlorwasserstoff frei. Durch die starke Säurewirkung (Salzsäure) kommt es bei der pulmonalen Intoxikation zu starken Reizungen der Schleimhäute und der oberen Atemwege. Es kann zur Bildung von Lungenödem kommen [50], [60]. Kondensierte Salzsäure wirkt stark korrosiv, was

bei der Brandschadensanierung beachtet werden muss. ETW- und MAK-Wert liegen bei 5 ppm, der ERPG-2-Wert liegt bei 20 ppm.

## 6.3 Grenzwerte unterschiedlicher Einsatzbereiche

Eine Festlegung von Emissionsgrenzwerten für Schadenfeuer scheidet an der Umsetzbarkeit, da es sich hierbei um ungewollte Ereignisse handelt. Die Bildung einiger besonders toxischer oder umweltgefährdender Schadgase kann zwar durch Verwendungsverbote bestimmter Stoffgruppen verhindert werden, die Eliminierung aller gefährlichen Rauchgasbestandteile ist aber nicht möglich. Durch die Auswahl von geeigneten Baustoffen und einer gezielten Zusammenstellung dieser zu Bauteilen und Baugruppen kann eine Verringerung des gebildeten Rauchgasvolumens erreicht werden. Welche Konstellationen dabei sinnvoll sind, muss in Testreihen herausgefunden werden. Dazu eignen sich Komponententests.

Die Aufstellung von Richt- und Orientierungswerten ist aber durchaus möglich und sinnvoll. Grundlage müssen Erkenntnisse über die Toxizitätsschwellen der häufigsten Brandgase sein. Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über existierende Grenzwerte. Diese legen zwar größtenteils eine längere Expositionszeit als die eines Brandes zu Grunde, als Basis für eine Abschätzung des Gefährdungspotenzials können sie aber herangezogen werden.

Im Arbeitsschutzbereich sind auf nationaler Ebene die MAK-, TRK- und BAT-Werte zu nennen. Grundlage hierfür sind das Chemikaliengesetz (ChemG) mit angehängter Gefahrstoffverordnung (GefStoffV). Die Grenzwerte sind in den „Technischen Regeln Gefährliche Stoffe“ (TRGS) veröffentlicht [61], [62], [63], [64], [65], [66].

Die Luftgrenzwerte MAK und TRK sind Schichtmittelwerte bei in der Regel täglich achtstündiger Exposition und bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden.

- Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) ist die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei der im Allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird.
- Technische Richtkonzentration (TRK) ist die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Ar-



beitsplatz, die nach dem Stand der Technik erreicht werden kann. TRK-Werte gelten für kanzerogen, mutagen und teratogen wirkende Stoffe.

Neben den Luftgrenzwerten existieren Grenzwerte für die maximal zulässige Konzentration bestimmter Stoffe (Muttersubstanz sowie gebildete Metaboliten) im Organismus sowie den Ausscheidungsprodukten. Hierzu gehört die Reihe der BAT-Werte.

- Biologischer Arbeitsplatztoleranzwert (BAT) ist die Konzentration eines Stoffes oder seines Umwandlungsproduktes im Körper oder die dadurch ausgelöste Abweichung eines biologischen Indikators von seiner Norm, bei der im Allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird.

Für luftgetragene Partikel gilt der Allgemeine Staubgrenzwert, der eine maximale Feinstaubkonzentration von  $6 \text{ mg/m}^3$  festlegt. Dieser Wert soll die Beeinträchtigung der Funktion der Atmungsorgane infolge einer allgemeinen Staubwirkung verhindern und ist in jedem Fall in Ergänzung stoffspezifischer Luftgrenzwerte einzuhalten [66].

Im internationalen Bereich existiert eine Vielzahl ähnlicher Grenzwerte, deren Nennung den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, ohne dabei zu grundlegend neuen Erkenntnissen zu führen. Vielmehr sind die Werte und Erfahrungen von Interesse, die als Basis für die Grenzwertbestimmungen herangezogen werden. Dabei handelt es sich zum einen um Werte, die nach Unfällen und aus klinischen Beobachtungen gewonnen wurden, zum anderen aus Laborversuchen. Diese beinhalten Tierversuche und Tests mit freiwilligen Probanden. Die festgestellten letalen Dosen und Konzentrationen ( $\text{LD}_{50}/\text{LC}_{50}$ -Werte), beobachtete Reaktionen von Organismen und weitere Erkenntnisse werden beispielsweise in den niedrigsten Dosen ohne Effekt angegeben. Diese no-observed-effect-level NOEL (auch mit dem Zusatz adverse NOAEL) beziehen sich zwar nur auf die untersuchte Spezies, als Anhaltspunkt können sie aber durchaus Verwendung finden.

Speziell für den Brandfall wurden in einigen Ländern landesspezifische Grenzwertlisten erarbeitet, die bei der Bewertung der Gefahren für eingesetzte Rettungskräfte und den exponierten Teil der Bevölkerung herangezogen werden können. In Amerika sind dies beispielsweise die Emergency Response Planning Guidelines (ERPG) der American Industrial Hygiene Association (AIHA). Im Jahr 1992

veröffentlichte der Verband zur Förderung des deutschen Brandschutzes (vfdb) – Referat 10, Umweltschutz – einen Entwurf, in dem für einige toxische Brandgase so genannte Einsatztoleranzwerte (ETW) vorgeschlagen wurden. Diese vfdb-Richtlinie 10.01 wurde weiter überarbeitet und 1999 vom Vorstand des vfdb freigegeben. Bereits 1997 veröffentlichte das Bundesamt für Zivilschutz eine ergänzte Liste an ETW [50], [67], [68].

Seit Ende 1998 laufen international unter der Führung der USA Arbeiten an ähnlich definierten Werten, den Acute Exposure Guideline Levels (AEGL). Hierzu sind bisher aber nur einige Werte vorgeschlagen, andere befinden sich im so genannten Interims-Status, die endgültige Festlegung steht noch aus [69]. Von deutscher Seite werden durch die Störfallkommission Konzentrationsleitwerte erarbeitet, die den US-amerikanischen Gremien vorgeschlagen werden. Die AEGL-Werte sind in drei Stufen gegliedert, die jeweils in unterschiedliche Gruppen, abhängig von der Expositionszeit, unterteilt sind.

AEGL-1: Schwelle zum spürbaren Unwohlsein

AEGL-2: Schwelle zu schwer wiegenden, lange andauernden oder fluchtbehindernden Wirkungen

AEGL-3: Schwelle zur tödlichen Wirkung

Diese Effekt-Schweregrade werden in folgende Expositionszeiträume unterteilt: 10 Minuten, 30 Minuten, 1 Stunde, 4 Stunden und 8 Stunden.

Als Grundlage für die Evakuierung von Reisebussen ist dabei der AEGL-2-Wert bei 10-minütiger Expositionszeit sinnvoll.

Die Festlegung von Grenzwerten für systemisch toxische Stoffe gestaltet sich sehr schwierig. Zum einen ist hierbei der personenspezifische Einfluss besonders groß, zum anderen spielen Synergismen eine Rolle, deren Einfluss nicht vorhersagbar ist. Da es sich in aller Regel um eine einmalige Exposition der bei Brandereignissen auftretenden hohen Konzentration handelt, wird kein Grenzwert empfohlen. Herstellerseitig sollte aber darauf geachtet werden, dass die eingesetzten Materialien keine Bestandteile enthalten, die bei Brandeinwirkung oder thermischer Belastung systemisch toxische Stoffe in hohen Konzentrationen bilden. Das Gleiche gilt in besonderem Maße auch für Dioxine, da deren Bildung aufwändige Brandschadensanierungen zur Folge hat.

## 7 Eisenbahnwesen

Im europäischen Eisenbahnwesen arbeiten die einzelnen nationalen Gesellschaften im Bereich der Forschung und Reglementierung eng zusammen. Dazu wurde bereits 1950 das Office for Research and Experiments (ORE) mit Sitz in Utrecht als Teil der International Union of Railways (UIC) gegründet. ORE ging im Januar 1992 in das neu geschaffene European Railway Research Institute (ERRI) auf. In mehreren Fachgremien werden dabei Lösungen zu Problemen im Bereich des Schienenverkehrs erarbeitet. Im Sachverständigenausschuss 106 wurde im Rahmen der Standardisierung von Reisezugwagen nach Prüfverfahren und Anforderungen zur Klassifizierung des Brandverhaltens der Werkstoffe und der Strukturen von Eisenbahnfahrzeugen gesucht. Die Ergebnisse dieser Forschungsreihe werden nachfolgend dargestellt und auf ihre Übertragbarkeit auf den Reisebussektor hin untersucht.

### 7.1 Aufgabenstellung

Durch den bahnen- und länderübergreifenden Einsatz von Eisenbahnwagen zum Personentransport sind einheitliche Vorgaben an das Sicherheitsniveau erforderlich. Ein Bestandteil davon ist das Brandverhalten der zum Bau verwendeten Materialien sowie der Gesamtheit der Waggonen. Ein Expertengremium, bestehend aus Fachleuten der im damaligen ORE vertretenen Bahngesellschaften, erarbeitete zwischen 1983 und 1991 einen Katalog zur Produktklassifikation und zur Auswahl geeigneter Prüfverfahren [70], [71], [72], [73]. Zielvorgabe dabei war, geeignete Produktklassen zu bestimmen, Mindestanforderungen festzulegen und reproduzierbare Verfahren vorzuschlagen. Wegen der unterschiedlichen Laborausrüstungen bei den Mitgliedsbahnen wurden die vorgeschlagenen Prüfungen als Vergleichsverfahren angesetzt. Vor Verwendung der eigenen Verfahren muss die Äquivalenz der Ergebnisse nachgewiesen werden.

### 7.2 Basisparameter

Zur Festlegung von Prüfverfahren und Produktklassen ist es erforderlich, Parameter zu definieren, an die Anforderungen gestellt werden sollen. Diese Einteilung wurde vom ORE-Arbeitskreis auf Basis einer Umfrage bei den Mitgliedsgesellschaften vorgenommen [70].

#### 7.2.1 Umfrageergebnisse

Ziel der Umfrage war, Erkenntnisse über die Brandhäufigkeit in Personenzugwagen, die Zündungsszenarien und die Folgen zu sammeln. Bei der Auswertung stellte sich heraus, dass besonders Wagen von wenig besetzten Zügen in Ballungszentren betroffen sind. Bei Bränden nach elektrischer Zündung kam es in der Regel zu schwer wiegenden Folgen wie einem Fahrzeugtotalverlust. Weniger schlimm waren die durch Vandalismus ausgelösten Brände, da diese in der Regel schnell entdeckt und gelöscht werden. Der Anteil der elektrischen Zündung steigt mit zunehmendem Fahrzeugalter. Zündquellen beim Vandalismus sind Feuerzeuge, angezündetes Papier und Zigaretten. Die primär in Brand gesetzten Objekte sind Sitze, Vorhänge und die Abteildecken in Liegewagen.

#### 7.2.2 Prüfungsumfang

Zur späteren Auswahl geeigneter Prüfverfahren legte der Arbeitskreis fest, welche Werkstoffeigenschaften und welche konstruktiven Maßnahmen einer Regelung bedürfen. Die zu überprüfenden Werkstoffe sind dabei auf ihr Brandverhalten zu testen. Parameter sind hierbei die Feuerreaktion und -beständigkeit sowie die Produkte aus der Verbrennung. Die Brandprodukte sind dabei lediglich auf die Rauchgastoxizität und Rauchopazität (Durchsichtigkeit) zu bewerten. Die konstruktiven Maßnahmen betreffen die Fahrzeuggestaltung.

##### 7.2.2.1 Feuerreaktion

Zur Prüfung der Feuerreaktion wird der Werkstoff mit einer Flamme oder einem glühenden Körper in Kontakt gebracht bzw. mit Wärme bestrahlt. Kenngrößen sind die Brennbarkeit, die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit und die eventuelle Erzeugung entflammter Teilchen. Das Risiko entflammter Teilchen besteht in der Förderung einer Brandausbreitung auf benachbarte Bauteile, beispielsweise durch brennendes Abtropfen von Deckenteilen auf darunter liegende Sitze.

##### 7.2.2.2 Feuerbeständigkeit

Unter Feuerbeständigkeit wird die Zeitspanne verstanden, in der eine Baugruppe trotz näher zu definierender Brandeinwirkung keinen Funktionsverlust erleidet. Relevante Größen sind dabei die mechanische Festigkeit, die thermische Isolierung sowie die Flammen- und Gasdurchlässigkeit.

### 7.2.2.3 Brandprodukte

Als Brandprodukte werden der entwickelte Rauch und gebildete Gase verstanden. Für Gase wird eine Prüfung der Giftigkeit gefordert. Dabei sollen der chemische Charakter (Analyse der Gase, Entstehungsdynamik, ...) und der biologische Charakter (Wirkung auf den einzelnen Menschen in Abhängigkeit von Konzentration und Kombination) Beachtung finden. Bei Rauch soll die Durchsichtigkeit (Opazität) gemessen werden, wobei nicht nur die optische Rauchdichte, sondern auch der Sichtverlust durch Augenreizungen mit einbezogen werden sollen.

### 7.2.2.4 Fahrzeuggestaltung

Hierunter fällt die konstruktive Anordnung einzelner Komponenten im Rahmen der Fahrzeugkonstruktion. Der Brandbereich muss dabei möglichst gut abgegrenzt werden, damit der Schaden auf einen bestimmten Bereich beschränkt bleibt. Räumungsmittel wie Türen und Fenster sind in ausreichendem Maße entsprechend den gesetzlichen Vorgaben zu integrieren. Leitungen zur Erleichterung des Gasabzugs sind vorzusehen. Die Brandentdeckung und die Vorhaltung geeigneter Löschmittel sind zu berücksichtigen.

### 7.2.3 Anforderungen an die Prüfverfahren

Bei der großen Gesamtzahl an im internationalen Bereich eingesetzten Prüfverfahren müssen einige Anforderungen definiert werden, um die Auswahlmöglichkeiten auf ein sinnvolles Maß zu beschränken. Folgende Forderungen wurden aufgestellt:

- einfach und kostengünstig,
- vollständig definierte Versuchsmodalitäten,
- zuverlässige und selektive Ergebnisse.

Des Weiteren müssen die Versuche bei reproduzierbaren Ergebnissen wiederholbar sein. Die Resultate müssen eine Quantifizierung und Klassifizierung der geprüften Materialien ermöglichen.

## 7.3 Klassifizierung der Werkstoffe

Um eine sinnvolle Klassifizierung vornehmen zu können, ist es erforderlich, Familien für die Werkstoffe, so genannte Erzeugniskategorien, zu bilden. Die ORE-Einteilung beinhaltet folgende Punkte [71]:

- Starre Werkstoffe (Sperrholz, Holzfaserverplatten, dekorative Schichtstoffe, Glasfaserverpolyester-schichtstoffe),
- Textilien (Vorhänge, Sitzverkleidungen, Wandbeläge),
- Tür- und Fensterdichtungen,
- elektrische Kabel,
- wabenförmige Werkstoffe,
- Gummiwülste von Übergangsbrücken,
- thermoplastische Werkstoffe,
- Werkstoffe für elektrische Anlagen,
- Bodenbeläge,
- Sitze.

Die Prüfverfahren müssen eine Eingruppierung in eine der festgelegten Kategorien ermöglichen. Diese wurden sowohl für die Feuerreaktion als auch die Toxizität der Brandprodukte festgelegt.

Für die Feuerreaktion sind dies:

- Kategorie A: Materialien mit guter Feuerreaktion
- Kategorie B: Materialien mit mittelmäßiger Feuerreaktion
- Kategorie C: Materialien mit schlechter Feuerreaktion

Für die Toxizität sind dies:

- Kategorie A: Werkstoffe mit geringer Toxizität
- Kategorie B: Werkstoffe mit akzeptabler Toxizität
- Kategorie C: Werkstoffe mit nicht mehr akzeptabler Toxizität

Die entsprechenden Kriterien für die Einteilung werden bei der Vorstellung der jeweiligen Prüfverfahren angegeben.

## 7.4 Auswahl der Prüfverfahren

Entsprechend den gestellten Anforderungen wurden für die einzelnen Erzeugniskategorien unterschiedliche Prüfverfahren getestet und bewertet. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit wurden die Tests parallel in den bahneigenen Laboratorien durchgeführt. Die jeweils Besten wurden als ORE-Verfahren festgeschrieben.

### 7.4.1 Feuerreaktion der Materialien

Insgesamt wählte der Arbeitskreis mehrere Verfahrensgruppen aus, die zur näheren Untersuchung der Materialien in Hinblick auf die Feuerreaktion herangezogen wurden.

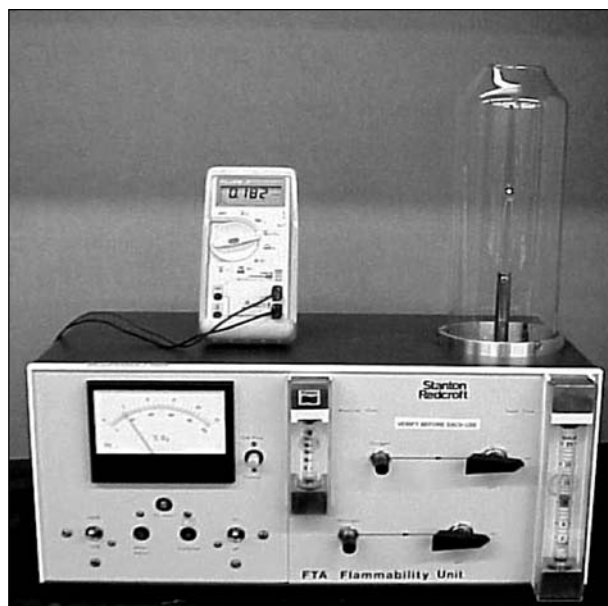
#### 7.4.1.1 Sauerstoffzahl

Ein international anerkanntes Verfahren zur Klassifizierung von Materialien bezüglich ihrer Brennbarkeit ist die Bestimmung der Sauerstoffzahl. Dabei wird der Mindestsauerstoffgehalt eines Sauerstoff-Stickstoffgemischs ermittelt, bei dem der zu prüfende Werkstoff gerade noch brennt. In [71] wird die Sauerstoffzahl als Mindestsauerstoffgehalt definiert, der notwendig ist, um bei den herkömmlichen Vorgehensweisen die Feuerausbreitung bei dem genannten Material möglichst genau einzuhalten (ORE-Methode Nr. 7 A). Ein international normiertes Verfahren zur Bestimmung der Sauerstoffzahl findet sich in DIN EN ISO 4589 [74].

Die Zuordnung der geprüften Materialien in die Kategorien A bis C erfolgt anhand folgender Grenzwerte:

- Kategorie A: Sauerstoffzahl  $\geq 35$ ,
- Kategorie B:  $28 \leq$  Sauerstoffzahl  $< 35$ ,
- Kategorie C: Sauerstoffzahl  $< 28$ .

Die Sauerstoffzahl ist für folgende Erzeugniskategorien zu bestimmen:



**Bild 7.1:** Testapparatur zur Bestimmung des LOI [75]

- Starre Werkstoffe,
- Textilien,
- Tür- und Fensterdichtungen,
- wabenförmige Werkstoffe,
- Gummiwülste von Übergangsbrücken,
- thermoplastische Werkstoffe.

Der normale Luftsauerstoffgehalt liegt bei 21 %. Bild 7.1 zeigt eine Apparatur zur Bestimmung der Sauerstoffzahl (Limited Oxygen Index LOI) nach ASTM D 2863 bzw. DIN EN ISO 4589.

#### 7.4.1.2 Alkoholflamme

Zur Prüfung von nicht thermoplastischen Feststoffen auf ihre Feuerreaktion wird die Brandbelastung durch eine Alkoholflamme simuliert. Dabei wird der Prüfkörper im 45°-Winkel über einem mit 4 ml reinem Ethanol gefüllten Tiegel angebracht. Die Klassifizierung erfolgt nach Abbrand des gesamten Ethanols. Die genaue Prüfanordnung und der Ablauf sind im Factsheet ORE-Methode Nr. 1 A im Anhang dargestellt und erläutert. Die Eingruppierung erfolgt auf Basis der Tabelle 7.1.

- Kategorie A: Die Einzelergebnisse aller Prüfkörper liegen im weißen Feld und bei keinem Prüfkörper:
  - wurde der obere Rand erreicht,
  - gab es ein Herabfallen brennender Teilchen oder Tropfen,
  - glühte 10 s nach Erlöschen der Ethanolflamme ein Punkt nach.
- Kategorie B: Der arithmetische Mittelwert der Flammen-Nachbrennzeit und der arithmetische Mittelwert der geschädigten Flächen liegen im weißen oder in den grauen Feldern. Außerdem wurde bei keinem Prüfkörper.

Oberfläche [cm <sup>2</sup> ] <sup>(2)</sup>	Nachbrennzeit [s] <sup>(1)</sup>		
	$P \leq 2$	$2 < P \leq 10$	$P > 10$
$S \leq 100$			X
$100 < S \leq 150$			X
$S > 150$	X	X	X

<sup>(1)</sup> Nachbrennzeit nach Erlöschen der Ethanolflamme  
<sup>(2)</sup> Brandgeschädigte Prüfkörperoberfläche nach Versuch

**Tab. 7.1:** Basis zur Eingruppierung der Versuche mit einer Alkoholflamme [71]

- der obere Rand erreicht,
  - ein Herabfallen brennender Teilchen oder Tropfen festgestellt,
  - 10 s nach Erlöschen der Ethanolflamme ein nachglühender Punkt festgestellt.
- Kategorie C: Die Versuchsergebnisse entsprechen nicht den für die Kategorie A oder B geforderten Bedingungen.

Die Alkoholflamme ist für folgende Erzeugniskategorie anzuwenden:

- starre Werkstoffe.

### 7.4.1.3 Gasbrenner

Gasbrenner kommen bei mehreren unterschiedlichen ORE-Prüfverfahren zum Einsatz. Entsprechend Methode Nr. 5 A wird der eingespannte, senkrecht stehende Probenkörper kantenbeflammt. Der gesamte Verfahrensaufbau ist sehr ähnlich mit dem zur Bestimmung der senkrechten Brenngeschwindigkeit von Werkstoffen aus der Richtlinie 95/28/EG. Der Winkel zwischen Brenner und senkrecht eingespanntem Prüfkörper beträgt hier  $45^\circ$ , die verwendeten Prüfkörper sind mit  $190 \times 320$  mm nur etwa halb so groß und die Beflammungszeit beträgt  $30 \pm 1$  s. Die genaue Anordnung ist in Bild 7.2 dargestellt.

Aufgenommen werden die Nachbrennzeit nach Löschen des Brenners, eventuelle glühende Punkte, das Herabfallen von brennenden Teilchen oder Tropfen und ob der obere Probenrand von der Flammenfront erreicht wird. Des Weiteren wird die maximale Längen- und Breitenausdehnung der brandgeschädigten Oberfläche vermessen. Die Eingruppierung erfolgt auf Basis von Tabelle 7.2.

- Kategorie A: Die Einzelergebnisse aller Prüfkörper liegen im weißen Feld und bei keinem Prüfkörper
  - wurde der obere Rand erreicht,
  - gab es ein Herabfallen brennender Teilchen oder Tropfen,
  - glühte 10 s nach Erlöschen des Brenners ein Punkt nach.
- Kategorie B: Der arithmetische Mittelwert der Flammen-Nachbrennzeit und der arithmetische Mittelwert der geschädigten Flächen liegen im weißen oder in den grauen Feldern.

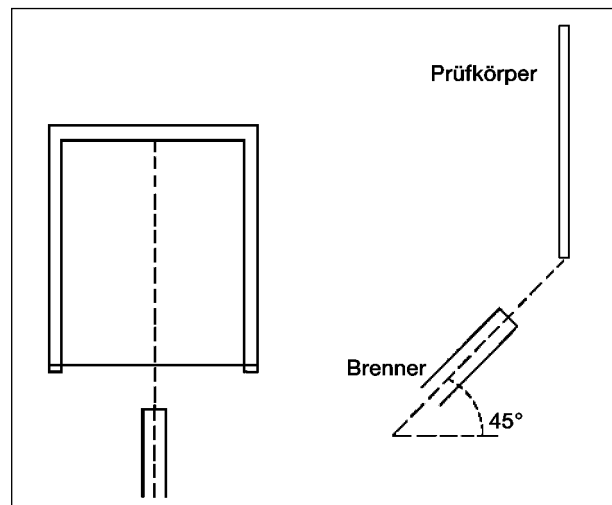


Bild 7.2: Anordnung der ORE-Methode Nr. 5 A

Oberfläche [cm <sup>2</sup> ] <sup>(2)</sup>	Nachbrennzeit [s] <sup>(1)</sup>		
	$P \leq 2$	$2 < P \leq 10$	$P > 10$
$S \leq 80$			X
$80 < S \leq 200$			X
$S > 200$	X	X	X

<sup>(1)</sup> Nachbrennzeit nach Erlöschen des Brenners  
<sup>(2)</sup> Brandgeschädigte Prüfkörperoberfläche nach Versuch

Tab. 7.2: Basis zur Eingruppierung der Versuche mit einem Gasbrenner für ORE-Methode 5 A [71]

Außerdem wurde bei keinem Prüfkörper

- der obere Rand erreicht,
  - ein Herabfallen brennender Teilchen oder Tropfen festgestellt,
  - 10 s nach Erlöschen der Ethanolflamme ein nachglühender Punkt festgestellt.
- Kategorie C: Die Versuchsergebnisse entsprechen nicht den für die Kategorie A oder B geforderten Bedingungen.

Die ORE-Methode Nr. 5 A ist auf folgende Erzeugniskategorien anzuwenden:

- Textilien
- Gummiwülste von Übergangsbrücken (kann)

Der gleiche Grundaufbau wird zur Prüfung von Gummiprofilen und -dichtungen von Fenster- und Türelementen verwendet (ORE-Methode 6 A). Dabei werden die Proben in Originalbreite und einer Länge von 320 mm über der Brennerflamme aufgehängt. Die Tabelle zur Eingruppierung ist identisch mit der aus ORE-Methode 5 A, Nachglühzeiten von bis zu 10 Minuten sind zulässig.

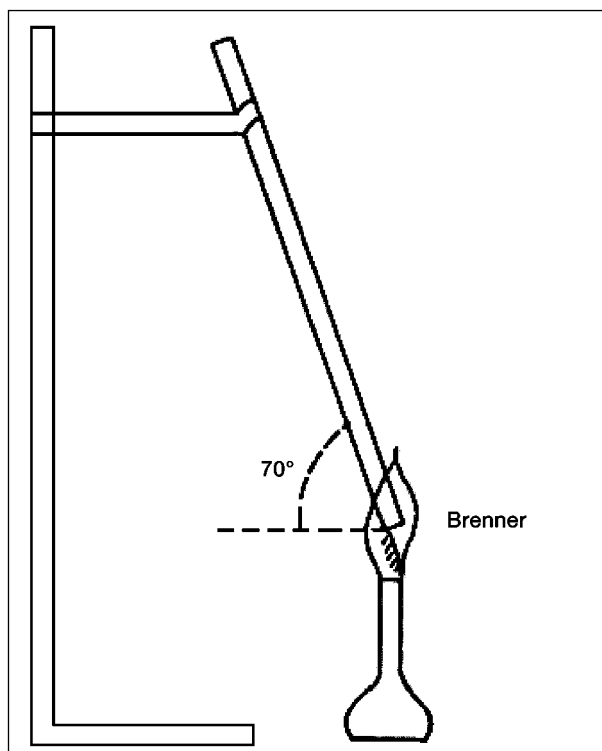
Alternativ zur ORE-Methode Nr. 5 A können Gummiwülste von Übergangsbrücken auch derart geprüft werden, dass insgesamt 12 Proben mit einer Größe von 220 x 20 mm im Winkel von 70° über einem senkrecht stehenden Brenner kantenbeflammt werden (ORE-Methode Nr. 10 A). Die Proben sind sowohl in Längs- als auch in Querrichtung zu prüfen. Gemessen wird die Nachbrennzeit  $T_i$  nach Löschen des Brenners. Die Beflammungsdauer  $t_i$  liegt zwischen 5 und 30 Sekunden, wobei diese immer um 5 Sekunden verlängert wird. Die Versuchsanordnung ist in Bild 7.3 skizziert.

Die Eingruppierung wird nach folgendem Schema durchgeführt:

- Kategorie A: Bei allen 12 Proben betragen die  $T_i$ -Werte Null und es sind auch keine brennenden Tropfen oder Teilchen herabgefallen.
- Kategorie B: Bei allen 12 Proben waren die  $T_i$ -Werte geringer oder gleich den entsprechenden  $t_i$ -Werten und es sind keine brennenden Tropfen oder Teilchen herabgefallen.
- Kategorie C: Die erzielten Ergebnisse genügen nicht den gestellten Anforderungen für die Gruppen A und B.

ORE-Methode Nr. 11 A dient der Ermittlung der Feuerreaktion starrer thermoplastischer Werkstoffe. Die Prüfanordnung ist identisch zu der aus DIN 54837, Bestimmung des Brennverhaltens mit einem Gasbrenner [76], die Probengröße ist mit 160 x 300 mm kleiner. Der prinzipielle Aufbau kann dem Factsheet im Anhang entnommen werden. Die Eingruppierung erfolgt auf Basis der Tabelle 7.3.

- Kategorie A: Die Einzelergebnisse aller Proben liegen im weißen Feld und bei keiner Probe
  - wurde der obere Rand erreicht,
  - gab es ein Herabfallen brennender Teilchen oder Tropfen.
- Kategorie B: Der arithmetische Mittelwert der Dauer des Fortbestands einer Flamme sowie der arithmetische Mittelwert der geschädigten Flächen liegen im weißen oder in den grauen Feldern. Außerdem wurde bei keiner einzigen Probe
  - der obere Rand erreicht,



**Bild 7.3:** Anordnung der ORE-Methode Nr. 10 A

Oberfläche [cm <sup>2</sup> ] <sup>(2)</sup>	Nachbrennzeit [s] <sup>(1)</sup>		
	$P \leq 2$	$2 < P \leq 10$	$P > 10$
$S \leq 100$			X
$100 < S \leq 200$			X
$S > 200$	X	X	X

<sup>(1)</sup> Nachbrennzeit nach Erlöschen des Brenners  
<sup>(2)</sup> Brandgeschädigte Prüfkörperoberfläche nach Versuch

**Tab. 7.3:** Basis zur Eingruppierung der Versuche mit einem Gasbrenner für ORE-Methode 11 A [71]

- ein Herabfallen brennender Teilchen oder Tropfen festgestellt.

- Kategorie C: Die Versuchsergebnisse entsprechen nicht den für die Kategorie A oder B geforderten Bedingungen.

Der identische Versuchsaufbau wird zur Klassifizierung von Bodenbelägen verwendet, wobei diese zuvor auf einer der Prüfkörpergröße entsprechenden 10 mm dicken Spanplatte befestigt werden (ORE-Methode Nr. 12 A). Die Anforderungen bleiben die gleichen.

#### 7.4.1.4 Papierkissentest

Sitze sind entsprechend dem UIC-Merkblatt Nr. 564-2 [77] zu prüfen. Das darin beschriebene Papierkissen ist identisch mit dem aus DIN 54341 [78]. Da seitens der ORE keine Grenzwerte benannt

sind, werden nachfolgend die des UIC-Merkblatts wiedergeben. Als Beflammungsquelle dient ein Papierkissen. Hierfür werden 100 g unbedruckten Zeitungspapiers getrocknet. Ein in der Mitte gefaltetes Blatt wird mit dem übrigen definiert zerknüllten Papier gefüllt und an den offenen Seiten mittels Metallheftklammern fixiert. Der Versuch wird in einem Raum ohne Luftzug (entsprechend DIN 54341 im Brennkasten nach DIN 50050) durchgeführt. Das „Kissen“ aus Zeitungspapier muss so auf die Sitzfläche gelegt werden, dass eine der Längsseiten die Rückenlehne berührt und das Kissen flach auf der Sitzfläche aufliegt. Das Kissen wird zügig an den vier Ecken angezündet. Der Ablauf des Verbrennens ist zu beobachten, wobei alle 30 Sekunden Veränderungen im Brennvorgang zu notieren sind. Für den Fall, dass das Papierkissen ganz oder teilweise unter den Sitz auf den Fußboden gelegt werden kann, muss ein zusätzlicher Versuch mit dieser Beflammungsanordnung von unten durchgeführt werden.

Nachfolgende Anforderungen müssen erfüllt werden:

- Spätestens 10 Minuten nach Beginn des Versuchs muss das Feuer von selbst verlöschen.
- Es dürfen keine brennenden Teile abfallen.

#### 7.4.1.5 Übrige Materialien

Werkstoffe für elektrische Anlagen werden vorübergehend den nicht thermoplastischen, starren Werkstoffen gleichgestellt.

### 7.4.2 Feuerbeständigkeit der Baugruppen

Um den Funktionserhalt der einzelnen Bauteile und -gruppen zu gewährleisten, sind hierfür nur geprüfte Materialien zu verwenden. Bei der baulichen Anordnung ist darauf zu achten, dass eine Brandausbreitung möglichst verhindert wird. Wegen des großen Umfangs der durch das ORE-Gremium gestellten Anforderungen werden nachfolgend nur die für den Reisebusbereich relevanten wiedergegeben [72].

#### 7.4.2.1 Innenwände und Fußböden

Eine mindestens 15 Minuten feuerwehrende Wand muss die Motoren oder die elektrischen Anlagen von den Reisezugwagenabteilen trennen.

Bei den Fahrzeugen, die unter dem Boden elektrische [...] Vorrichtungen besitzen, muss das Fußbo-

dengefüge ein Stahlblech oder ein Material mit gutem Feuerverhalten sein.

#### 7.4.2.2 Elektrische Anlagen

Elektrische Kabelbündel sollten möglichst aus parallelen nebeneinander liegenden Kabeln gebildet sein. Sie sind vorzugsweise im unteren Teil und horizontal anzubringen.

Bandleuchten müssen senkrecht zur Achse des Reisezugwagens angebracht werden. Die parallel zur Achse des Reisezugwagens liegenden Bandleuchten müssen Unterbrechungen enthalten.

#### 7.4.2.3 Heizung – Lüftung – Klima

Die Klimaanlage muss sich automatisch ausschalten, wenn die Temperatur der Heizbatterie oder des Luftausgangs die im Lastenheft vorgesehenen normalen Werte übersteigt.

Heizkörper müssen durch einen Isolierstoff mit gutem Feuerverhalten geschützt und in einer Weise angeordnet sein, dass keine Gegenstände darauf abgelegt werden können. Die Reinigung muss einfach sein.

Die Innenwand von Lüftungskanälen sollte vorzugsweise aus Metall bestehen oder aber aus Material mit gutem Feuerverhalten, das mindestens der Klasse A der ORE-Methode entsprechen muss. Die Lüftungskanäle müssen leicht zu reinigen und so angeordnet sein, dass sie die Wirksamkeit der Innenwände nicht beeinträchtigen.

### 7.4.3 Prüfung der Brandprodukte

Der bei der Verbrennung entstehende Rauch ist auf seine Undurchsichtigkeit und Giftigkeit zu überprüfen. Die gewählten Verfahren werden nachfolgend beschrieben.

#### 7.4.3.1 Rauchdurchsichtigkeit

Die Versuchsbedingungen sind in ORE-Methode Nr. 13 A festgelegt. Der in eine Haltevorrichtung eingespannte Prüfkörper wird mit einem Gasbrenner direkt beflammt. Der Test findet in einer Kammer mit einem Volumen von ca. 0,5 m<sup>3</sup> statt. Zur Bestimmung der Rauchdurchsichtigkeit (Rauchkapazität) wird ein Lichtstrahl einer handelsüblichen 100-Watt-Glühbirne durch die Prüfkammer geleitet. Mit einem Beleuchtungsmesser wird die Restlichtstärke gemessen, die Indikator zur Eingruppierung ist. Die genaue Prüfanordnung kann dem

T [ $l_{x_{min}}$ ]	E4 [ $lx$ ]		
	EA $\geq$ 50	20 $\leq$ EA < 50	EA < 20
S $\leq$ 100	A	B	B
100 < S $\leq$ 200	B	B	C
S > 200	C	C	C

Tab. 7.4: Basis zur Eingruppierung der Rauchdurchsichtigkeit [71]

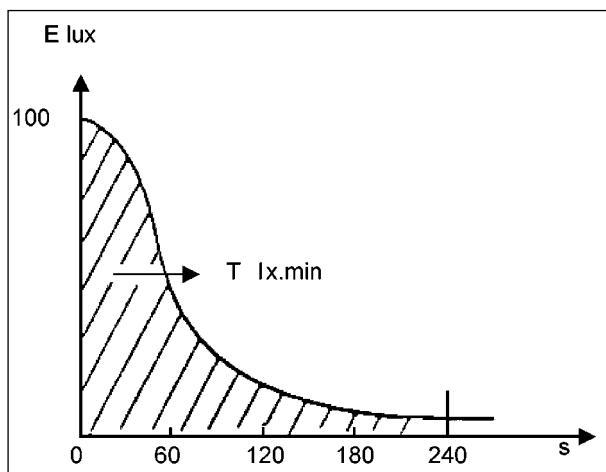


Bild 7.4: Kurvenbeispiel  $E = f(t)$  [71]

Factsheet ORE-Methode Nr. 13 A des Anhangs entnommen werden. Die Eingruppierung erfolgt entsprechend Tabelle 7.4.

Für die Gruppenzuteilung ist die Beleuchtungsstärke E4, die in der vierten Versuchsminute ermittelt wird, zu erfassen. Dazu kommt die während der in den ersten vier Minuten übertragene Beleuchtungsstärke T in Luxminute, die durch Berechnung der Fläche zwischen dem Koordinatensystem und der in Bild 7.4 aufgetragenen Kurve  $E = f(t)$  ermittelt wird. Für die Kategorieeinteilung gilt:

$$T = \int_0^4 E(t) dt$$

#### 7.4.3.2 Rauchgastoxizität

Ursprünglich plante die ORE-Arbeitsgruppe, die Eingruppierung auf Basis einer Vielzahl unterschiedlicher Rauchgase vorzunehmen. Nach einigen Versuchen wurde dieses Vorhaben verworfen, die Untersuchungen wurden auf Kohlenstoffoxyde, namentlich CO und CO<sub>2</sub>, beschränkt.

Die Prüfung der Werkstoffe findet in der Kammer statt, die auch zur Rauchdurchsichtigkeitsbestimmung nach ORE-Methode Nr. 13 A verwendet wird. Der Prüfkörper (Ausschnitt mit maximal 100 mm<sup>3</sup>, 1 g schwer) wird darin mit einem elektrischen Heiz-

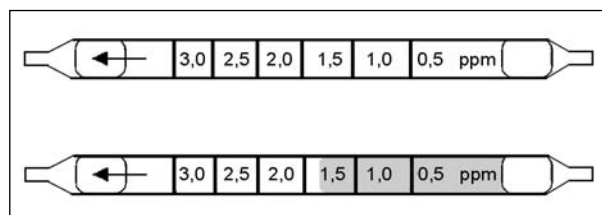


Bild 7.5: Prüfröhrchen mit und ohne Farbumschlag [79]

strahler über eine Dauer von 5 Minuten thermisch belastet. Anschließend wird die Konzentration von CO und CO<sub>2</sub> mittels Prüfröhrchen Bild 7.5 bestimmt. Die Einzelheiten werden im Factsheet ORE-Methode 14 im Anhang dargestellt.

Die Eingruppierung erfolgt auf Basis der Mittelwerte von drei Proben nach folgendem Schema:

- Kategorie A: CO-Gehalt unter 20 ppm und CO<sub>2</sub>-Gehalt maximal 1.200 ppm
- Kategorie B: CO-Gehalt unter 1.200 ppm und CO<sub>2</sub>-Gehalt maximal 6.000 ppm
- Kategorie C: alle Übrigen

#### 7.4.4 Brandversuch natürlicher Größe

Zur Überprüfung und Validierung der Ergebnisse aus den kleinmaßstäblichen Versuchen legte die ORE-Arbeitsgruppe eine Versuchsanordnung fest, mit der die Bauteile und -gruppen in Originalgröße getestet werden können, ohne dass dazu ein komplettes Fahrzeug in Brand gesetzt werden muss. Simuliert wird dazu die Abteilecke eines Reisezugwagens, bestehend aus zwei im Winkel zueinander angeordneten Zwischenwänden sowie einem Boden- und Deckenelement. An eine der Trennwände wird ein Sitz oder eine Bank angebaut. Verschiedene andere Innenausstattungsbestandteile wie Vorhang, Fensterrahmen, Leuchtkörper, elektrische Leitungen usw. können entsprechend dem Versuchsziel ergänzt werden.

Die Zündung erfolgt mit dem UIC-Papierkissen an einer geeigneten Stelle. Der gesamte Brandverlauf wird dokumentiert. Zur Kategorisierung wird die Temperatur in der vierten Versuchsminute (T4) 10 cm unterhalb des Deckenelements (Messpunkt MP 1) und 150 cm oberhalb des Bodenelements (Messpunkt MP 2) gemessen und entsprechend Tabelle 5 zugeordnet.

Im Übrigen sind die Ergebnisse nur dann gut, wenn das Feuer höchstens 10 Minuten nach dem Entzünden von selbst erlischt.



T4	Ergebnisse [°C]		
	gut	zufrieden stellend	schlecht
MP 1	< 100	$100 \geq T \leq 200$	> 200
MP 2	< 60	$60 \geq T \leq 100$	> 100

**Tab. 7.5:** Basis zur Eingruppierung der Versuche mit dem Papierkissentest [71]

Für die Realbrandversuche wurden im Rahmen des ORE-Projekts keine Grenzwerte festgelegt.

## 7.5 Übertragbarkeit

Generell lässt sich die Problematik des Brandes von Personenzugwagen und Reisebussen sehr gut vergleichen. Die durch den ORE-Arbeitskreis erarbeiteten Basisparameter können von daher als Diskussionsgrundlage für dieses Projekt verwendet werden. Die Einteilung in die Kategorien Feuerreaktion (Brandverhalten), Feuerbeständigkeit (Feuerwiderstandsdauer), Brandprodukte (Rauchgasentwicklung) und Fahrzeuggestaltung deckt das Spektrum der zu untersuchenden Parameter vollständig ab. Die Klassifizierung der Werkstoffe kann prinzipiell übernommen werden. Sinnvoll ist aber eine Modifikation hin zu Bauteilgruppen wie beispielsweise Lüftungsschächte. Ergänzend zur Eingruppierung in die Kategorien A bis C sollte die Klassifizierung entsprechend der DIN EN 13823 [40] in die Diskussion aufgenommen werden, da diese das komplette Ergebnis aller Prüfungen widerspiegelt.

Die durch die ORE-Arbeitsgruppe zusammengestellten Prüfverfahren bilden eine sehr gute Ergänzung möglicher im Reisebusbereich einsetzbarer Verfahren. Nicht erfasst werden die Wärmefreisetzungsrate, die gebildete Rauchmenge und der Gewichtsverlust des Probekörpers während des Versuchs. Ob die Limitierung der untersuchten Rauchgase auf Kohlenstoffoxyde ausreicht, muss diskutiert werden.

Eine Parallelisierung der Prüfvorschriften für den Eisenbahn- und Reisebusbereich ist sinnvoll, da sehr viele Komponenten wie beispielsweise Sitze, Verkleidungen und Bodenbeläge in beiden Transportmitteln zum Einsatz kommen. So können die Herstellungskosten, insbesondere im „auf-lagenschwächeren“ Reisebussektor reduziert werden. Diese Argumentation darf aber nicht zu einer unzureichenden Kompromisslösung führen. Nach Lösungen wurde im Expertengespräch [107] gesucht.

## 8 Brandschutz

Zur Erstellung eines effektiven Maßnahmenkatalogs für den Brandschutz in Reisebussen ist es erforderlich, die möglichen Ansätze des Brandschutzes zu kennen und zu verstehen. Die Ziele sind dabei:

- Verhinderung einer Brandentstehung,
- Minimierung der Brand-/Rauchausbreitung,
- Schadensminimierung im Brandfall,
- Ermöglichen effektiver Maßnahmen zur Brandbekämpfung und Personenrettung.

Zum Erreichen dieser Ziele erfolgt eine Aufteilung in drei Kategorien:

- primärer Brandschutz: konstruktiv
- sekundärer Brandschutz: organisatorisch
- tertiärer Brandschutz: abwehrend

### 8.1 Primärer Brandschutz

Bereits in der Planungsphase eines Objektes, unabhängig davon, ob es sich um das Gesamtprodukt wie einen Reisebus oder um eine Komponente wie beispielsweise einen einzelnen Sitz handelt, ist der Brandschutz in den Zielekatalog zu integrieren. Hierbei ist auf die Auswahl der Materialien, deren Verbindung miteinander und die spätere räumliche Lage zu achten. In diese Phase fallen aber auch die Planungen für Flucht- und Rettungswege sowie die Bildung von Brand- und Rauchabschnitten. Raumtrennende Maßnahmen sind an geeigneten Stellen vorzusehen.

### 8.2 Sekundärer Brandschutz

Die Organisation des Brandschutzes ist in erster Linie Aufgabe des Bushalters. Er hat für die regelmäßige Wartung und Instandhaltung des Fahrzeugs und dessen Ausstattung sowie für die umgehende Reparatur kritischer Mängel zu sorgen. Die Funktion der konstruktiv vorgesehenen Brandschutzmaßnahmen ist laufend zu prüfen. Des Weiteren muss er sein Fahr- und Begleitpersonal ausreichend schulen. Dies sollte über die Forderung des Abschnitts 3 des § 35 g der StVZO [20] hinausgehen, in dem lediglich vorgeschrieben wird, dass das Fahrpersonal mit der Handhabung des mitgeführten Feuerlöschers vertraut sein muss. Vielmehr

müssten auch das richtige Verhalten bei einem entstehenden Fahrzeugbrand und Evakuierungsmaßnahmen geschult werden. Die Fahrgastinformation, beispielsweise durch Informationskarten an jedem Sitzplatz, ist ebenfalls Bestandteil des organisatorischen Brandschutzes. Der Umgang mit Feuerlöschern sollte regelmäßig praktisch geübt werden.

### 8.3 Tertiärer Brandschutz

Der abwehrende Brandschutz beinhaltet die Maßnahmen zur Brandbekämpfung. Dabei ist besonders die schnelle Intervention von Bedeutung, um den Entstehungsbrand zu löschen oder zumindest bis zum Eintreffen der Feuerwehr auf den Entstehungsbereich zu begrenzen. So wird die Schadenshöhe minimiert, während zugleich die Zeit zur Evakuierung verlängert wird. Entsprechend § 35 g (1) der StVZO [20] ist für Kraftomnibusse ein 6-kg-Löcher für die Brandklassen A, B und C vorgeschrieben. Hier besteht Bedarf zur Anpassung an die aktuelle Normungssituation. Erläutert wird diese im Kapitel Brandbekämpfung.

### 8.4 Zielekatalog

Ein umfangreicher Zielekatalog wurde 1991 von BUKOWSKI und TANAKA [80] erarbeitet, der in [81] und [82] mit Bezug auf das Eisenbahnwesen und den Schutz der Fahrgäste weiter erläutert wird:

- Verhinderung einer Brandentstehung oder Begrenzung der Brandausbreitung
  - Prüfung der Brandeigenschaften brennbarer Materialien,
  - Bildung geeigneter Brandabschnitte,
  - Mittel zur Brandbekämpfung vorsehen.
- Schutz der Insassen vor dem Brand und den Brandnebenerscheinungen
  - Schnelle Branddetektion,
  - geschützte Flucht- und Rettungswege,
  - wenn erforderlich, Schaffung von Schutzräumen.
- Schadensminimierung im Brandfall
  - räumliche Trennung von Insassen, Aufenthaltsbereichen oder großen Abschnitten,
  - Funktionserhalt der eingesetzten Baugruppen im Brandfall,

- Brandeindämmung auf den Ausbruchbereich, maximal jedoch einen Wagen.
- Unterstützung der Maßnahmen der Feuerwehr
  - Ermöglichen einer genauen Standortangabe des brennenden Fahrzeugs,
  - Sicherstellung des Kontakts zu den Schutzräumen (bezogen auf Tunnel),
  - Zugang, Kontrolle, Kommunikation und Wasserversorgung für die Feuerwehr sicherstellen.

Für den Reisebussektor ist eine Übernahme der Hauptthemen durchaus sinnvoll, bei den einzelnen Maßnahmen ist aber eine Anpassung erforderlich.

### 8.5 Diskussion des Zielekatalogs

Das Primärziel muss auch im Reisebussektor das Verhindern eines Brandes sein. Ansatzpunkte sind dabei das Ausschließen von Zündquellen und der Ersatz brennbarer durch nicht brennbare Stoffe. Eine konsequente Umsetzung dieser Forderung würde aber zu erheblichen Komforteinbußen und einer Einschränkung der Leistungsfähigkeit des Busses führen. Sind in diesem Bereich alle umsetzbaren Möglichkeiten realisiert, muss daher der Brandausbreitung vorgebeugt werden. Dies erfolgt durch die Kombination zweier Schritte: die Bildung von Brandabschnitten und den Einsatz von auf ihr Brandverhalten geprüften Materialien. Hierbei ist das Erarbeiten eines Vorschriftenkatalogs sinnvoll, der Mindeststandzeiten der Brandabschnitte in Bezug auf Feuer-, Hitze- und Rauchweiterleitung enthält. Für die Prüfverfahren ist die Ausarbeitung von Grenzwerten erforderlich, die eine Einteilung der geprüften Materialien und Komponenten in Klassen ermöglicht. Je nach Einsatzbereich im Bus können dann bestimmte Klassen als Minimalforderung vorgegeben werden.

Hieraus ergibt sich folgender Punkt:

- Verhinderung einer Brandentstehung oder Begrenzung der Brandausbreitung
  - Vermeidung von Zündquellen,
  - Prüfung der Brandeigenschaften brennbarer Materialien und Kombinationen mit anschließender Klassifizierung,
  - Vorgabe von Mindestklassen für die verschiedenen Busbereiche,

- Bildung geeigneter Brandabschnitte,
- Mittel zur Brandbekämpfung vorsehen.

Die Evakuierung beziehungsweise Rettung der Businsassen muss so schnell wie möglich erfolgen, um ausreichend Schutz gegen das Feuer und die Brandnebenerscheinungen zu gewährleisten. Baulich konstruktive Maßnahmen können zwar in vielen Fällen den zur Verfügung stehenden Zeitraum zum Verlassen des Busses verlängern, dem können aber auch Verzögerungen entgegenstehen. So muss in vielen Fällen erst ein sicherer Bereich angefahren werden oder im Bus befinden sich gehbehinderte Insassen. Je früher dabei ein Brand detektiert wird, desto länger hat der Busfahrer Zeit, den Bus zu räumen, und desto effektiver können die eingeleiteten Löschmaßnahmen sein. Die schnelle Brandmeldung ist von daher besonders wichtig. Eine einwandfreie Funktion aller Notausgänge muss auch nach Brandausbruch oder Kollision gewährleistet sein. Es darf hierbei wegen technischer Probleme oder einer zu komplizierten Bedienung nicht zu Verzögerungen kommen (siehe hierzu auch BAST-Forschungsprojekt FE82.188/2000, Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen [19]). Die im Eisenbahnbereich geforderte Schaffung von Schutzräumen betrifft die baulichen Maßnahmen im Bereich des Gleiskörpers, hier besonders in Tunnelanlagen. Im Straßenverkehr sind die Schaffung und Gestaltung derartiger Schutzräume Aufgabe der zuständigen Straßenbaubehörde und nicht die der Busproduzenten oder Bushalter.

Es ergibt sich der zweite Punkt:

- Schutz der Insassen vor dem Brand und den Brandnebenerscheinungen
  - schnelle Branddetektion,
  - problemlose Bedienung der Notausstiege in allen Fahrzeugpositionen,
  - Funktionserhalt der Notausstiege,
  - geschützte Flucht- und Rettungswege.

Dem Schutz der Insassen folgt der Schutz der Sachwerte. Auch hierfür ist die Brandabschnittsbildung und Verwendung geprüfter Materialien von großer Bedeutung. Im Fahrgastraum ist diese räumliche Trennung im Normalfall nicht praktikabel. Hier kann lediglich der Toilettenbereich abgetrennt werden. Besonders wichtig ist dagegen die ausreichende Trennung der drei Bereiche Insassenraum, Motorraum und Gepäckraum. Der Funktionserhalt aller fahr- und sicherheitstechnischen Anlagen

muss zumindest bis zum Abschluss der Evakuierung gewährleistet sein. Die Eindämmung des Brandes und nach Möglichkeit auch der Rauchausbreitung auf den Entstehungsbereich sollte bis zum Eintreffen der Feuerwehr funktionieren. Dabei sollte ein Richtwert von 15 Minuten angesetzt werden, der den Hilfeleistungsfristen aus den meisten Feuerwehrgesetzen der Länder entspricht. Die Brandeindämmung auf maximal einen Wagen macht im Eisenbahnbereich Sinn, im Busbereich kommt dies dem Totalverlust gleich und ist somit zu verhindern.

Punkt drei lautet damit:

- Schadensminimierung im Brandfall
  - räumliche Trennung im Insassenbereich und großer Abschnitte (z. B. im Gepäckraum),
  - Funktionserhalt der eingesetzten Baugruppen im Brandfall,
  - Brandeindämmung auf den Ausbruchbereich.

Gelingt es nicht den Brand unmittelbar nach Ausbruch zu löschen, so wird ein Feuerwehreinsatz unumgänglich. Wegen der Seltenheit von Busbränden erfolgt nur bei den wenigsten Feuerwehren eine spezielle Ausbildung für dieses Einsatzszenario. So wird die Vorhaltung von Sicherheitshinweisen mit Informationen über die Lage der Batterien, Druckluftleitungen und Möglichkeiten zum Öffnen des Busses, aber auch über die Fahrgastzahl und den Busunternehmer an einer zentralen Stelle im Bus erforderlich. Um der Feuerwehr einen schnellen Zugriff zu ermöglichen, ist eine schnelle Alarmierung mit genauer Ortsangabe erforderlich. Durch den immer weiter verbreiteten Einsatz von GPS-gestützten Navigationssystemen und Mobilfunkgeräten im Bus ist eine automatische Standortübermittlung nach Auslösen des Notrufs durchaus denkbar. Dabei kann auf bestehende Systeme wie TELEAID zurückgegriffen werden. Die Möglichkeit, auch die Insassenzahl zu übermitteln, ist dabei zu prüfen.

Es ergibt sich die Forderung:

- Unterstützung der Maßnahmen der Feuerwehr und Rettungsdienste
  - Ermöglichen einer genauen Ortsangabe der Einsatzstelle,
  - Bereitstellung relevanter Daten an der Einsatzstelle.

## 8.6 Insassenraum

Zum optimalen Schutz der Reisebusinsassen vor Brandgefahren müssen Maßnahmen gegen eine Brandentstehung im Innenraum sowie gegen einen Brandeintrag von außen auf den Innenraum getroffen werden. Des Weiteren dürfen die Fahreigenschaften des Fahrzeugs sowie die einwandfreie Funktion der Notausstiege durch Brandeinwirkung in der Entstehungsphase nicht beeinträchtigt werden. Löschgerät ist in ausreichender Menge vorzuhalten, eine automatische Branddetektions- und -meldeanlage ist an exponierten Stellen durchaus sinnvoll.

## 8.7 Motorraum

Der Motorraum ist der primäre Brandausbruchsbereich. Den ausgewerteten DEKRA-Gutachten ist zu entnehmen, dass die betroffenen Busfahrer oftmals durch andere Verkehrsteilnehmer auf den Brand aufmerksam gemacht werden bzw. dass der Brand erst in einem fortgeschrittenen Stadium bemerkt wird. Eine automatische Branddetektion und -meldung sind von daher in diesem Bereich besonders wichtig. Auch automatische Löschanlagen können hier sehr wirkungsvoll sein, die Entscheidung für ein solches System sollte aber den verantwortungsbewussten Reisebusbetreibern überlassen werden. Zum Schutz der Laienhelfer bei Löscharbeiten sind von außen erreichbare Öffnungen zum Löschmitteleintrag vorzusehen. Diese sind entsprechend zu kennzeichnen. Der Motorraum muss einen eigenständigen Brandabschnitt darstellen, dem Brandübergriff auf andere Bereiche, insbesondere den Innenraum, muss durch konstruktive Maßnahmen entgegengewirkt werden. Durch einen Entstehungsbrand darf es zu keinen kritischen Beeinflussungen des Fahrverhaltens und der Steuerbarkeit kommen.

## 8.8 Gepäckraum

Eine Brandentstehung im Gepäckraum kommt sehr selten vor. Ist er mit Gepäckstücken gefüllt, kann die Rauchausbreitung nicht vorhergesagt werden, wodurch sich die Positionierung von Rauchmeldern sehr schwierig gestaltet. Es sollte daher den Busbetreibern überlassen werden, ob sie eine Überwachungsanlage im Gepäckraum installieren. Da es hier keine exponierten Bereiche

der Brandentstehung gibt, machen spezielle Öffnungen für den geschützten Löschmitteleintrag wenig Sinn. Zur effektiven Brandbekämpfung ist ohnehin ein komplettes Ausräumen des Gepäcks mit Ablöschen außerhalb des Busses erforderlich, eine stationäre Löschanlage ist im Gepäckraum nicht sehr effektiv. Über die aus bestehenden Reglementierungen wie GGVSE [83] und ähnlichen Werken hinausgehenden Vorschriften, welche Stoffe nicht im Gepäckraum transportiert werden dürfen, scheitern an der Umsetzbarkeit. Kontrollen des Gepäcks der Fahrgäste durch den Fahrer sind in diskutabel.

## 9 Branddetektion

Trotz umfangreicher Maßnahmen im konstruktiven und organisatorischen vorbeugenden Brandschutz lässt sich die Entstehung eines Brandes nicht immer verhindern. Auch die Begrenzung der Brandausbreitung und die Minimierung der Ausbreitungsgeschwindigkeit sind nur in einem bestimmten Rahmen durchführbar. Um dennoch die Gefährdung für Reisebusinsassen durch Rauch und Feuer zu beschränken und den Brandschaden am und im Fahrzeug so gering wie möglich zu halten, sind eine frühzeitige Erkennung und Meldung eines Brandes erforderlich. Diesen kann sich dann ein schnelles Eingreifen zur zeitnahen effektiven Brandbekämpfung und gegebenenfalls erforderlichen Evakuierung des Busses anschließen. Bei einer Brandentstehung während der Fahrt wird Zeit gewonnen, in welcher der Bus in einen sicheren Bereich gelenkt werden kann. Schilderungen von Busfahrern und Gutachten ist zu entnehmen, dass der Brand oftmals erst im fortgeschrittenen Stadium bemerkt wird. Häufig wird der Fahrer dabei durch andere Verkehrsteilnehmer auf die Rauchentwicklung aufmerksam gemacht.

Bisher gibt es keine europäischen oder deutschen Vorschriften, die Mittel zur Branddetektion in Reisebussen fordern. Es bietet sich dabei an, den Einsatz von Brandmeldern in Reisebussen in Form einer Wirkvorschrift in der Busrichtlinie [18] zu integrieren. Dabei ist es zweckmäßig, Anforderungen an Melder entsprechend dem Manuskript der DIN 14676 [84], basierend auf prEN ISO 12239 aus dem Jahr 1995 [85], zu stellen. In Bild 9.1 werden unterschiedliche Bauformen von Rauchmeldern vorgestellt.



Bild 9.1: Rauchmelder

## 9.1 Detektionsverfahren

Besonders im Bereich des baulichen Brandschutzes gibt es eine Vielzahl an Geräten zur frühzeitigen Branderkennung und Meldung. Je nach Einsatzzweck und Einsatzort werden hier mehrere Brandmeldertypen angeboten. Die für den Einsatz im Reisebusbereich in Frage kommenden Bauarten werden nachfolgend erklärt, die jeweiligen Vor- und Nachteile werden dargelegt.

### 9.1.1 Flammenmelder

Dieser Meldertyp arbeitet nach dem optischen Erkennungsprinzip. Auslösekriterium ist das Auftreten bestimmter Frequenzbereiche des Lichts im infraroten und ultravioletten Spektrum, die typisch für Flammen sind. Einsetzbar sind sie in Bereichen, in denen betriebsbedingt mit Branderscheinungen ohne nennenswerte Rauchentwicklung zu rechnen ist. Als Nachteil ist anzusehen, dass dieser Meldertyp empfindlich auf Fremdeinstrahlung, z. B. Sonnenlicht, reagiert, was ein redundantes System mit Zweimelderabhängigkeit voraussetzt. Dadurch kommt es, zusätzlich zu den für diesen Meldertyp falschen Brandlasteigenschaften von Reisebusausstattungen zu einem Mehrpreis gegenüber anderen Detektionsverfahren, der im Busbereich wirtschaftlich nicht vertretbar ist.

### 9.1.2 Thermomelder

Auslösekriterium für diesen Meldertyp ist das Erreichen eines Temperaturgrenzwerts. Das Einsatzgebiet deckt sich mit dem der Flammenmelder, ergänzt durch Bereiche, in denen es betriebsbedingt zu Lufttrübungen durch Rauch oder Abgase kommen kann. Detektiert wird hier nicht direkt die Ursache, sondern erst die Wirkung in Form der als Brandfolge auftretenden Wärme. Angeboten werden dabei in erster Linie Thermomaximalmelder, die bei Erreichen der eingestellten Temperatur Alarm geben, und Thermodifferenzialmelder, die den Temperaturanstieg über die Zeit messen. Liegt die Anstiegsgeschwindigkeit über dem eingestellten Grenzwert, ist das Auslösekriterium erfüllt. Diese Meldertypen werden sowohl als Kompakteinheit als auch in Form von Widerstandsdrähten angeboten, die im zu überwachenden Bereich verlegt werden. Der Einsatz von Thermomeldern ist besonders im Motorraum denkbar, da diese, richtige Geräte vorausgesetzt, relativ unempfindlich gegen verkehrsbedingte Verschmutzung, Abgase und Feuchtigkeit sind. Der Wartungsaufwand ist gering.

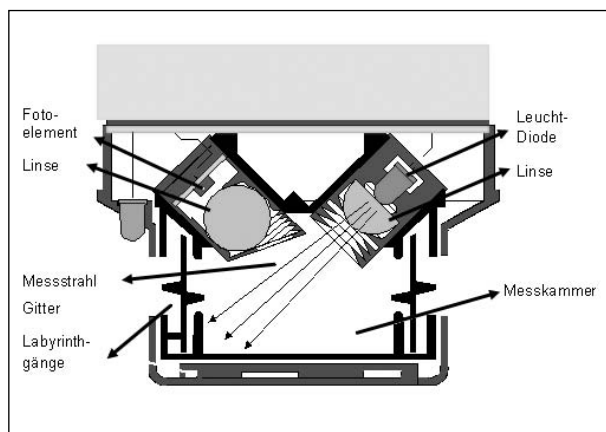
### 9.1.3 Rauchmelder

Auslösekriterium von Rauchmeldern ist das Auftreten von partikelförmigen Luftverunreinigungen. Dabei wird in zwei Melder-Hauptgruppen unterschieden: optische Rauchmelder und Ionisations-Rauchmelder.

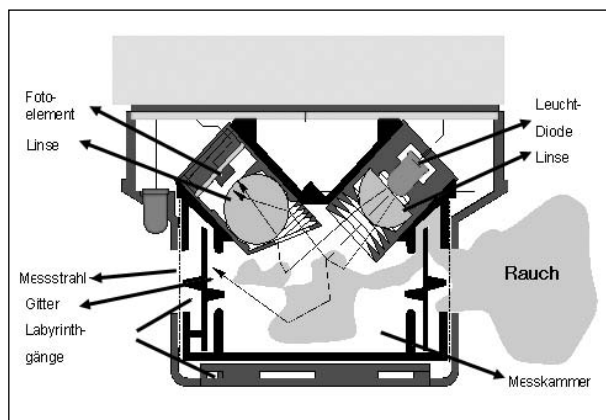
#### 9.1.3.1 Optische Rauchmelder

Optische Rauchmelder dienen der Detektion von sichtbaren Rauchbestandteilen. Hierbei kommen zwei unterschiedliche Verfahren zum Einsatz: das Durchlicht- bzw. Extinktions- sowie das Streulicht-Prinzip. Das Durchlichtprinzip arbeitet vergleichbar dem einer Lichtschranke. Lichtquelle und Fotodetektor sind einander gegenüberliegend angeordnet. Dringen Rauchpartikel in die Messkammer, wird die Lichtintensität im Empfänger geschwächt. Bei ausreichender Extinktionsrate ist das Auslösekriterium erreicht. Besonders geeignet sind diese Melder für Überwachungsbereiche, in denen mit dem Auftreten von vielen dunklen Rußpartikeln zu rechnen ist.

Streulichtmelder sind ebenfalls mit Lichtquelle und Fotodetektor ausgerüstet, im Gegensatz zum Extinktionsmelder sind diese aber nicht in direkter



**Bild 9.2:** Funktionsprinzip eines Streulichtmelders [86]

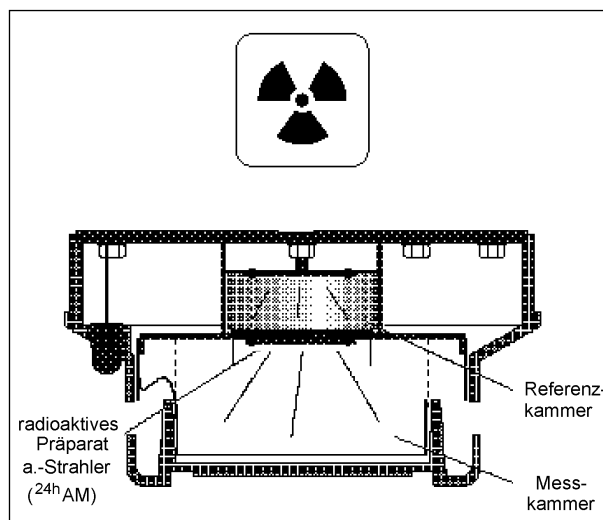


**Bild 9.3:** Streulichtmelder bei Raucheintritt [86]

Linie zueinander angeordnet. Im Nicht-Meldefall fällt kein Licht auf die Fozelle. Bei Eindringen von Rauch in die Messzelle wird der Lichtstrahl an den Partikeln reflektiert und fällt auf den Fotodetektor, was als Auslösekriterium gilt. Zum Einsatz kommt dieser Meldertyp in Bereichen, in denen helle Rauchbestandteile zu erwarten sind, da diese einen geringen Extinktions-, dafür aber einen hohen Reflexionsgrad haben. Streulichtmelder lösen auch bei Eindringen von Wasserdampf in die Messkammer aus. Dies ist bei der Auswahl der Einsatzbereiche zu beachten. Das Funktionsprinzip wird in Bild 9.2 und Bild 9.3 grafisch verdeutlicht.

### 9.1.3.2 Ionisations-Rauchmelder

Ionisations-Rauchmelder, auch Ionisationskammer-Rauchmelder oder kurz I-Melder genannt, sind die Melder mit dem größten Auslösebereich. Sie reagieren auf das gesamte Spektrum des sichtbaren Rauchs, aber auch auf die unsichtbaren Bestandteile der Rauchgase. Die Messkammer ist vom Prinzip her wie ein Kondensator mit zwei parallel zueinander angeordneten, leitfähigen Platten



**Bild 9.4:** Ionisationskammermelder [86]

aufgebaut. Dazwischen befindet sich ein radioaktives Element, in der Regel Amerizium. So wird das eindringende Medium, im Normalfall Luft, ionisiert, wodurch eine „Wanderung“ der Moleküle zu den polarisierten Kondensatorplatten erzeugt wird. Dies induziert eine Spannung, die permanent gemessen wird. Dringen größere Moleküle, wie z. B. Rußpartikel, in die Messkammer ein, so sind eine größere Energie und somit ein größerer Zeitraum zur Polarisation erforderlich. Dadurch kommt es zu einem Spannungsabfall an den Kondensatorplatten. Wird hierbei eine Grenze unterschritten, so ist das Auslösekriterium erreicht. Der größte Nachteil von I-Meldern besteht im Umweltschutzbereich. Die Entsorgung unterliegt den atomrechtlichen Bestimmungen. Des Weiteren dürfen sie nur von speziell im Strahlenschutz unterwiesenen Personen eingesetzt werden. Das Funktionsprinzip wird in Bild 9.4 aufgezeigt.

## 9.2 Einsatzbereiche

Der Einsatz von Brandmeldern empfiehlt sich in Reisebussen in drei Bereichen, dem Motorraum, den Gepäckräumen und dem Fahrgastbereich. Wegen der unterschiedlichen Umgebungsbedingungen müssen hier verschiedene Meldertypen verwendet werden.

### 9.2.1 Motorraum

Im Motorraum treten betriebsbedingt hohe Temperaturen auf. Durch die Zwangsbelüftung gelangen aufgewirbelter Staub, Abgase anderer Fahrzeuge und Feuchtigkeit in den Motorraum. Besonders bei

älteren Motoren ist betriebsbedingt mit dem Auftreten von eigenen Abgasen und der Bildung von Öl-Aerosolen zu rechnen. Beim Starten kommt es zu starken Schwingungen. Die Summe dieser Einflussfaktoren begrenzt die Auswahl an für den Einsatz im Motorraum geeigneten Brandmeldern auf Thermomelder. Der Schwellwert für die Alarmauslösung muss dabei auf die bei Motorbetrieb auftretenden Temperaturen abgestimmt sein. Dabei sind Richtwerte der Hersteller anzusetzen, eine praxisnahe Temperaturklassenbildung wäre anzustreben. Kompakt-Meldeeinheiten sind im oberen Bereich des Motorraums anzubringen, um dem physikalischen Sachverhalt der nach oben steigenden Wärme Rechnung zu tragen. Ausreichender Schutz vor Zugluft ist hier erforderlich. Werden Widerstandsdrähte verwendet, so sind diese in den Bereichen zu verlegen, in denen am ehesten mit einem Brandausbruch zu rechnen ist. Die Meldeeinheit selbst ist dabei in einem geschützten Bereich unterzubringen. Generell ist auf eine ausreichende Schwingungsdämpfung der eingesetzten Geräte zu achten.

### 9.2.2 Gepäckräume

Je nach Busausführung besitzen Reisebusse einen großen oder mehrere kleine Gepäckräume unterhalb des Fahrgastbereichs. Da keine Kontrollmöglichkeit besteht, was die Fahrgäste in ihrem Reisegepäck mitführen, wäre eine Überwachung dieses Bereichs sinnvoll. Durch die teilweise große Lagerungsdichte der Gepäckstücke und die daraus resultierende größere Wahrscheinlichkeit von Schwelbränden mit großer Rauch- und primär geringer Hitzeentwicklung ist hier der Einsatz von Rauchmeldern denkbar. Zur Minimierung von möglichen Fehlalarmen sind in diesem Bereich optische Melder vorzusehen. Diese sind ausreichend gegen mögliche mechanische Beschädigungen beim Be- und Entladevorgang zu schützen. Die Anbringung muss oberhalb des Gepäcks mit ausreichendem Abstand zu den Seitenwänden erfolgen. Bedingt durch die teilweise hohe Lagerungsdichte der Gepäckstücke kommt es aber zu einer großen Verzögerung bei der Rauchausbreitung, die Wirksamkeit einer Brandmeldeanlage ist von daher im Gepäckraum nur bedingt gegeben. Die Entscheidung sollte dem Busbetreiber überlassen werden

### 9.2.3 Fahrgastbereich

Eine Brandentstehung im Fahrgastbereich ist besonders kritisch, da hiervon unmittelbar eine direk-

te Gefährdung der Insassen ausgeht. Sie wird zwar in der Regel schnell durch die Fahrgäste wahrgenommen, der Meldeweg scheidet aber bei Leerfahrten und abgestellten Fahrzeugen aus. Auch bei Nachtfahrten ist hierbei keine ausreichende Zuverlässigkeit gegeben. Eine unabhängige Brandmeldeanlage ist daher auch im Innenraum sehr sinnvoll. Einer gesonderten Betrachtung bedarf es für den Toilettenbereich sowie die Belüftungs- und Klimatisierungseinrichtungen.

#### 9.2.3.1 Insassenraum

Der überwiegende Einsatz schwer entflammbarer Materialien führt dazu, dass in der ersten Phase der Brandentstehung nicht mit einem offenen Flammenbrand zu rechnen ist. Bei abgestellten Reisebussen kann es durch Sonneneinstrahlung zu sehr hohen Innentemperaturen kommen. Eine frühzeitige Detektion ist hier aber besonders wichtig, da Personen direkt betroffen sein können. Einige Busunternehmen erlauben noch das Rauchen in ihren Bussen. Die Wahl geeigneter Brandmelder gestaltet sich daher schwierig. Seitens der Industrie werden aber Rauchmelder angeboten, die unempfindlich gegen Zigarettenrauch sind. Einer dieser Melder sollte im vorderen Busbereich angebracht werden, bei Bordküchen ist diese mit in den Überwachungsbereich aufzunehmen. Ein zweiter Melder ist im Bereich der ersten Sitzreihe hinter der zweiten Betriebstüre zweckmäßig. Bei Doppelstockfahrzeugen sollte ein Rauchmelder im Bereich des Treppenaufgangs angebracht werden, ein weiterer im vorderen Fahrzeugbereich des Oberdecks. Alle Rauchmelder sind an der Decke mit ausreichendem Abstand zu den Seitenwänden zu installieren.

#### 9.2.3.2 Toilettenbereich

Toilettenräume in Reisebussen sind durch eine Türe vom übrigen Fahrgastraum abgetrennt. Eine Beobachtung durch den Fahrer mittels Innenspiegel ist nicht möglich. Neben technischen Störungen und Fahrlässigkeit besteht so mangels Überwachung ein erhöhtes Risiko durch Brandstiftung bzw. Zünden. Eventuelle Rauchentwicklungen werden bei geschlossener Türe erst sehr spät für die Fahrgäste bemerkbar. Aus Brandschutzgründen sollte in Reisebust Toiletten ein generelles Rauchverbot gelten. Papierhandtuchspendern sollte gegenüber elektrischen Händetrocknern der Vorzug gegeben werden, um Brände durch technische Störungen oder Hitzestaus zu verhindern.

Sind diese Bedingungen erfüllt, können Rauchmelder an der Toilettendecke installiert werden. Wegen der umfangreichen Auflagen beim Betrieb von I-Meldern sollte auch hier auf Streulichtmelder zurückgegriffen werden. Auf diese könnte entsprechend dem Vorgehen im Luftfahrtbereich aufmerksam gemacht werden, da so auch eine abschreckende Wirkung gegen Brandstiftung erzielt wird.

### 9.2.3.3 Heizung, Lüftung und Klima

Klimakanäle verlaufen durch den gesamten Reisebus. Sie stellen Verbindungen zwischen Bereichen her, die ansonsten einer räumlich-konstruktiven Trennung unterliegen. Unter ungünstigen Umständen ist es so möglich, dass Rauchgase aus anderen Bereichen in den Innenraum transportiert werden. Die Ausstattung dieser Leitungen mit Brandmeldeeinrichtungen ist wirtschaftlich nicht vertretbar. Der Einbau von Rauchschutzklappen, wie sie im baulichen Brandschutz vorgeschrieben sind, ist im Reisebusbereich nicht sehr Erfolg versprechend. Der Rauch dringt zu schnell über andere Wege in den Innenraum. Effektiv ist dagegen eine Notabschaltung des gesamten Systems bei Auslösen einer Brandmeldeeinheit. So wird eine zusätzliche Förderung der Rauchgase in den Innenraum verhindert.

## 9.3 Meldeverfahren

Nach der Detektion eines Brandes ist die direkte und unmissverständliche Meldung an eine geeignete Stelle erforderlich. Dabei ist die Warnwirkung unerlässlich, gerade im Reisebusbereich darf es aber zu keiner Verunsicherung der Fahrgäste kommen. Die geeignete Stelle ist während der Fahrt der Fahrer. Dieser muss durch optische und akustische Signalisation auf das Auslösen eines Melders aufmerksam gemacht werden. Es muss erkennbar sein, welcher Melder oder zumindest welche Melderguppe (Gepäckraum, Motorraum, Toilette, ...) ausgelöst hat. Eine Rückstellung des Alarms darf während der Fahrt vom Fahrerplatz aus nicht möglich sein. Das Auslösen eines Brandmelders sollte zum sofortigen Abschalten des gesamten Heizungs-, Lüftungs- und Klimabereichs führen. Ein Eingriff in die für ein sicheres Fahren erforderlichen Komponenten darf nicht erfolgen. Ein akustischer Alarm an den Meldern selbst ist nicht sinnvoll, da es hierdurch zur Beunruhigung der Fahrgäste kom-

men kann. Eine optische Auslöseanzeige, z. B. eine blinkende Leuchtdiode, ist hier aber wichtig, damit der Fahrer eine Kontrollmöglichkeit hat. Eine Ausnahme stellt der Melder auf der Toilette dar. Hier kann ein Melder mit integrierter Sireneneinheit nützlich sein.

Reisebusse stellen einen nicht unerheblichen Vermögenswert dar. Die Komponenten der Brandmeldeanlage müssen von daher auch bei abgestellten Fahrzeugen einsatzbereit bleiben. Für diesen Fall ist die Aufschaltung von Brandmelderalarmen auf die Alarmanlage sinnvoll.

## 9.4 Ausblick

Seitens der Industrie wird seit kurzem ein Meldesystem angeboten, das aus einer zentralen Detektionseinheit und einer Ansaugleitung besteht. Mittels eines zentralen Hochleistungslüfters wird über ein im Überwachungsbereich verlegtes Rohrleitungssystem Luft angesaugt, die in der Detektionseinheit auf Rauch untersucht wird. Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, dass eine „unsichtbare“ Montage möglich ist. Das System ist auf einen Einsatz bei kritischen Umgebungsbedingungen, wie sie beispielsweise durch Temperaturschwankungen oder Vibrationen in Verkehrsmitteln auftreten, ausgelegt. Der Einsatz eines solchen Systems wurde im Rahmen des Expertengesprächs diskutiert. Eine Wirkvorschrift ist in diesem Bereich sinnvoll.

Der Nutzen einer Brandmeldeanlage wird oft erst nach einem Schadenereignis erkannt. So rüstet eine süddeutsche Omnibusverkehrsgesellschaft nach einem Brand in einem ihrer Linienbusse sämtliche Fahrzeuge mit Thermomeldern im Motorraum nach. Der brandauslösende Mangel konnte im Rahmen der regelmäßigen Wartungen nicht erkannt werden [87].

## 9.5 Mindestforderung

Eine frühzeitige Branddetektion ist sehr wichtig. Dabei ist der Motorraum als primärer Brandausbruchsbereich mittels einer automatischen Brandmeldeanlage zu überwachen. Das Gleiche gilt für die Bordtoilette, wobei hier ergänzend ein generelles Rauchverbot gelten muss. Bei Doppelstockfahrzeugen ist der obere Bereich des Treppenaufgangs überwachungsbedürftig.



## 10 Brandbekämpfung

Die Brandbekämpfung, auch abwehrender Brandschutz genannt, kommt erst dann zum Tragen, wenn der eigentliche Brandschutz versagt hat und es zu einem Brand gekommen ist. Sie lässt sich in drei Kategorien unterteilen:

- Löschanlagen,
- Brandbekämpfung durch Laien,
- professionelle Brandbekämpfung.

Die jeweils erforderlichen Geräte bzw. Voraussetzungen werden nachfolgend beschrieben.

### 10.1 Löschanlagen

Löschanlagen sind ortsfeste Einrichtungen, die nach automatischer oder manueller Auslösung Löschmittel in den dafür vorgesehenen Bereich eintragen. Die bekanntesten sind dabei die primär im baulichen Brandschutz verwendeten Sprinkleranlagen. Beim Erreichen einer definierten Auslösetemperatur wird das Verschlusselement im Sprinklerkopf zerstört, das vorgehaltene Löschmittel, in der Regel Wasser oder ein Schaummittel-Wassergemisch, tritt aus. In wasserempfindlichen geschlossenen Bereichen, z. B. EDV-Räumen, kommen CO<sub>2</sub>-Löschanlagen zum Einsatz. Diese werden indirekt über Branddetektoren oder manuell ausgelöst, der geschützte Raum wird mit dem Löschgas geflutet.

Im Kraftfahrzeugbereich sind Löschanlagen sehr selten. Grund sind die hohen Kosten, die aufwändige Verlegung der Löschmittelleitungen und das Mehrgewicht des mitgeführten Löschmittels und der Vorratsbehältnisse. Eingesetzt werden die Anlagen teilweise bei Sonderschutzfahrzeugen, Spezialbaumaschinen, Untertagefahrzeugen und Rallyefahrzeugen. Als Löschmittel werden dabei Pulver und Aerosole verwendet [88].

In Europa sind Löschanlagen für keine Fahrzeugklasse vorgeschrieben, die US-amerikanischen Standard Bus Procurement Guidelines enthalten eine entsprechende Empfehlung für Schul- und Transitbusse mit Dieselantrieb [89]. Eine Vorschrift existiert aber auch hier nicht.

Generell ist der Einsatz von Löschanlagen im Reisebusbereich auch bei den Herstellern der Systeme umstritten. Eine Löschanlage für den Innenraum scheidet aus, da wegen ihrer erstickenden

Wirkung weder CO<sub>2</sub> noch Aerosole in begehbaren Bereichen verwendet werden dürfen, und auch Pulver ist für begehbare Innenräume nicht empfehlenswert (siehe hierzu das Unterkapitel Feuerlöscher). So empfiehlt ein Hersteller von Löschanlagen in seinen Verkaufsprospekten eine Aerosollöschanlage für den Motorraum [90], ein Hersteller für Feuerlöschgeräte und -anlagen hat Bedenken gegen derartige Systeme. So ist die Funktion von CO<sub>2</sub>-Löschanlagen lageabhängig, nach einem Umsturz wäre die Funktion nicht mehr gewährleistet. Sowohl CO<sub>2</sub> als auch Aerosole würden sich außerdem zu schnell verflüchtigen. Pulver sei als Alternative denkbar, die Konzeptionierung einer solchen Anlage würde aber eine absolute Sonderentwicklung darstellen, sodass auch diese Variante momentan ausscheidet [91]. Als problematisch ist anzusehen, dass alle Löschmittel mit erstickender Wirkung in die Luftansaugung des Motors gelangen können, was zu einem Absterben desselben führt und so die Weiterfahrt in einen sicheren Bereich verhindern kann. Bild 10.1 zeigt einen Teil einer Löschanlage, die im Motorraum einer Baumaschine installiert ist.

Im Rahmen einer umfangreichen US-amerikanischen Studie wurden umfangreiche Tests zur Wirksamkeit von Löschanlagen bei Unfallfolgebränden von Personenwagen durchgeführt [92]. Es wurden verschiedene Systeme in Bezug auf einen Brand im Motorraum sowie im Unterbodenbereich getestet. Dabei wurde festgestellt, dass bei den simulierten Bränden nur sehr wenige Löschmittel eine befriedigende Wirkung erzielten, wobei der Anbringungsstelle und der Bauform der Löschdüsen eine große Bedeutung zukommt. Neben der direkten Flammenbekämpfung sollte das Löschmittel auch bei Schmorbränden wirkungsvoll sein und heiße Oberflächen abkühlen können. Die besten



**Bild 10.1:** In Großmaschine eingebauter Thermofühler und Löschdüsen [90]

Löschmittel waren für den Motorraum ein aus Festtreibstoff generiertes Löschgas sowie für die Unterbodenbrände ABC- und BC-Löschpulver. Eine ausreichende Wirkung wurde in allen Versuchen nur erzielt, wenn die Ventilation eingeschränkt war, d. h., die Motoraggregate abgestellt waren und Windstille herrschte. Fahrtwind kann bei Unfallfahrzeugen ausgeschlossen werden, bei einer unfallunabhängigen Brandentstehung im Reisebus kann dieser Ausschluss aber nicht gelten.

Prinzipiell kann durch Forschung und Weiterentwicklung von Löschanlagen ein großes Wirkungspotenzial erreicht werden. Auch OHLEMILLER und SHIELDS [93] kommen im Rahmen der Untersuchung des Brandverhaltens der in Minivans eingesetzten Bauteile zum Schluss, dass Brandbekämpfungssysteme im Fahrzeug zukünftig durchaus als Ergänzung ins Gesamtkonzept Fahrzeugbrandschutz aufgenommen werden sollen.

## 10.2 Feuerlöscher

Kommt es trotz aller Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes im Reisebus zu einer Brandentstehung, muss schnell mit effektiven Mitteln reagiert werden, um eine Ausbreitung des Brandes zu verhindern. Die Zeitspanne von Branddetektion über Alarmierung bis zum Eintreffen der Feuerwehr ist unter Zugrundelegen einer Hilfeleistungsfrist von bis zu 15 Minuten groß genug, dass sich der Entstehungsbrand voll entwickelt. Ein vorheriges Eingreifen ist also erforderlich. Hierzu muss bordeigenes Löschgerät zur Verfügung stehen, das allen Businsassen zugänglich ist. In § 35 g (1) der StVZO [20] ist für Kraftomnibusse ein 6-kg-Löschgerät für die Brandklassen A, B und C vorgeschrieben. Dieser Paragraph bedarf nach Einführung der DIN EN 3 „Tragbare Feuerlöscher“ [94] und Fortentwicklungen im Löschmittelbereich einer Überarbeitung.

### 10.2.1 Löschmittel

Als Löschmittel bezeichnet man Stoffe, die geeignet sind, durch bestimmte Löschwirkungen (Löscheffekte) die Verbrennung zu unterbinden [95]. Für Feuerlöscher kommen dabei Wasser, Schaum, Pulver und Kohlendioxid in Frage. Halonlöscher dürfen seit dem Inkrafttreten der Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen (FCKW-Halon-Verbots-Verordnung) vom 6. Mai 1991 [96] auch im Reisebussektor nicht mehr verwendet werden.

#### 10.2.1.1 Wasserlöscher

Die primäre Löschwirkung des Wassers beruht auf der Abkühlung des Brandbereichs. So wird zum einen die chemisch-thermische Reaktion der Verbrennung gestört, zum anderen wird die weitere thermische Aufbereitung der umgebenden brennbaren Stoffe verringert oder ganz unterbunden. Bei der Umsetzung von einem Liter Wasser entstehen unter optimalen Bedingungen 1.700 Liter Wasserdampf. In geschlossenen Räumen kommt es hierdurch begrenzt zu einer Löschwirkung durch Verdrängen des Luftsauerstoffs. Durch Zusatzstoffe können frostsichere Wasserlöscher bis zu Temperaturen von  $-30^{\circ}\text{C}$  eingesetzt werden. Wasserlöscher sind nur für die Brandklasse A geeignet. Das Löschwasser wird in einem dünnen Vollstrahl, vergleichbar dem eines Gartenschlauchs, abgegeben.

#### 10.2.1.2 Schaumlöscher

Bei den Additiven zur Löschschaumerzeugung wurden in den vergangenen Jahren große Fortschritte erzielt, wodurch auch die Effizienz von Schaumlöschern verbessert wurde. Im Schaumlöschern befinden sich Wasser und Schaummittel entweder in vorgemischter Form, oder das Schaummittel wird in einer separaten Kartusche gelagert und erst bei der Betätigung zugemischt. Bei Auslösen des Löschers wird in der speziellen Austrittsdüse Luft zugemischt, was zum Aufschäumen führt. Der Grad der Aufschäumung wird durch die Verschäumungszahl, das Verhältnis von gebildetem Schaumvolumen zu Volumen der ungeschäumten Flüssigkeit, angegeben. Die Verschäumungszahl liegt bei Schaumlöschern unter 20. Verwendet werden primär wasserfilmbildende Schaummittel, so genanntes AFFF-Schaummittel (Aqueous Film Forming Foam). Schaum hat eine erstickende und kühlende Wirkung. Er bildet eine Schicht zwischen dem brennbaren Stoff und dem zur Verbrennung erforderlichen Luftsauerstoff. Des Weiteren bleiben gebildete brennbare Gase unter der Schaumschicht und gelangen nicht in den Verbrennungsbereich. Die Kühlwirkung resultiert aus dem Wassergehalt. Eine positive Eigenschaft des Schaums ist, dass er bei Feststoffbränden nicht so leicht abfließt wie reines Wasser und daher eine längere Löschwirkung aufrechterhalten wird. AFFF-Schaummittel hat des Weiteren die Eigenschaft, einen Wasserfilm zwischen Brandgut und Schaum zu bilden, der auch nach dem Schaumzerfall bestehen bleibt. Durch die geringe Oberflächenspannung verteilt er sich auf der gesamten Oberfläche,

ohne dabei „aufzureißen“. Der Löschschaum wird in einem dünnen Vollstrahl, vergleichbar dem des Wasserlöschers, abgegeben.

### 10.2.1.3 Pulverlöscher

Entgegen der verbreiteten Meinung besteht die Löschwirkung des Pulvers nicht in der erstickenen Wirkung durch Oxidationsmittelverdrängung, sondern in der heterogenen Inhibition. Dabei wird die Bildung von für die Verbrennung erforderlichen Radikalen durch die kühlende Wirkung der sehr großen Pulveroberfläche unterbrochen, bereits gebildete Radikale reagieren zu ihren Ausgangsmolekülen zurück. Die Flammenreaktion wird so gestoppt. Pulver ist daher für die Brandklassen B und C geeignet. Sollen auch Feststoffbrände gelöscht werden, so ist ABC-Pulver erforderlich. Neben der beschriebenen Wirkung der Inhibition schmelzen die im ABC-Pulver enthaltenen Ammoniumverbindungen und bilden auf dem Brandgut eine luftundurchlässige Glasurschicht. Auf die Löschwirkung von Metallbrandpulver für die Brandklasse D wird an dieser Stelle nicht eingegangen, da der Einsatz solcher Löscher im Busbereich nicht sinnvoll ist. Der große Vorteil des ABC-Pulvers liegt in der universellen und damit narrensicheren Anwendbarkeit. Das Löschmittel wird als Pulverwolke ausgestoßen, wodurch ein großer Bereich abgedeckt wird. Hieraus resultiert aber gerade beim Einsatz in geschlossenen begehbaren Räumen der Nachteil, dass die Sicht erheblich beeinträchtigt wird. Des Weiteren setzt sich das extrem feine Pulver überall ab, was erheblichen Reinigungs- und Sanierungsbedarf nach sich zieht. Pulver hat bei längerer Einwirkungszeit eine korrosive Wirkung.

### 10.2.1.4 CO<sub>2</sub>-Löscher

Kohlenstoffdioxid ist für die Brandklassen B und C geeignet. Die Löschwirkung beruht auf dem Prinzip des Erstickens, die Kühlwirkung ist hierbei vernachlässigbar. Der große Vorteil des CO<sub>2</sub> als Löschmittel ist das rückstandslose Verdampfen und die Unbedenklichkeit im Bezug auf den Umweltschutz. Es ist elektrisch nicht leitend. Der Einsatz ist nur in geschlossenen, wenig ventilierten Bereichen möglich, bei Verwendung größerer Mengen besteht Erstickungsgefahr für die Löschkraft. Kleinere Mengen schützen nur unzureichend vor Rückzündungen, da sich das Gas in der Regel recht schnell verflüchtigt. Das CO<sub>2</sub> liegt druckverflüssigt im Löscher vor. Abhängig vom Gerätetyp

tritt das beim Austreten in die Gasphase übergehende CO<sub>2</sub> als CO<sub>2</sub>-Nebel oder CO<sub>2</sub>-Schnee aus. Bei unsachgemäßer Anwendung kann es zu Erfrierungen kommen.

## 10.2.2 DIN EN 3

Die Anforderungen, denen tragbare Feuerlöscher genügen müssen, sind in DIN EN 3 [94] festgelegt. Geregelt werden die Geräteeigenschaften, Leistungsanforderungen und Prüfverfahren. An dieser Stelle wird lediglich auf die Leistungsanforderungen eingegangen, da diese für die Auswahl geeigneter Feuerlöscher für Reisebusse relevant sind. Generell dürfen aber nur Löscher zur Auswahl kommen, die entsprechend der DIN EN 3 gebaut sind, oder wenn die entsprechende Sicherheit auf andere Weise gewährleistet ist.

### 10.2.2.1 Funktionsdauer

Die Funktionsdauer gibt die Zeit an, in der das Löschmittel kontinuierlich bei vollständig geöffneter Unterbrechungseinrichtung ohne Berücksichtigung des restlichen Treibgases austritt [94]. Die Mindestfunktionsdauer ist von der jeweiligen Löschmittel-Füllmenge abhängig. Die Zeiten sind in Tabelle 10.1 dargestellt. Im Regelfall werden diese aber um mehr als 50 % übertroffen.

### 10.2.2.2 Prüfverfahren

Die Prüfung des Löschvermögens eines Feuerlöschers erfolgt durch das Löschen bestimmter Prüfobjekte. Für die Brandklasse A sind dies rechteckige Holzstapel aus 14 übereinander gelegten Kiefernholzstäben. Die Breite der Anordnung beträgt 500 mm, die unterschiedlichen Längen dienen der Klassifikation (Bild 10.2). Für die Brandklasse B werden Heptanbrände in unterschiedlich großen Behältern verwendet.

Die einzelnen Prüfaufbauten werden durch Kurzzeichen gekennzeichnet, die auch auf dem Feuerlöscher abgedruckt sein müssen. In den Tabellen 10.2 und 10.3 sind diese abgebildet.

## 10.3 Professionelle Brandbekämpfung

Bei einer Brandentstehung im Innenraum ist bei aktuellen Busmodellen von einer schnellen Brandausbreitung auf den gesamten Bus auszugehen. So ist nach etwa 4 Minuten mit einer kompletten Verrauchung zu rechnen. Bereits nach 7 Minuten

Löschmittel-Füllmenge (X) kg oder l	Mindest-Funktionsdauer s
$X \leq 3$	6
$3 < X \leq 6$	9
$6 < X \leq 10$	12
$10 < X$	15

Tab. 10.1: Mindestfunktionsdauer von Feuerlöschern [94]

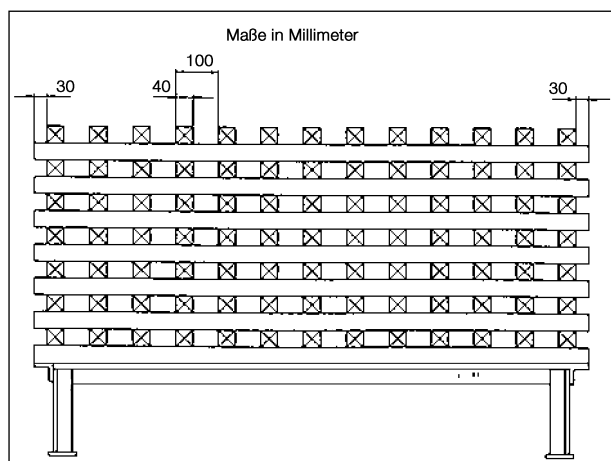


Bild 10.2: Seitenansicht des Prüfobjekts für Brandklasse A [94]

Kurzzeichen des Prüfobjekts	Anzahl der Holzstäbe von 500 mm Länge für jede geradzahlige m Schicht	Länge des Prüfobjekts
5 A	5	0,5
8 A	8	0,8
13 A	13	1,3
21 A	21	2,1
27 A	27	2,7
34 A	34	3,4
43 A	43	4,3
55 A	55	5,5

Anmerkung: Jedes Prüfobjekt ist durch eine Zahl in einer Serie gekennzeichnet, die sich aus der Summe der beiden vorausgehenden ergibt, d. h., diese Serie von Prüfobjekten stellt eine geometrische Reihe mit dem gerundeten Faktor 1,62 dar. Die zusätzlichen Prüfobjekte 27 A und 43 A ergeben sich durch Multiplikation der vorangehenden Größen mit dem Faktor Wurzel (1,62)

Tab. 10.2: Kurzzeichen der Brandklasse A [94]

kann die gesamte Inneneinrichtung im Vollbrand stehen, wie eigene Brandversuche und Erkenntnisse aus [12] und [97] gezeigt haben. Auch der Brandübergriff vom Motorraum auf den Innenraum erfolgt in einer recht kurzen Zeitspanne. Führt der Einsatz von Feuerlöschern nicht zum kompletten Erlöschen des Brandes, ist der Einsatz der Feuerwehr unumgänglich. Die Alarm- und Ausrückeordnungen der Feuerwehren müssen beim Einsatzstichwort „brennt Bus“ eine ausreichende Alarmierung von

Kurzzeichen des Prüfobjekts	Stoffmenge 1/3 Wasser 2/3 Brennstoff	Oberfläche angenähert m <sup>2</sup>
21 B	21	0,66
34 B	34	1,07
55 B	55	1,73
70 B	70	2,20
89 B	89	2,80
113 B	113	3,55
144 B	144	4,52
183 B	183	5,75
233 B	233	7,32

Anmerkung: Jedes Prüfobjekt ist durch eine Zahl in einer Serie gekennzeichnet, die sich aus der Summe der beiden vorangehenden ergibt, d. h., diese Serie von Prüfobjekten stellt eine geometrische Reihe mit dem gerundeten Faktor 1,62 dar. Die zusätzlichen Prüfobjekte 70 B, 113 B und 183 B ergeben sich durch Multiplikation der vorangehenden Größe mit dem Faktor Wurzel (1,62)

Tab. 10.3: Kurzzeichen der Brandklasse B [94], gekürzt

Bauart, Kurzzeichnung und Löschmittel	Füllmenge in kg bzw. in Liter	Geeignet für Brandklasse			Mindestfunktionsdauer <sup>a</sup> in Sekunden	Mindest-Löschvermögen <sup>b</sup> (Rating)	
		A feste, glutbildende Stoffe	B flüssige oder flüssig werdende Stoffe	C gasförmige Stoffe			
Pulverlöcher mit A-B-C-Pulver							
PG 1	1	•	•	•	6	—	—
PG 2	2	•	•	•	6	5A	21B
PG 3	3	•	•	•	6	—	—
PG 4	4	•	•	•	9	8A	55B
PG 6	6	•	•	•	9	13A	89B
PG 9	9	•	•	•	12	21A	113B
PG 12	12	•	•	•	15	34A	144B
Pulverlöcher mit B-C-Pulver							
P 2	2	—	•	•	6	—	21B
P 3	3	—	•	•	6	—	34B
P 4	4	—	•	•	9	—	55B
P 6	6	—	•	•	9	—	89B
P 9	9	—	•	•	12	—	113B
P 12	12	—	•	•	15	—	144B
Kohlendioxidlöcher							
K 2	2	—	•	—	9	—	13B
K 5	5	—	•	—	12	—	34B
Wasserlöcher (auch mit Zusätzen)							
W 6	6	•	—	—	9	—	5A
W 9	9	•	—	—	12	—	8A
Schaumlöcher (auch Kartuschenschaumlöcher)							
S 2	2	•	•	—	6	—	—
S 3	3	•	•	—	6	5A	21B
S 6	6	•	•	—	9	5A	21B
S 9	9	•	•	—	12	8A	34B

<sup>a</sup> Die vorgeschriebene Mindestfunktionsdauer wird um mehr als 50 % übertroffen.

<sup>b</sup> Das Mindestlöschvermögen wird, von Firma zu Firma verschieden, generell aber wesentlich übertroffen.

Tab. 10.4: Leistungsmerkmale tragbarer Feuerlöcher nach DIN EN 3 [94], ohne Metallbrandlöcher

Einsatzkräften und -mitteln vorsehen. Neben größeren Wassermengen ist auch Gerät zur technischen Hilfeleistung mitzuführen. Die eingesetzten Kräfte müssen wegen der zu erwartenden starken Rauchentwicklung mit umluftunabhängigem Atemschutz eingesetzt werden. Wegen der Seltenheit von Busunglücken sind die busspezifischen Besonderheiten den meisten Feuerwehrkräften nicht bekannt. So müssen beispielsweise die Lage der Batterie, Bedienelemente für die Notausstiege und Ähnliches erst gesucht werden. Einheitliche Hinweise sind hier sinnvoll.

#### 10.4 Brandbekämpfung durch Laien

Bis zum Eintreffen der Feuerwehr kann eine Brandbekämpfung durch Laienhelfer erfolgen. Hierzu zählen neben dem Busfahrer auch Reisebuspassagiere sowie Personen, die zufällig an die Brandstelle kommen. Neben dem bordeigenen Löschmittel können so im optimalen Fall auch Löschgeräte anderer Verkehrsteilnehmer oder aus umliegenden Gebäuden eingesetzt werden. Erfahrungsgemäß werden diese Löschmittel auch eingesetzt, wobei die Effektivität des Einsatzes stark variiert. Durch unbegründete Ängste vor einer Fahrzeugexplosion, wie sie in vielen Filmen dargestellt wird, oder auch die Konfrontation mit starker Hitze- und Rauchentwicklung wird ein sehr großer Abstand zum Brandobjekt eingehalten, Lösversuche unterbleiben oftmals komplett. Kommt es zu Lösversuchen, bleiben Motorraumabdeckungen und ähnliche Klappen häufig geschlossen, wodurch die Löschwirkung auf nahezu Null minimiert wird. Bei Innenraumbränden findet oftmals ein „Löschen“ des Rauchs statt. Sehr effektiv ist die Brandbekämpfung durch Laien bei kleinen Entstehungsbränden. Durch die noch relativ geringe Rauchbildung und die Sichtbarkeit der Flammen wird an den Brandherd herangegangen und es findet eine direkte Bekämpfung statt. Bei einer fortgeschrittenen Brandentwicklung sind effektive Löscherfolge kaum mehr möglich. Eine verbesserte Schulung der Busfahrer im Umgang mit Feuerlöschern und die Einbeziehung von Reisebegleitern in derartige Schulungsmaßnahmen bergen ein großes Verbesserungspotenzial.

#### 10.5 Erfordernisse im Reisebus

Die bisher bestehende Regelung, dass pro Reisebus, unabhängig von der Größe und Zahl der Decks und Sitzplätze, ein 6-kg-ABC-Pulverlösch

vorgeschrieben wird, ist nicht mehr zeitgemäß. Zum einen ermöglicht die DIN EN 3 eine leistungsbezogene Eingruppierung der Feuerlöcher, zum anderen muss das busspezifische Gefährdungspotenzial besser berücksichtigt werden. Eine Orientierung kann dabei an der Berufsgenossenschaftlichen Regel 133 (BGR 133, bislang ZH 1/201) [99] erfolgen, auch wenn diese nicht für Straßenfahrzeuge gilt. Hierin wird die Ausstattung von Arbeitsstätten mit Feuerlöschern durch die Berufsgenossenschaft geregelt. Auch die Arbeitsstättenverordnung [100] enthält in § 13 Forderungen zum Schutz gegen Entstehungsbrände, die in der Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 13/1,2 [101] mit Bezug auf Feuerlöschgeräte näher erläutert werden. BGR 133 und ASR 13/1,2 sind dabei sehr ähnlich. Da eine simple Addition der in DIN EN 3 genannten Lösleistungen nicht möglich ist, werden diese als Grundlage zur Bildung von Löschmitteleinheiten herangezogen, Tabelle 10.5. Die Zuordnung alter, nach DIN 14406 [102] gebauter Feuerlöcher wird an dieser Stelle nicht mehr wiedergegeben, da diese in neuen Bussen so gut wie nicht mehr eingesetzt werden.

Werden Feuerlöcher für die Brandklassen A und B eingesetzt und haben sie für die Brandklassen unterschiedliche Löschmitteleinheiten LE, ist der niedrigere Wert anzusetzen.

Die in Arbeitsstätten erforderliche Zahl an Löschmitteleinheiten errechnet sich aus den Komponenten Brandgefährdung und Grundfläche. Eine direkte Zuteilung von Reisebussen zu einer Brandgefährdungsklasse ist mit den bestehenden Definitionen nicht möglich. In Anbetracht der großen Zahl an Passagieren auf engem Raum, des damit verbundenen unkontrollierten Eintrags von Brandlas-

LE	Feuerlöcher nach DIN EN 3	
	A	B
1	5 A	21 B
2	8 A	34 B
3		55 B
4	13 A	70 B
5		89 B
6	21 A	113 B
7	27 A	144 B
8	34 A	
9	43 A	183 B
10	55 A	233 B

Tab. 10.5: Berechnung der Löschmitteleinheiten LE nach BGR 133 [99]

ten in Form von Gepäck- und Kleidungsstücken und der vom Antriebsaggregat ausgehenden Risiken ist eine Orientierung an der mittleren Brandgefährdung sinnvoll. Hieraus resultiert ein Minimum von 12 Löschmitteleinheiten. Aus brandschutztechnischer Sicht empfiehlt sich für Motorbrände der Einsatz von ABC-Pulverlöschern, für Innenraumbrände der von AB-Schaumlöschern. Diese beiden Löschertypen sollten auch mitgeführt werden, wobei für den ABC-Löcher mindestens 6 und für den AB-Löcher mindestens 4 Löschmitteleinheiten vorzusehen sind. Bei doppelstöckigen Fahrzeugen ist auf dem oberen Deck je Ausgang ein weiterer AB-Feuerlöscher mit einer Löschleistung von nicht unter 4 Löschmitteleinheiten erforderlich. Hier ist ein Schaumlöcher empfehlenswert. Hochdecker mit Niederflurcockpit gelten als eindeckige Fahrzeuge. Die Löschmittelmenge muss über 2 kg bzw. 2 l je Löscher liegen. Eine eventuell vorhandene Löschanlage hat keinen Einfluss auf die Zahl der geforderten Feuerlöscher, da diese als ortsfeste Einrichtung keine ausreichende Variabilität aufweist. Für Reisebusse, die entsprechend der Richtlinie 2001/85/EG [18] in die Klasse B fallen (bis zu 22 Fahrgastplätze, keine Stehplätze), reicht alternativ ein Feuerlöscher für die Klassen A, B und C mit mindestens 9 Löschmitteleinheiten. Bei Gelenkbussen ist für jede zusätzliche Türe ein weiterer AB-Löcher mit mindestens 4 Löschmitteleinheiten vorzusehen.

Die Anforderungen an die Anbringung und Prüfung sowie die Handhabung durch das Fahrpersonal können aus dem bestehenden § 35 g der StVZO übernommen werden. Ist der Feuerlöscher nicht im direkten Sichtfeld der Passagiere angebracht, so ist die Position mit Zeichen F04 „Feuerlöschgerät“, gegebenenfalls ergänzt durch eine Richtungsangabe mit Zeichen F01 (Bild 10.3) aus der Unfallverhütungsvorschrift 0.7 [103] zu kennzeichnen.

Die Ausrüstung der Fahrzeuge mit Feuerlöschern sowie die erforderliche Kennzeichnung sollten durch den Hersteller bzw. Inverkehrbringer erfolgen.

Bei Reisebussen ist es erforderlich, dass sämtliche Batterien abgeklemmt werden können, um (Rück-)Zündungen zu verhindern. Dazu ist es erforderlich, dass die Batterien den Rettungskräften zugänglich sind. Die Batteriekästen sind entsprechend von außen sichtbar zu kennzeichnen. Hierzu ist neben einem Batteriepiktogramm aus Gründen des vorbeugenden Brandschutzes ein Verbotssymbol P02 nach UVV 0.7 [103] anzubringen, Bild 10.4. Die

Kennzeichnung muss sich vom Design des Busses abheben, die Größe ist entsprechend UVV 0.7 mindestens für eine Erkennungsweite von 1 m zu wählen. So wird den Designvorstellungen der Busbetreiber Rechnung getragen.

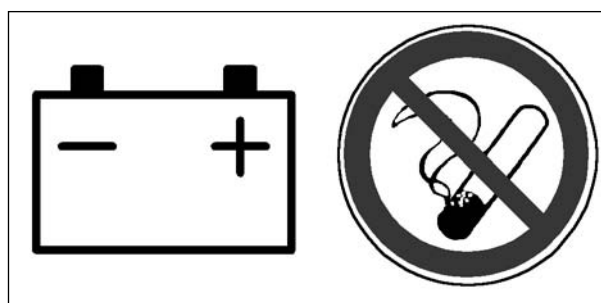
Da eine umfangreiche Ausstattung der Busse große Batteriekapazitäten erfordert, sind oftmals mehrere Batteriekästen vorhanden. Von daher ist in jedem Batteriekasten sowie an einer zentralen Stelle am Fahrerplatz ein Übersichtsplan mit den folgenden Informationen mitzuführen:

- Lage aller Batteriekästen,
- Lage des Motor-Not-Aus-Schalters,
- Lage des Kraftstofftanks,
- Hinweise zur Türöffnung von außen,
- busspezifische Gefahrenhinweise.

Da Reisebusse international eingesetzt werden, sind diese Informationen in Skizzenform darzustellen. Eine Verriegelung der Batteriekästen ist aus Gründen des Schutzes gegen Vandalismus erforderlich, diese muss aber mit einfachen Mitteln der Feuerwehr, z. B. Dreikantschlüsseln (Hydrant/Sperrpfosten), zu öffnen sein [104]. Zur Vereinfachung der Wartung, aber auch zum Ermöglichen eines schnellen Abtrennens der Stromversorgung ist die Batteriemontage auf einem Auszug wie in



**Bild 10.3:** Brandschutzzeichen F04 und F01 (rot/weiß) nach UVV 0.7 [103]



**Bild 10.4:** Beispiel für Batteriekastenkennzeichnung



**Bild 10.5:** Brandgeschädigte Batterien auf einem Auszug

Bild 10.5, hier nach Brand, vorzusehen. Alle Kennzeichnungen und Informationsmaterialien müssen den zu erwartenden Umgebungsbedingungen widerstehen, ohne in ihrer Funktion beeinträchtigt zu werden.

## 11 Modellbildung

Zum besseren Verständnis von Brandverläufen wird häufig auf Modelle zurückgegriffen. In diesen werden relevante Ereignisse wie Brandübergriffe oder Übergänge in andere Brandphasen dargestellt. Auch Temperaturverläufe, die Rauchgasentwicklung sowie Zeitverläufe oder Kombinationen hieraus sind gängig. Aus den gewonnenen Erkenntnissen können dann Prüfverfahren abgeleitet werden.

Modelle werden hierbei für Einzelkomponenten, aber auch Gesamtsysteme erstellt. Basis sind Ergebnisse von Brandprüfungen einzelner Bauteile. Diese werden entweder in Computersimulationen als Eingabeparameter verwendet oder in grafischen Phasenmodellen veranschaulicht. Primär kommen derartige Modelle im baulichen Brandschutz zur Anwendung, um Flucht- und Rettungswege zu konzipieren sowie um Lüftungsmaßnahmen zu gestalten [105].

### 11.1 Rechnergestützte Simulation

Die rechnergestützte Simulation von Fahrzeugbränden gestaltet sich sehr schwierig. Während im baulichen Bereich auf vergleichsweise einfache Raummodelle zurückgegriffen werden kann, muss im Kraftfahrzeugbereich wegen der vergleichsweise geringen Größe mit gleichzeitig hohem Anteil an brandrelevanten Ausstattungselementen eine weit-

aus komplexere Simulation erfolgen. Eine besondere Bedeutung kommt hierbei auch den Ventilationsbedingungen zu. Alleine die Windrichtung spielt bei der Brandausbreitung im und am Fahrzeug eine wichtige Rolle, während diese beim Gebäudebrand durch die Immobilität vergleichsweise leicht zu simulieren ist.

Besonders im Reisebusbereich kommt erschwerend hinzu, dass die Fahrzeuge in Kleinserien gefertigt werden, wobei eine Übertragbarkeit der Simulationsergebnisse von einem Fahrzeug auf das andere nicht gegeben ist. Unterschiedliche Einbauteile verhindern dies. Bei Annahme eines Brandausbruchs im Motorraum müsste der Brandeintritt in den Innenraum simuliert werden. Hierbei kommen die thermische Belastung der Innenraummaterialien, der direkte Bodendurchbrand, ein Brandübergriff über Heckklappe und Heckscheibe sowie ein Brandeintritt durch eine geöffnete Betriebstüre in Frage. Bestehende Programme wie COBRA 3D oder CFAST/FAST können derartige Aufgaben nicht zufrieden stellend lösen.

Betriebsbedingte Einflüsse, wie beispielsweise durch längeren Motorbetrieb vorgeheizte Abschottungen zwischen Motorraum und Innenraum, müssten ebenfalls in aufwändigen Einzelsimulationen nachgerechnet werden.

Betrachtet man den Kosten-Nutzen-Aspekt, so scheidet eine rechnergestützte Simulation eines kompletten Brandszenarios von der Entstehung bis zum Vollbrand zum aktuellen Zeitpunkt aus. Die Entwicklung von Simulationsprogrammen, insbesondere aber die Weiterentwicklung der bestehenden Programme, muss beobachtet werden, da die momentanen Ausschlusskriterien mit zunehmender Rechengeschwindigkeit und Programmqualität in den nächsten Jahren wegfallen dürften [82], [106].

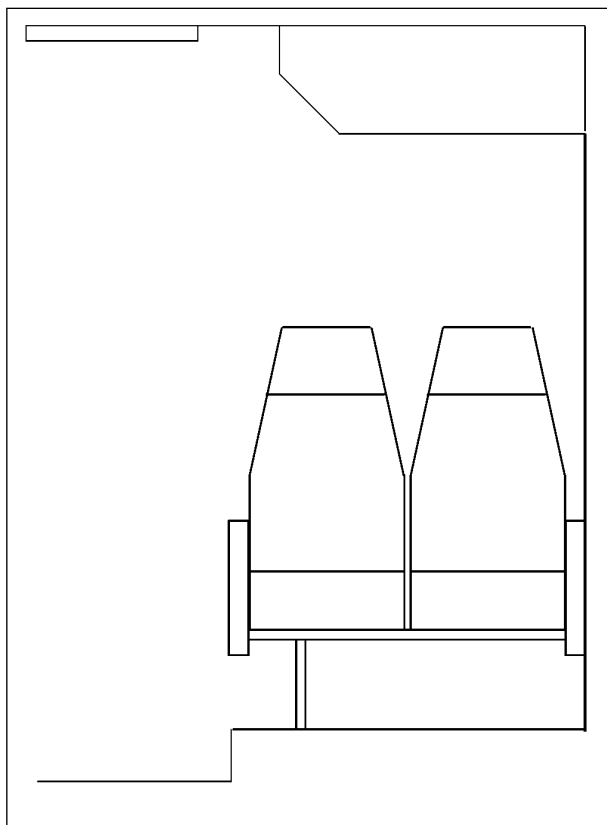
Aber auch die Computer-Simulation von Bränden einzelner Bauteilverbände gestaltet sich äußerst schwierig. So können eventuelles Abtropfverhalten und die bauteilinterne Wärmeleitung nur unzureichend simuliert werden. Auch in diesem Bereich stehen die anfallenden Kosten in keinem realen Verhältnis zur Aussagekraft der Ergebnisse.

### 11.2 Grafische Phasenmodelle

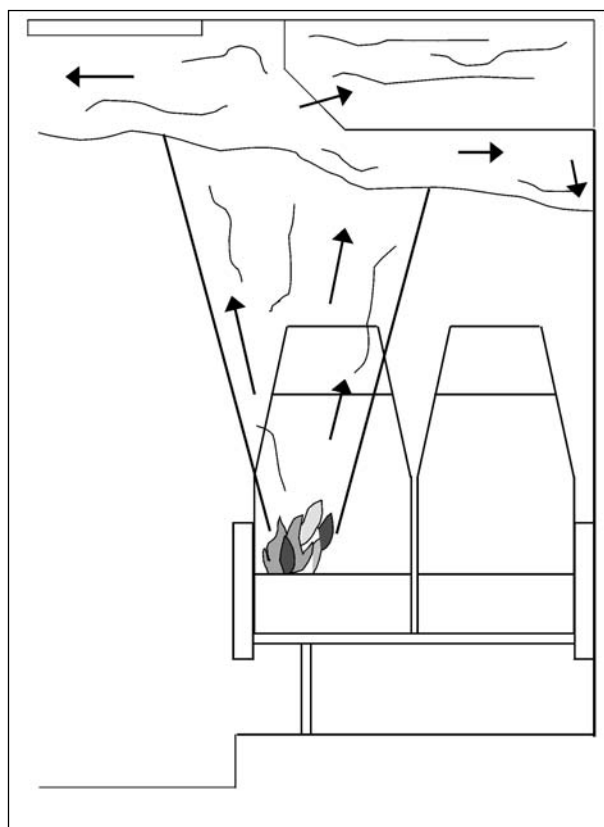
Mittels grafischer Phasenmodelle kann die erwartete Brandausbreitung dargestellt werden, Rauch- und Temperaturbereiche können verdeutlicht wer-

den. Dabei wird jeweils ein Szenario herausgestellt, dessen Mechanismus von Interesse ist. Auch Teilsysteme lassen sich so erklären. Die einzelnen Stufen werden dabei in Zonenmodellen dargestellt. Basis sind reale Brandschäden sowie Brandversuche.

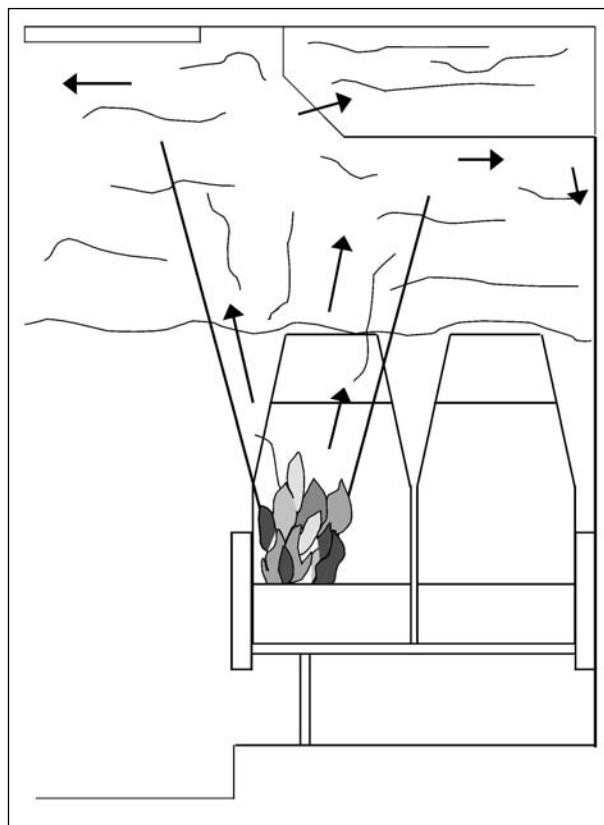
Im ersten Bild wird dabei die Einbaulage des Bauteils dargestellt. Nach erfolgter Zündung wird das Prinzip der Rauch- und Flammenausbreitung ergänzt. Wegen der Komplexität des realen Gesamtsystems inklusive des Betriebszustands der Lüftungsanlage, der auf der Gepäckablage verstaute Brandlast und der Belüftungsbedingungen kann nur die Anfangsphase des Brandes dargestellt werden. Gerade diese Zeit ist aber die interessierende, da hier die Evakuierung der Insassen erfolgen muss. Die Bilder 11.1 bis 11.4 zeigen schematisch ein solches Szenario, wobei zur Verdeutlichung kein realer Sitzbrand dargestellt ist. Im weiteren Verlauf würde der Flammenbrand durch die kontinuierliche Absenkung der Rauchgrenze und dem damit einhergehenden Sauerstoffmangel um dem Brandherd in einen Schmelbrand mit verstärkter Rauchgasbildung übergehen. Durch die weitere Aufheizung und eine ausreichende Sauerstoffversorgung im Bereich der Türen wäre ein Flashover die Folge.



**Bild 11.1:** Grundmodell



**Bild 11.2:** Brandentstehungsphase



**Bild 11.3:** Brandausbreitungsphase



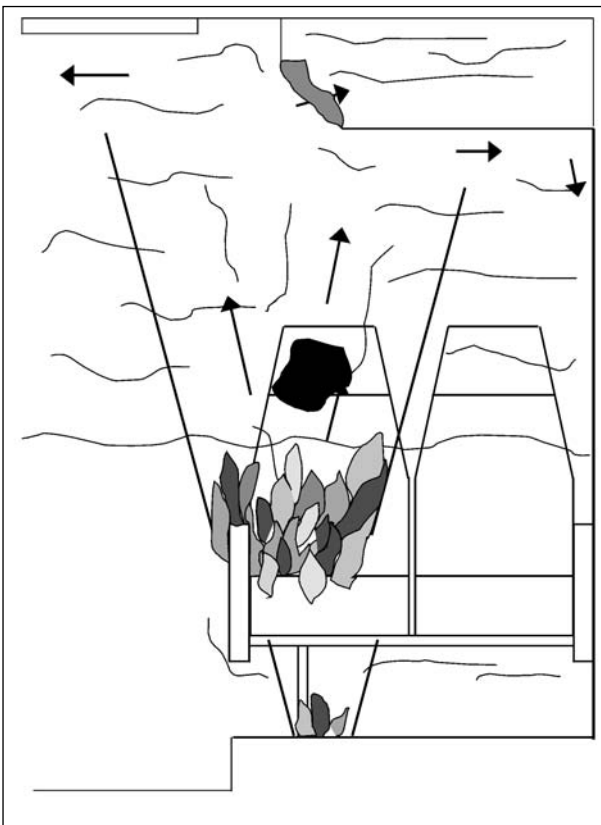


Bild 11.4: Brandübergreif

Deutlich lassen sich die aufsteigenden Rauchgase, die Deckenströmung (Ceiling Jet) sowie die Rauchgrenze darstellen.

## 12 Brandversuche

Zur Prüfung und Validierung der im Rahmen der Projektarbeit gewonnenen Erkenntnisse sowie des Nutzenpotenzials der aufgestellten Forderungen wurden drei Brandversuche durchgeführt. Zur Analyse von zeitlichen Abläufen und raumgeometrischen Rauchgas- und Temperaturverteilungen wurde dabei nicht auf die für zukünftige Prüfungen empfohlene Brandschachtprüfung zurückgegriffen, sondern auf einen Versuchsträger der Fachhochschule Trier. Hierbei handelte es sich um einen Mercedes-Benz-Reisebus der Baureihe O303, der für den Brandversuch mit zwei aktuellen Sitzbänken der Firma Vogel bestuhlt wurde. Der Versuchsbereich wurde weiterhin mit einem Komplettboden sowie einer Seitenverkleidung versehen, die von der Firma Neoplan zur Verfügung gestellt wurde. Die Anordnung kann den Bildern 12.1 bis 12.3 entnommen werden. Die Versuche wurden auf dem Gelände der Wehrtechnischen Dienststelle für Kraftfahrzeuge und Panzer (WTD 41) in Trier durchgeführt.



Bild 12.1: Sitzanordnung im Versuchsträger



Bild 12.2: Versuchsanordnung der Sitze

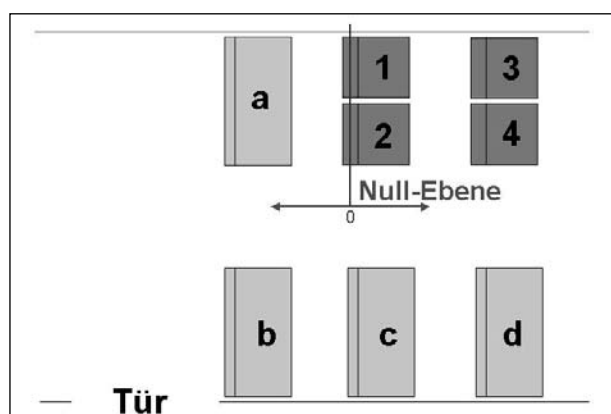


Bild 12.3: Prinzipskizze mit Sitzplatzkennzeichnung, die neu eingebauten Doppelsitze sind mit 1 bis 4 durchnummeriert, die vorhandenen alten Bänke mit a bis d. Die Null-Ebene zur Bemaßung steht auf der Rückenlehne der Sitze 1 und 2.

In den ersten beiden Versuchen wurde das UIC-Papierkissen verwendet [77], [78], wobei dieses entsprechend der Norm auf dem Sitz sowie unter dem

Sitz platziert wurde. Im dritten Versuch sollten Erkenntnisse über die Brand- und Rauchausbreitung bei größeren Innenraumbränden gewonnen werden, wie sie z. B. bei Durchbränden aus dem Motorraum auftreten. Als Startenergie wurde ein halber Liter Ottokraftstoff auf einem der Sitze gezündet.

## 12.1 Einbauanordnung

Die Gesamthöhe des Versuchsträgers betrug über dem neu verlegten Versuchsfußboden 1.900 mm, die Unterkante der Gepäckablage befand sich in einer Höhe von 1.710 mm über dem Versuchsfußboden. Bei den Sitzen handelte es sich um aktuelle Modelle der ECO-Serie von Vogel-Sitze. Die Oberkante der Lehnen war in einer Höhe von 880 mm, der Lehnenabstand zueinander betrug ebenfalls 880 mm. Als Messausgangspunkt in Fahrzeuglängsachse wurde die Ebene durch die Rück Sitzbank der hinteren Versuchssitzreihe gewählt. Entsprechend den Empfehlungen dieser Arbeit waren im Deckenbereich zwei optische Rauchmelder montiert, der erste (RM 1) im Bereich der vorderen Sitzreihe (1.900 mm vor der Null-Ebene), der zweite (RM 2) im Bereich der ersten Sitzreihe hinter der hinteren Türe (2.900 mm hinter der Null-Ebene), Bilder 12.4 und 12.5.

Der Innenraum wurde mit drei Schwarz-weiß-Videokameras bestückt, von außen wurden die Versuche mit drei Farbkameras dokumentiert. Im Versuchsbereich waren sechs von der WTD zur Verfügung gestellte Thermoelemente montiert, mit denen sekundlich die aktuelle Temperatur gemessen wurde, Bild 12.6.

Durch die Berufsfeuerwehr Trier wurden die Konzentrationen von Sauerstoff, Kohlenmonoxid und Blausäure gemessen. Hierzu befanden sich während der Versuche zwei Feuerwehrleute im Fahrzeug.

Zu Versuchsbeginn lagen die Konzentrationen von CO und HCN bei jeweils 0 ppm, die des Sauerstoffs bei 20,9 Vol.-%. Die Zeitangaben beziehen sich auf den Zündzeitpunkt.

## 12.2 Versuch 1

Das entsprechend DIN 54341 [78] hergestellte Papierkissen wurde flach auf Sitz 1 platziert, sodass die ungeklammerte Seite an der Rückenlehne anlag, Bild 12.7. Die Zündung erfolgte normgerecht zeitnah an allen vier Ecken (=  $t_0$ ). Nach 35 Sekun-

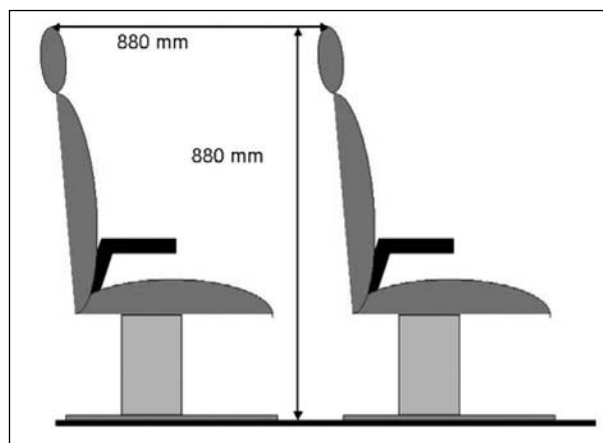


Bild 12.4: Einbauanordnung der Versuchssitze



Bild 12.5: Null-Ebene und Rauchmelderanordnung

Kanal	Lage
1	Fahrzeugdecke über Sitz 2
2	Unterseite Gepäckfach über Zwischenraum Lehne 1 und Lehne 2
3	Unterseite Gepäckfach über Zwischenraum Lehne 3 und Lehne 4
4	Wandverkleidung über Sitzfläche 1, 600 mm über dem Boden
5	Gangseite Lehne c auf Höhe Fensterunterkante, ca. 700 mm über Boden
6	Rückseite Zwischenraum Lehne 3 und Lehne 4 auf Höhe Fensterunterkante

Bild 12.6: Messstellenplan Temperaturfühler

den stand das Kissen komplett in Brand, es kam zu nahezu keiner Rauchemission, Bild 12.8. Im weiteren Brandverlauf war ein rückgängiger Papierbrand zu beobachten. Nach 110 Sekunden setzte eine sichtbare Rauchentwicklung (heller Rauch) ein, es war nur noch eine kleine Flamme im Papierkissen sichtbar. Nach 142 Sekunden löste Rauchmelder 2 Alarm aus, nach 164 Sekunden Rauchmelder 1. Der Brand setzte sich in den Sitz fort, wobei nur



**Bild 12.7:** Positioniertes Papierkissen (DIN 54341), Versuch 1



**Bild 12.8:** Abbrand des Papierkissens ohne nennenswerte Rauchentwicklung

kleine Flammen auftraten. Nach 270 Sekunden kam es zu einem kurzfristigen Selbstverlöschten mit unmittelbar anschließender Rückzündung. Dieser Vorgang wiederholte sich mehrfach bis zur 345. Sekunde. Hier kam es unmittelbar zu einer verstärkten Rauchentwicklung und der Schaffung einer neuen Flammenaustrittsöffnung aus dem Sitzpolster. Nach 415 Sekunden verlöschten die Flammen end-



**Bild 12.9:** Brandgeschädigtes Sitzkissen

gültig, eine verstärkte Rauchentwicklung setzte ein. Nach 520 Sekunden ließ die Rauchentwicklung stark nach, nach 560 Sekunden war das Feuer aus. Zu keiner Zeit fand ein Abtropfen statt.

Während des gesamten Versuchs blieb die Sauerstoffkonzentration konstant bei 20,9 Vol.-%, die CO-Konzentration stieg von der zweiten bis zur fünften Versuchsminute auf 44 ppm und fiel dann bis zum Versuchsende auf 38 ppm ab. Eine gesteigerte HCN-Konzentration wurde erst in der 510. Sekunde gemessen, der Wert lag hier bei 5 ppm. Die gemessene CO-Konzentration blieb damit deutlich unter dem in diesem Bericht als Referenz empfohlenen AEGL-2-Wert mit 420 ppm, die HCN-Konzentration erreichte den ETW von 5 ppm, überstieg diesen aber nicht. Die Messungen erfolgten im Brandbereich, für eventuelle Insassen hätte keine akute Gefahr bestanden. Der Brand war deutlich im gesamten Innenraum des Busses zu riechen.

Es kam zu keiner Zeit zu nennenswerten Sichtbeeinträchtigungen durch Rauch, die höchste Flammenhöhe wurde durch den Abbrand des Papierkissens erreicht, wobei die Flammen nie die Höhe der Lehnenoberkante erreichten. Auch der Temperaturverlauf ist für Insassen als unkritisch einzustufen, Bild 12.10.

Durch die Brandeinwirkung ist der Sitzbezug geschmolzen und im Randbereich ausgehärtet, die Schaumstoffpolsterung des Sitzkissens ist zentral weggebrannt, Bild 12.9.

Der Sitz hätte die Kriterien des Papierkissentests erfüllt (siehe Kapitel 7.4.1.4). Es kam innerhalb der ersten 10 Minuten zu einem Selbstverlöschten des Brandes, es tropften keine Teile ab.

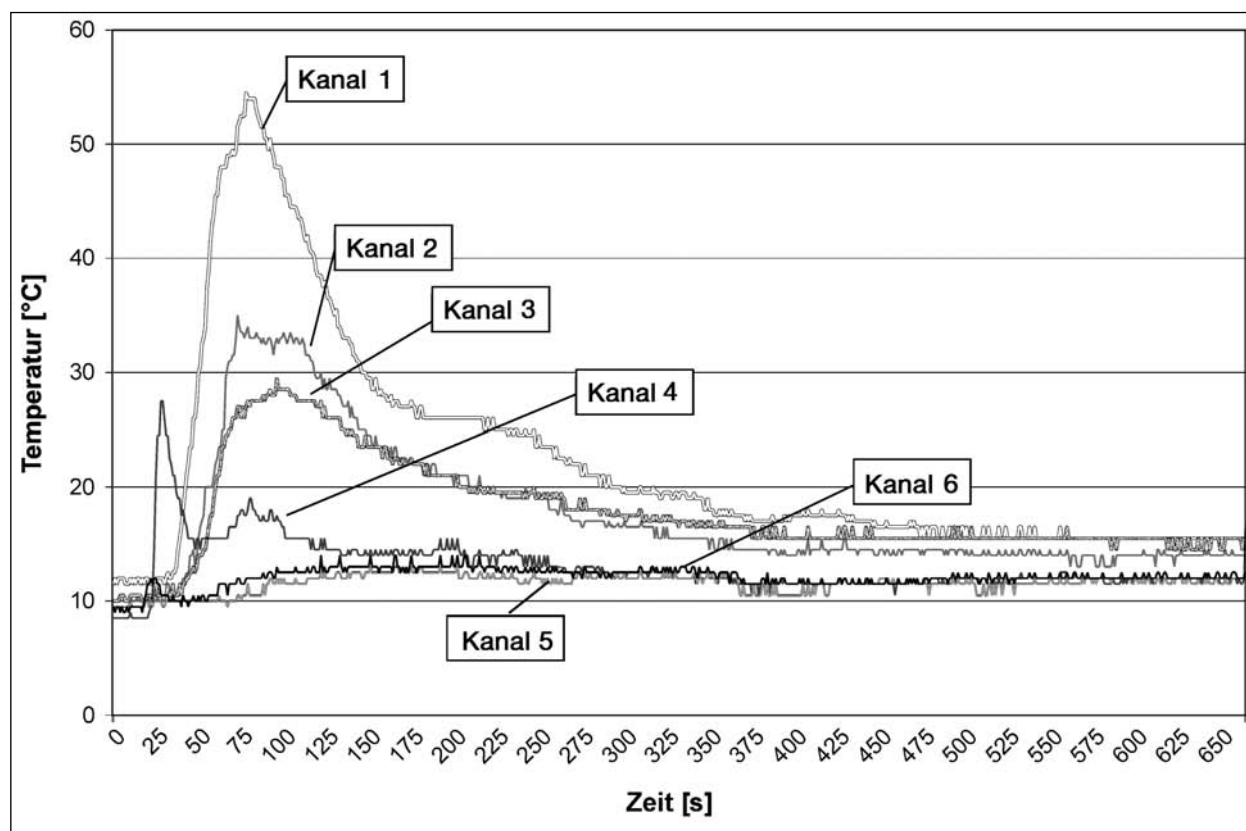


Bild 12.10: Temperaturverlaufskurven Versuch 1,  $t_0$  ist der Zeitpunkt des Entzündens der ersten Papierkissenecke

### 12.3 Versuch 2

Das Papierkissen nach DIN 54341 [78] wurde so unter Sitz 2 platziert, dass die Flammen die vordere Kante der Sitzfläche von unten her beaufschlagten, Bild 12.11. Die Zündung erfolgte normgerecht zeitnah an allen vier Ecken ( $t_0$  = Entzündung erste Ecke). Nach 37 Sekunden stand das Kissen komplett in Brand, es kam zu nahezu keiner Rauchemission, Bild 12.12. Zwischen der 25. und der 80. Sekunde erfolgte eine Beflammung der Sitzvorderkante. Anschließend kam es zu einem deutlichen Rückgang der Flammenerscheinung. Nach 110 Sekunden setzte eine relativ starke Rauchentwicklung, ausgehend vom Fußbodenbelag, ein. Nach 170 Sekunden kam es zu leichten Sichtbehinderungen im Deckenbereich. Bei  $t = 200$  löste Rauchmelder 1 aus, 5 Sekunden später Rauchmelder 2. Nach 270 Sekunden war im gesamten Bus ein leichter Rauchschleier feststellbar, Bild 12.13.

Während des weiteren Versuchsverlaufs war die Rauchbildung Schwankungen unterworfen, wobei es nach 336 Sekunden und nach 450 Sekunden zu verstärkten Emissionen kam. Nach ca. 600 Sekunden kam es zu einem deutlichen Nachlassen der



Bild 12.11: Positioniertes Papierkissen Versuch 2



Bild 12.12: Papierkissen Versuch 2 nach Zündung



**Bild 12.13:** Brand des Fußbodens unter starker Rauchentwicklung

Rauchentwicklung, nach 650 Sekunden war das Feuer selbstständig erloschen.

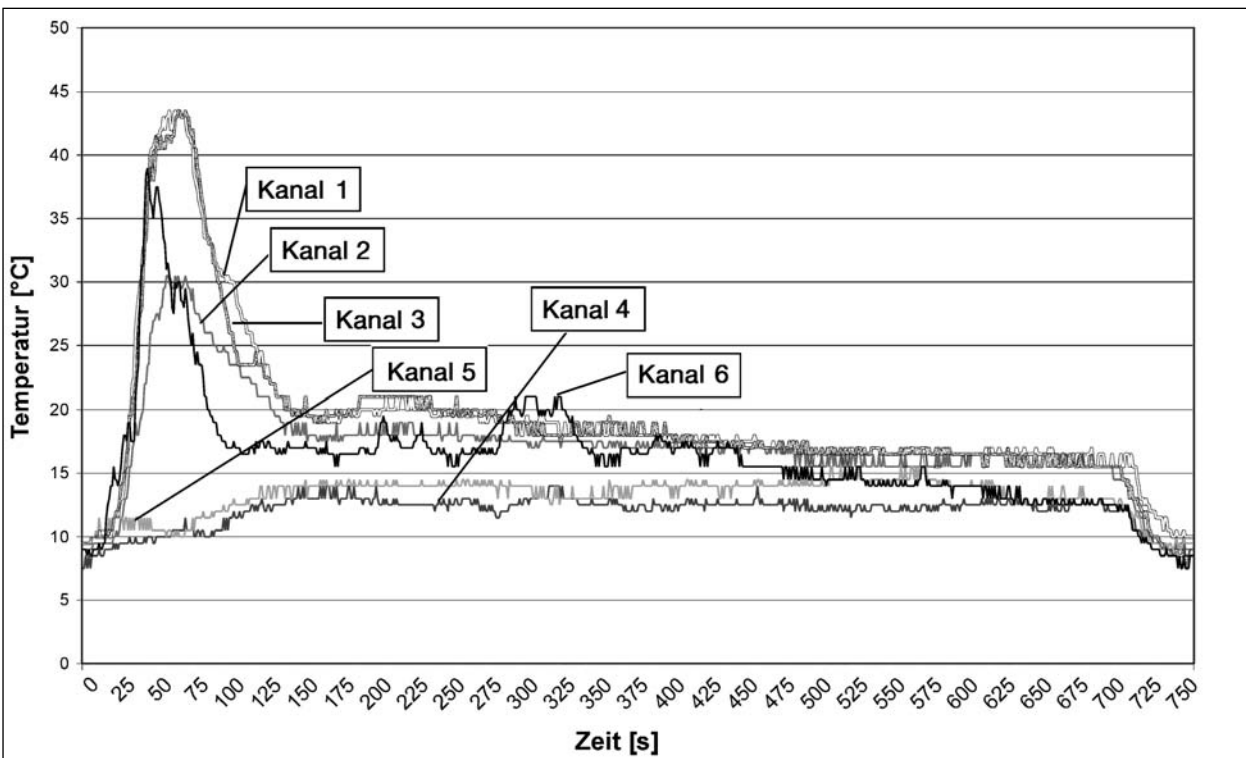
Während des gesamten Versuchs blieb die Sauerstoffkonzentration konstant bei 20,9 Vol.-%, die CO-Konzentration stieg von der 30. bis zur 435. Versuchssekunde auf 84 ppm und fiel dann bis zum Versuchsende auf 56 ppm ab. Eine gesteigerte HCN-Konzentration wurde nicht gemessen. Die Messungen erfolgten im Brandbereich, für eventuelle Insassen hätte keine akute Gefahr bestanden, die starke Rauchentwicklung hätte aber bei mehrminütiger Exposition zu Husten und Reizungen der



**Bild 12.14:** Unterseite des beflamten Sitzes



**Bild 12.15:** Abgebrannter Fußbodenbelag nach Beseitigen der Papierreste



**Bild 12.16:** Temperaturverlaufskurven Versuch 2,  $t_0$  ist der Zeitpunkt des Entzündens der ersten Papierkissenecke

Atemwege geführt. Der Brand war deutlich im gesamten Businnenraum zu riechen. Die auftretenden Sichtbeeinträchtigungen hätten nicht ausgereicht, um eine Evakuierung des Fahrzeugs zu behindern.

Der Sitz wurde durch die Brandeinwirkung nur geringfügig geschädigt. Der Sitzbezug härtete auf der Unterseite aus, ansonsten kam es lediglich zu Rußantragungen, Bild 12.14. Der auf eine Schichtholzplatte geklebte Fußbodenbelag brannte im Bereich des aufgelegten Papierkissens komplett weg, die oberste Holzschicht wurde nur leicht geschwärzt, Bild 12.15. Bei einer großflächigen thermischen Belastung, wie sie z. B. in Folge eines Motorbrandes mit Aufheizen des darüber liegenden Fußbodens auftreten kann, könnte das Rauchbildungsverhalten des Bodenbelags eine Evakuierung ungünstig beeinflussen.

Der Temperaturverlauf ist als unkritisch anzusehen, Bild 12.16.

### 12.4 Versuch 3

Zur Ermittlung des Brandverhaltens der eingebauten Sitzgruppe und Umgebungsbauteile sowie zur Erlangung von Kenntnissen über Temperaturverläufe und Rauchgasausbreitung bei stärkeren Brandentwicklungen wurde ein dritter Versuch durchgeführt, bei dem die Zündung mit Brandbeschleuniger (0,5 Liter Ottokraftstoff) unterstützt wurde. Der Kraftstoff wurde auf die Lehne und das Sitzkissen des Sitzes 2 aufgebracht.

Zur Druckentlastung waren die Bustüren bei der Zündung geöffnet ( $t_0$  = Zündung des Kraftstoffs) und wurden dann geschlossen. Die Flamme reichte dabei bis zur Busdecke und beaufschlagte unmittelbar die Gepäckablage, Bild 12.17, Bild 12.18.



Bild 12.17: Versuchssitz nach Zündung

Die im Deckenbereich angebrachten Kameras wurden bereits nach 22 bzw. 25 Sekunden zerstört. Die Rauchmelder lösten nach 16 Sekunden aus. Es kam zu einem brennenden Abtropfen der Gepäckablage, Bild 12.19. Sehr deutlich war die Schichtbildung des Rauchs im Deckenbereich zu beobachten, Bild 12.20. Die Rauchgrenze senkte sich innerhalb von 44 Sekunden auf das Niveau der



Bild 12.18: Flammenbeaufschlagung der Gepäckablage



Bild 12.19: Brennendes Abtropfen der Gepäckablage



Bild 12.20: Deutliche Rauchschichtenbildung im Bus

Lehnenoberkanten. Durch die abschirmende Wirkung der Lehnen blieb der untere Bereich nahezu rauchfrei, was eine eventuelle Evakuierung unter erschwerten Bedingungen im „Kriechgang“ gewährleistet. Nach 84 Sekunden kam es zu einer vollständigen Verrauchung der vom Brandherd entfernten Bereiche, eine Selbstrettung wäre zu diesem Zeitpunkt nicht mehr möglich gewesen, Bild 12.21. Nach zirka 160 Sekunden war der Bus total verraucht.



**Bild 12.21:** Komplette Verrauchung im Bereich der Fronttüre



**Bild 12.22:** Sitz 1 ohne Brandmerkmale



**Bild 12.23:** Leichter Rauchaustritt nach Öffnen der Türen in der 530. Sekunde

Nach 220 Sekunden wurden die Bustüren kurz geöffnet, die beiden im Bus befindlichen Feuerwehrleute verließen diesen. Nach 240 Sekunden wurden die am Bus befestigten Außenkameras abgebaut. An Türen und Dachfenstern (alle geschlossen) war ein konstanter leichter Rauchaustritt zu beobachten. Dieser Zustand blieb bis zur 530. Sekunde stabil, der Bereich mit offenem Flammenbrand blieb auf den Sitz 2 begrenzt. Der unmittelbar benachbarte Sitz 1 hielt der thermischen Belastung ohne sichtbare Veränderungen stand, Bild 12.22.

In der 530. Sekunde wurden die Bustüren geöffnet. Im Anschluss daran kam es zu einer verstärkten Rauchentwicklung mit schwallweisem Rauchausstoß, siehe Bilder 12.23 und 12.24.

In der 600. Sekunde wurde durch die Feuerwehr mit dem Löschangriff begonnen. Durch den Wassereintrag mittels eines C-Hohlstrahlrohrs kam es zu einer Durchmischung der Rauchgase mit dem im Wasserstrahl mitgeführten Luftsauerstoff, was zu einer unmittelbaren Rauchgasdurchzündung



**Bild 12.24:** Verstärkter Rauchaustritt, konstante Branderscheinung am Sitz



**Bild 12.25:** Erstangriff, aufsteigende Flammenfront



(Flashover) führte, Bild 12.25. Hierbei wurden die beiden Seitenscheiben auf Höhe des Versuchssitzes zerstört, es kam zu einem Flammenaustritt, Bild 12.26 bis 12.28.

Ohne das durch die Versuchsleitung angeordnete Eingreifen der Feuerwehr wäre es erst einige Sekunden später zum Flashover gekommen.

Während der ersten zwei Versuchsminuten blieben die Sauerstoff- und HCN-Konzentrationen konstant. In der dritten Minute begann die Sauerstoffkonzentration zu fallen (19,5 Vol.-%), die HCN-Konzentration stieg auf 10 ppm. Die CO-Konzentration stieg von Beginn an. Bereits nach einer Mi-



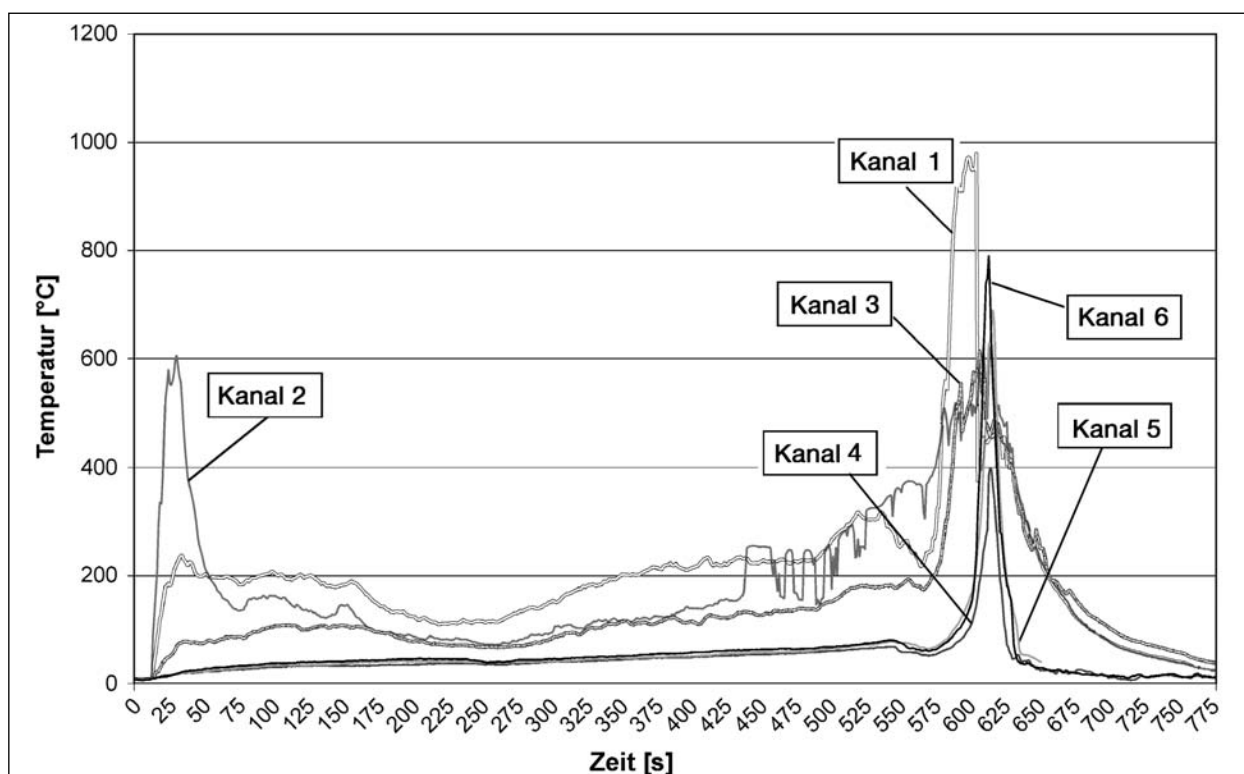
**Bild 12.27:** Flashover, gesehen von der linken Fahrzeugseite



**Bild 12.26:** Flashover mit Zerplatzen der Seitenscheibe



**Bild 12.28:** Durch Flashover zerstörte Seitenscheibe



**Bild 12.29:** Temperaturverlaufskurven Versuch 3,  $t_0$  ist der Zeitpunkt des Entzündens des Kraftstoffs



nute lag der Wert bei 140 ppm, nach zwei Minuten bei 210 ppm und nach drei Minuten bei 354 ppm. Die Messung wurde zu diesem Zeitpunkt abgebrochen, um eine Gefährdung des im Bus befindlichen Messtrupps auszuschließen.

Bei der Temperaturverlaufsmessung wird das Aufsteigen der Wärme sehr deutlich. Direkt über der brennenden Sitzlehne kommt es anfänglich durch den Abbrand des Kraftstoffs zu einem Peak von über 600 °C. Auf dem Höhenniveau der Scheibenunterkante bleiben die Temperaturen bis zur 5. Minute unter 40 °C. Erst nach 8 Minuten wird ein Wert von über 60 °C erreicht. Die eine Evakuierung am stärksten beeinträchtigende Größe ist damit auch bei einem reinen Innenraumbrand der Rauch.

Durch das Öffnen der Türen kam es zu einem kurzfristigen Absinken der Innenraumtemperaturen, mit Einsetzen des Flashovers steigen die Werte an allen Messfühlern rapide an. Der Maximalwert wurde in der 600. Sekunde direkt über der Lehne mit 971 °C gemessen. In dieser Phase ist ein Überleben im Bus ausgeschlossen (siehe Bild 12.29).

## 12.5 Gewonnene Erkenntnisse

In der Versuchsreihe wurde deutlich, dass die aktuell für den Bussektor angebotenen Innenraumkomponenten nur einen geringen Beitrag zum Brandgeschehen leisten. Insbesondere die Sitze schnitten bei allen drei Versuchen sehr gut ab. Bei der Wandverkleidung kam es erst im dritten Versuch im oberen Bereich zu leichten Verschmelzungen. Die Rauchentwicklung des Fußbodens sollte aber noch näher untersucht werden, um hier gegebenenfalls Inhaltsstoffe durch solche mit geringerer Rauchbildung zu ersetzen.

Vor allem im dritten Brandversuch spielten die Belüftungseinflüsse eine erhebliche Rolle. Inwieweit frühzeitiges Öffnen der Türen bzw. Dachluken zu einer Erhöhung oder Senkung der Zeitspanne bis zum Vollbrand führt, konnte in einem Einzelversuch nicht geklärt werden. An dieser Stelle wären, auch in Bezug auf die Rauchfreihaltung der Flucht- und Rettungswege, weitere Versuche sinnvoll. Als Zündungsszenario sollte dann aber eine Brandentstehung im Motorraum angenommen werden.

Die im Versuchsträger erzielten Ergebnisse entsprachen dem Brandverlauf, der aus realen Brandfällen in Fahrzeugen aktueller Bauart bekannt ist.

Als sehr zuverlässig und schnell haben sich die montierten Rauchmelder erwiesen. In den beiden ersten Versuchen lösten die Melder aus, bevor von außen eine Rauchentwicklung im Businnenraum sichtbar war. Sowohl bei abgestellten Fahrzeugen als auch bei Leer- und Nachtfahrten kann so durch frühzeitige Reaktionsmöglichkeit mit einer deutlichen Risikominimierung bezüglich des zu erwartenden Schadens im Brandfall gerechnet werden.

Die Brände in Versuch 1 und 2 hätten problemlos während der gesamten Versuchsdauer auch von Laien mittels eines Schaum- oder Pulverlöschers gelöscht werden können.

## 13 Empfehlungen

Mit der europäischen Richtlinie 95/28/EG [21] gibt es für den Reisebussektor vorgeschriebene Prüfungen für das Brandverhalten von Innenraumkomponenten, wie sie für keine andere Straßenfahrzeugklasse existieren. Hieraus darf aber nicht abgeleitet werden, dass kein weiterer Handlungsbedarf besteht. Auf Basis der in den vorhergehenden Kapiteln gewonnenen Erkenntnisse und der Ergebnisse eines Fachgesprächs sowie der von DEKRA durchgeführten Brandversuche wurde ein Lastenheft mit Alternativvorschlägen erstellt, das nachfolgend vorgestellt und erläutert wird.

### 13.1 Erforderliche Definitionen

Zur Verwendung einer einheitlichen Terminologie und genauen Abgrenzung dessen, an welche Komponenten Anforderungen gestellt werden, sind einige grundlegende Definitionen erforderlich. Hierbei kann nicht immer auf bestehende Definitionen aus Gesetzen, Richtlinien, Regelungen oder Normen zurückgegriffen werden.

#### 13.1.1 Reisebus

Ein Reisebus ist ein für die Personenbeförderung ausgelegtes und gebautes Kraftfahrzeug mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz, das ausschließlich dem Transport sitzender Fahrgäste dient und keine Stehplätze hat.

Unter diese Definition fallen alle Fahrzeuge der Klassen M2 und M3 aus der Richtlinie 70/156/EWG [22], die in der Richtlinie 2001/85/EG [18] der Klasse B beziehungsweise der Klasse III zugeordnet sind.

DIN 70010 [2] definiert in Punkt 1.2.2.1.4 Reisebus als einen Kraftomnibus, der nach Bauart und Einrichtung für Reisen über lange Wegstrecken bestimmt ist. Dieses Fahrzeug ist mit besonderem Komfort für sitzende Fahrgäste ausgestattet; stehende Fahrgäste werden nicht befördert. Die Sitzplatzzahl beträgt nach Punkt 1.2.2.1 inklusive Fahrer mindestens 9. Was unter besonderem Komfort zu verstehen ist, wird nicht weiter erklärt.

### 13.1.2 Innenausstattung von Reisebussen

Die Innenausstattung von Reisebussen umfasst alle zum Fahrzeug gehörenden Teile (Werkstoffe und Bauteile), die abgegrenzt werden durch

- das Dach,
- den Boden,
- die Seitenwände inklusive Außenverglasung und Türen,
- die Rückwand mit Heckscheibe,
- die Windschutzscheibe(n) und das Frontblech.

Bestandteil der Innenausstattung sind auch Wand, Boden- und Deckenverkleidungen, Vorhänge, Dämmstoffe, Kabel, Schächte, Dichtgummis von Fenstern, Türen und Luken, Gummiwülste zur Verbindung von Gelenkbussen sowie Zwischenböden.

Diese Definition lehnt sich an die des Fahrgastraums aus der Richtlinie 95/28/EWG [21] an. Da diese aber den gesamten Bereich des Fahrerarbeitsplatzes ausspart, ist eine direkte Übernahme nicht möglich. Dach und Wände stellen dabei die unverkleidete Rohkarosserie dar, der Boden das Trägermaterial für den Fußbodenbelag. Geschosstrennende Böden sowie geschossverbindende Treppen gehören ebenso zur Innenausstattung eines Reisebusses wie Bar und Küche. Separate, vom Fahrgast- oder Fahrerraum aus zugängliche Räume wie Toilette oder Gepäckstauraum sind ebenfalls inbegriffen.

### 13.1.3 Innenraum

Der Innenraum ist der gesamte Raum, begrenzt durch

- das Dach,
- den Boden,
- die Seitenwände inklusive Außenverglasung und Türen,

- die Rückwand mit Heckscheibe,
- die Windschutzscheibe(n) und das Frontblech.

### 13.1.4 Flashover (Feuerüberschlag)

Ein Flashover ist der Übergang zu einer Brandphase, in der die gesamte Oberfläche der brennbaren Materialien in einem geschlossenen Raum am Brand beteiligt ist [41].

Ob diese Definition den Sachverhalt eines Flashovers ausreichend genau wiedergibt, ist zwischen Fachleuten umstritten. Streitpunkt ist dabei der geschlossene Raum. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Definition aus ISO 13943 als hinreichend genau akzeptiert und verwendet.

### 13.1.5 Übrige Definitionen

Eine Auflistung aller für diese Arbeit relevanten Definitionen würde an dieser Stelle zu weit führen, verwiesen wird auf die einschlägigen Regelwerke. Insbesondere sind dies für den Kraftfahrzeugsektor die Richtlinien 70/156/EWG [22], 2001/85/EG [18] und 95/28/EG [21] sowie für den Bereich Brandschutz DIN EN ISO 13943 [41].

## 13.2 Allgemeine Anforderungen

Neben Vorgaben an die Werkstoff- und Bauteileigenschaften ist es wichtig, den Brandschutz in Reisebussen als Gesamtkomplex anzusehen. Da ein komplettes Ausschließen eines Brandes in Reisebussen nicht möglich ist, müssen auch andere Ansätze zum Erreichen einer größtmöglichen Sicherheit für Reisebusinsassen als die reine Materialprüfung verfolgt werden. Folgende Empfehlungen wurden im Rahmen dieses Projektes ausgearbeitet und im Rahmen eines Expertengesprächs diskutiert. Der Teilnehmerkreis des Expertengesprächs bestand aus Vertretern der Industrie, der Busbetreiber sowie deren Verbände, deutscher Berufsfeuerwehren und DEKRA-Brandschutzexperten. Bei sämtlichen Vorschlägen muss ihre europaweite Umsetzung beachtet werden. Hierzu sind klare Vorgaben inklusive technischer Spezifikationen unter Berücksichtigung bestehender und geplanter europäischer Regelungen erforderlich. Dringlicher als die Ablösung der Richtlinie 95/28/EG [21] und Implementierung neuer Prüfvorschriften ist die Umsetzung der in diesem Kapitel genannten Empfehlungen.

### 13.2.1 Brandmeldeanlage

Wegen der statistischen Häufigkeit eines Brandausbruchs im Motorraum ist eine Überwachung dieses Bereichs mittels Brandmeldesystemen mit thermischem Detektionsverfahren sinnvoll. Hierzu ist eine entsprechende Gesetzesvorgabe erforderlich. Eine Orientierung könnte an bestehenden nationalen Vorschriften erfolgen, wobei die europaweite Umsetzung erforderlich ist. Die Omnibushersteller befürworten eine Ausrüstung der Motorräume mit Meldesystemen [107]. Die als Ergebnis der Studie vorgeschlagene Anbringung von Rauchmeldern im Toilettenraum sowie im Deckenbereich von Treppenaufgängen bei Doppelstockfahrzeugen wurde im Expertengespräch besonders von den Vertretern der Feuerwehr befürwortet. Im realen Brandversuch hat sich die Anbringung jeweils eines optischen Melders im vorderen Busbereich sowie in der ersten Sitzreihe hinter der hinteren Türe bewährt. Es muss allerdings eine große Sicherheit gegen Fehlauflösungen durch Zigarettenqualm gewährleistet sein. Ein Auslösen muss durch optische und akustische Signalisation am Fahrerplatz erfolgen, die Aufschaltung auf die Intrusionsschutzanlage beim abgestellten Fahrzeug ist empfehlenswert. Reisebusse mit bis zu 22 Fahrgastsitzen sollten von einer gesetzlichen Regelung ausgenommen werden, da diese in der Regel auf Kleintransporter-Fahrgestellen mit Frontmotoren aufgebaut sind. Auch die Überwachung des Innenraums durch den Fahrer stellt bei dieser Größe kein Problem dar.

### 13.2.2 Automatische Löschanlagen

Automatische Löschanlagen sind besonders für den Motorraum empfehlenswert, die Notwendigkeit einer gesetzlichen Verpflichtung zum Einbau derartiger Systeme ist aber nicht gegeben. Die Entscheidung soll dem Busbetreiber überlassen werden, wobei seitens der Versicherer über entsprechende Rabatte bei den Prämien nachgedacht werden sollte. Eine gesetzliche Vorgabe ist aus wirtschaftlicher Sicht nicht vertretbar.

### 13.2.3 Feuerlöscher

Die bestehende gesetzliche Regelung aus der StVZO bedarf einer Überarbeitung und Anpassung an die aktuelle Normungssituation. Für das untere Deck ist die Bereithaltung von mindestens 12 Löschmitteleinheiten (siehe hierzu Kapitel 9.4) vorzusehen. Hierzu sind mindestens zwei Feuerlöscher vorzuhalten. Im Bereich des Fahrerplatzes ist

ein Löscher für die Brandklassen A, B und C mit mindestens 6 Löschmitteleinheiten und für den Bereich der hinteren Betriebstüre ein Löscher für die Brandklassen A und B mit mindestens 4 Löschmitteleinheiten erforderlich. Bei doppelstöckigen Fahrzeugen ist im oberen Bereich um jeden Treppenaufgang ein Löscher mit mindestens 4 Löschmitteleinheiten für die Brandklassen A und B vorzusehen. Die Mindestlöschmittelmenge je Gerät muss dabei über 2 kg bzw. 2 Liter betragen. Der Einbau einer Löschanlage hat keinen Einfluss auf die Zahl oder Leistung der geforderten Feuerlöscher. Für Reisebusse, die entsprechend der Richtlinie 2001/85/EG [18] in die Klasse B fallen (bis zu 22 Fahrgastsitze, keine Stehplätze), reicht alternativ ein Feuerlöscher für die Klassen A, B und C mit mindestens 9 Löschmitteleinheiten. Bei Gelenkbussen ist für jede zusätzliche Türe ein weiterer AB-Löscher mit mindestens 4 Löschmitteleinheiten vorzusehen. Alle Feuerlöscheinrichtungen sind eindeutig und für die Fahrgäste gut sichtbar als solche zu kennzeichnen. Einrichtungen zum Schutz gegen Missbrauch sind zulässig, solange der problemlose Zugang in allen Lagen des Busses (auch nach Umsturz) möglich ist. Feuerlöscher und deren Kennzeichnungen dürfen nicht durch sonstige Türen, Klappen oder Ähnliches verdeckt werden. Die Lagerung und Anbringung haben crashtauglich zu erfolgen. Die Geräteprüfung ist spätestens alle 2 Jahre durch einen Fachkundigen durchzuführen und nachzuweisen. Die Kombination von Pulver (Motorraum) und Schaum (Innenraum) wird seitens der Feuerwehr als sinnvoll erachtet. Verwechslungen führen dabei nicht zu Gefährdungen oder großen Nachteilen bei der Löschwirkung.

### 13.2.4 Notausstiege und Fluchtwege

Notausstiege müssen in ausreichender Zahl vorhanden sein. Die Gewährleistung einer einwandfreien Funktionsfähigkeit ist für alle denkbaren Busendlagen erforderlich. Ausgenommen ist ein Daraufliegen des Busses (Bus liegt beispielsweise nach Umsturz auf der rechten Seite und damit auf den Betriebstüren). Die Notausstiege müssen ohne Fremdkraft betätigbar sein. Eine klare Kennzeichnung, gegebenenfalls ergänzt durch bodennahe Fluchtwegsymbole, ist erforderlich. In diesem Zusammenhang wird auf den Abschlussbericht der Fachhochschule Trier zum BAST-Forschungsprojekt FE82.188/2000, Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen [19], verwiesen.

### 13.2.5 Fahrgastinformation

Die Fahrgäste sind vor/bei Reiseantritt über die Sicherheitseinrichtungen des Reisebusses zu informieren. Hierzu kann auf unterschiedliche Medien zurückgegriffen werden. Die Gestaltung von Faltblättern und Informationsvideos kann denen aus der zivilen Luftfahrt nachempfunden werden. Die kombinierte Auslage von Faltblättern und Bordmagazinen [108], wie sie seit kurzem für Reisebusse angeboten werden, ist ein positives Beispiel hierzu. Dabei ist jeder Sitzplatz mit dem entsprechenden Material auszustatten. Die Notfallinformationen müssen auch für fremdsprachige Reisegäste verständlich sein. Hierzu sind Piktogramme zu verwenden. Mindestens beinhalten müssen die Unterlagen die Lage und Funktion der Notausstiege, das richtige Verhalten im Brandfall sowie die Lage der Feuerlöscher und die Lage des Erste-Hilfe-Materials. Faltblätter und/oder Videos werden bereits seit mehreren Jahren von den führenden Reisebusherstellern angeboten [109]. Videos werden auch herstellerunabhängig angeboten [110], wobei hier auf die Kompatibilität zum eingesetzten Bus geachtet werden muss. Die Aufmachung des Films sollte sachlich und klar verständlich gestaltet sein. Schwierigkeiten bei der Umsetzung macht bisher die uneinheitliche Bedienung von Sicherheitseinrichtungen, primär die der Türentriegelungsmechanismen. Hierzu ist eine gesetzliche Vereinheitlichung, aufbauend auf den guten Ansätzen der Busrichtlinie 2001/85/EG [18], schnellstmöglich erforderlich. Die Forderung nach einer besseren Fahrgastinformation wurde von allen am Fachgespräch teilnehmenden Parteien begrüßt.

### 13.2.6 Rauchverbote

Im Bereich der Batteriekästen und der Kraftstoff-einflüllöffnungen muss ein generelles Rauchverbot gelten, in der Bordtoilette ist ein Rauchverbot unbedingt zu empfehlen. Ein generelles Rauchverbot im Bus ist zwar auch aus Brandschutzgründen empfehlenswert, dies obliegt aber der Entscheidung des Busbetreibers.

### 13.2.7 Batteriekästen

Zusätzlich zu den bestehenden Regelungen über die Lage und Eigenschaften von Batteriekästen sollten diese nach Ansicht der Vertreter von Feuerwehr und DEKRA von außen erkennbar mit den Piktogrammen Batterie und Stromunterbrechungsschalter versehen sein. Ein im Fahrerraum gelagerter Übersichtsplan

über busspezifische Gefahrenpunkte sowie die Verlegung von Stromleitungen werden von der Feuerwehr gewünscht. Der Batteriekasten muss derart gestaltet sein, dass es durch Beschädigungen der verwendbaren Batterien zu keinen Einbußen bei der Feuerwiderstandsdauer kommt. Hier können säurebeständige Lacke zum Einsatz kommen.

### 13.2.8 Rauchabzug

Im Industriebau, aber auch immer mehr im Wohnungsbau gehören Rauch- und Wärme-Abzugsanlagen (RWA) zum Standard. Dabei werden die heißen Rauchgase durch permanent offene oder automatisch/manuell öffnende Luken abgeleitet. So werden Fluchtwege rauchfrei gehalten, der Rußschaden wird verringert und das Flashover-Risiko gesenkt [111], [112]. Im Reisebus- und Eisenbahnsektor existieren derartige Systeme bislang nicht. Der Rauchabzug findet durch eventuelle Leckagen und die zur Evakuierung geöffneten Notausstiege statt [113]. Seitens der Fachhochschule Trier wird zur Entrauchung eine automatische Öffnung der Dachöffnungen gefordert [19]. Für diesen Ansatz spricht eine möglichst lange Rauchfreihaltung nicht unmittelbar vom Brandgeschehen betroffener Bereiche mit gleichzeitig verlängerter Zeit zur Evakuierung. Durch einen solchen Rauchabzug kommt es aber auch zur Strömungsbildung, gegebenenfalls sogar einem Kamineffekt von den geöffneten Betriebstüren zur Dachöffnung. Dadurch kann es zu einer Verstärkung von Innenraumbränden kommen. Hierzu besteht weiterer Forschungsbedarf, da einfache Versuchsanordnungen unter Zuhilfenahme von Theaternebel die thermischen Einflüsse nur unzureichend wiedergeben können. Mit dem Motorraum als Bereich mit den meisten Brandausbrüchen ist ein solches System nach dem derzeitigen Kenntnisstand aus dem baulichen Brandschutz durchaus empfehlenswert. Forderungen nach speziellen raumgeometrischen Anordnungen oder Mindestgrößen können aber mit Forderungen zur Struktursteifigkeit und den Lagen für Notausstiegsluken kollidieren. Auch aus wirtschaftlicher Sicht sind Zusatzöffnungen nicht vertretbar. Mit dem derzeitigen Kenntnisstand und den im Fachgespräch gewonnenen Erkenntnissen wird ein gezielter Einbau von Rauchabzugssystemen nicht empfohlen.

### 13.2.9 Automatische Alarmierung

Der wichtigste Faktor bei Unfall- und Brandereignissen ist die zeitnahe Reaktion in Form von Sicherungs-, Rettungs- und Löschmaßnahmen. Je

schneller dabei externe Hilfe angefordert wird und je detaillierter die bei der Anforderung gegebenen Informationen sind, desto besser und zielgerichteter kann von externer Seite reagiert werden. Viel versprechend sind in diesem Zusammenhang automatische Notrufsysteme, wie sie bereits von verschiedenen Fahrzeugherstellern angeboten werden. Die aktuelle Fahrzeugposition wird dabei mittels der Satellitennavigation (momentan GPS, zukünftig auch Galileo) ermittelt. Nach Auslösen eines Crashesensors oder eines Handschalters wird eine vom Netzbetreiber unabhängige Mobilfunkverbindung zu einer ständig besetzten Leitstelle aufgebaut. Übermittelt werden die genauen Standortkoordinaten, die Fahrtrichtung vor Alarmauslösung, der Fahrzeugtyp und gespeicherte personenbezogene Daten. Eine Sprachverbindung wird aufgebaut [114]. Inwieweit eine Übermittlung der Fahrgastzahl möglich ist, bedarf einer Prüfung. Eine Kopplung mit den zukünftig eingesetzten Chipkarten für die EC-Tachographen sollte in die Betrachtung mit einbezogen werden. Da momentan nach Auskunft der Bushersteller nur zirka 30 % der Neufahrzeuge mit Navigationssystemen ausgestattet werden, ist zum aktuellen Zeitpunkt von einer gesetzlichen Regelung abzusehen.

### 13.3 Toxizitätsprüfung

Die Menge und die Art der gebildeten Brandgase und Schwebstoffe hängen neben dem Brennstoff von einer Vielzahl an Einflussfaktoren ab. Zusätzlich zu den herrschenden Temperaturen im Brandraum spielen vor allem die Ventilationsbedingungen und Querverbeeinflussungen von anderen brennenden oder schwelenden Stoffen im gleichen Raum eine Rolle. Mit der Ermittlung von Kenngrößen wie dem Massenverlust, der Wärmefreisetzungsrate oder auch explizit gemessenen Stoffkonzentrationen bei Verbrennung lassen sich zwar vergleichbare Werte schaffen, die aber mit dem realen Brandgeschehen nicht viel zu tun haben müssen. Ein universell einsetzbares Verfahren zur Bestimmung der Rauchgas-toxizität ist nicht realisierbar [115]. Besonders im US-amerikanischen Raum laufen Bestrebungen, die Gefährdung durch Rauch und dessen Bestandteile in Computersimulationen zu integrieren. Primär findet dabei das Programm Hazard I Verwendung [32], [105]. Die Eingabedaten stammen aus Materialprüfungen mit dem Cone-Kalorimeter. Aber auch hier lassen sich Probleme bezüglich Synergismen der Rauchgase von verschiedenen Bauteilen nur unzureichend analysieren und erkennen. Im Cone-Kalori-

meter wird nur ein Brandszenario simuliert, das im Realbrand nicht repräsentativ sein muss [116]. Internationale Studien zeigen, dass besonders Kohlenmonoxid (CO) und Blausäure (HCN) neben Sauerstoffmangel (O<sub>2</sub>) bei Brandleichen zum Tod geführt haben [115]. Diese Erkenntnisse stammen primär aus dem Bereich des baulichen Brandschutzes, können aber auf den Kraftfahrzeugbrandschutz übertragen werden. Der Sauerstoffmangel resultiert in erster Linie aus der Verdrängung durch Rauch und in zweiter Linie durch die direkte Verbrennung. Eine Grenzwertbildung ist hierbei nicht möglich, vielmehr muss die Rauchbildung minimiert werden. Dies ist in den vorgeschlagenen Prüfkriterien enthalten. Die Messung von HCN und CO stellt von den Geräten her kein Problem dar und kann beispielsweise in das SBI-Prüfverfahren nach DIN EN ISO 13823 [40] oder das Gasbrennverfahren nach DIN 54837 [76] integriert werden. Problematisch gestaltet sich die Festlegung von Grenzwerten. Eine Orientierung kann an den AEGL-2-Werten bei 10-minütiger Expositionszeit erfolgen. Diese sind zwar für gesunde erwachsene Menschen ausgelegt, in Anbetracht einer anzustrebenden Evakuierungszeit von deutlich unter 10 Minuten ab Detektion und der nicht schlagartigen Rauchausbreitung können diese wissenschaftlich fundierten Werte verwendet werden. Momentan gibt es nur einen AEGL-2-Wert mit 420 ppm für Kohlenmonoxid, ein Wert für Blausäure ist in der Entwicklungsphase. Referenzwerte für Blausäure sind der deutsche ETW von 5 ppm sowie der amerikanische NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) short-time-exposure-limit-Wert von 4,7 ppm. Vor einer Gesetzesinitiative sollte aber die Veröffentlichung des AEGL-2-Wertes abgewartet werden.

Generell sollten alle Produkte, an die Anforderungen bezüglich der Rauchentwicklung gestellt werden, auf die Toxizität ihrer Brandgase untersucht werden. Als Grenzwert ist der AEGL-2-Wert, 10-Minuten-Limit, gut geeignet. Zur Festlegung des HCN-Grenzwerts sollte die Veröffentlichung des entsprechenden Werts abgewartet werden. Rauchgasproben sind zu jeder vollen Versuchsminute zu entnehmen und zu prüfen. Die Grenzwerte dürfen bei keiner der Proben überschritten werden.

### 13.4 Raumtrennung

Zum Schutz von Reisebusinsassen ist der Innenraum so gut wie möglich gegen einen Brandeintrag aus einem anderen Fahrzeugbereich sowie von

außen zu schützen. Dazu sind baulich konstruktive Maßnahmen erforderlich. Eine besondere Bedeutung kommt dabei neben den Außenwänden den Trennwänden zwischen Insassenraum und Motorraum, Gepäckraum sowie Batteriefach zu. Die Abschottung dieser Räume untereinander muss ebenfalls einen ausreichenden Feuerwiderstand aufweisen. Im Gegenzug dürfen zu strenge Auflagen die technische Weiterentwicklung, insbesondere im Bereich des Einsatzes von Hochleistungsverbundwerkstoffen mit Kunststoffanteil und Leichtmetalllegierungen, nicht zu sehr behindern. Die höchsten Anforderungen müssen dabei für die Abschottung des Motorraums zum Innenraum hin gelten.

### 13.5 Sitze

Sitze stellen in Reisebusinnenräumen eine der Hauptbrandlasten dar. Es bedarf einer Prüfung des Brandverhaltens am Originalbauteil. Einzelprüfungen der verwendeten Materialien, beispielsweise entsprechend DIN EN ISO 3582 [117], spiegeln das reale Brandgeschehen nicht ausreichend wider [118]. Dabei muss der Sitz mit allen Komponenten ausgestattet sein, die auch im Bus zum Einsatz kommen. Dazu gehören unter anderem Armlehnen, Sicherheitsgurte und Kopfkissen. Sitzbänke sind als solche zu prüfen. Geprüft wird mit dem UIC-Papierkissen nach DIN 54341 [78] bzw. UIC 564-2 [77] entsprechend den Vorgaben und Grenzwerten aus DIN 5510 [29]. Ein Schlitz in der Sitzfläche für die Brandprüfung erscheint in Anbetracht des gängigen Einsatzes von Reisebussen als nicht notwendig. Der Fahrersitz muss die gleichen Anforderungen erfüllen. Es ist nicht nachvollziehbar, warum die Rauchentwicklung von Sitzen in Schienenfahrzeugen keiner Anforderung unterliegt. Eine solche Anforderung wird für den Reisebussektor als erforderlich erachtet. Zusätzlich sollte die Prüfung der Rauchentwicklung entsprechend DIN 54837 [76] erfolgen. Dabei ist sowohl eine Probe aus dem Sitzkissen als auch aus der Rückenlehne zu testen, so hier unterschiedliche Werkstoffe zum Einsatz kommen.

### 13.6 Fußbodenbelag

An Fußbodenbeläge werden im Busbereich hohe Anforderungen gestellt. So soll der Boden strapazierfähig sein, ein ansprechendes Aussehen aufweisen und leicht zu reinigen sein. Dabei kommen

primär Kunststoffe zum Einsatz. Bodenbeläge unterliegen durch ihren universellen Einsatz in verschiedenen Bereichen (Bauwesen, Kraftfahrzeug, Seeschifffahrt, ...) unterschiedlichen Prüfanforderungen in Bezug auf das Brandverhalten. Es ist von daher sinnvoll, Standards aus unterschiedlichen Prüfungen alternativ zuzulassen.

### 13.7 Reinigung

Bei Reisebussen muss in zwei Kategorien von Reinigung unterschieden werden. Die eine ist die Grobreinigung durch den Busfahrer, bei der liegen gelassene Zeitungen und Ähnliches entsorgt und die Mülleimer geleert werden. Die andere ist die Grundreinigung inklusive des Bodens und die Sitzpflege. Konstruktiv ist darauf zu achten, dass der Bus leicht zu reinigen ist. Hierbei sollte die Zahl von Zwischen- und Hohlräumen auf das notwendige Minimum reduziert werden. Die Materialien müssen so beschaffen sein, dass ihr Brandverhalten auch nach mehrmaliger Reinigung nicht negativ beeinflusst wird.

### 13.8 Mülleimer und Aschenbecher

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden folgende Forderungen aufgestellt: Mülleimer und Aschenbecher müssen aus nicht brennbaren Materialien bestehen und verschließbar sein. Mülleimer sollten an ihren Standorten arretiert und gegen Umstürzen gesichert sein, sie dürfen im geschlossenen Zustand nicht in die Verkehrswege ragen. Sie müssen mit einem automatischen Verschluss ausgerüstet sein, wenn ein Löschen des Inhalts nicht auf andere Weise sichergestellt wird (selbstlöschender Mülleimer). Bei Mülleimern am Platz mit einem Fassungsvermögen von nicht über 1.500 cm<sup>3</sup> ist die selbstschließende Funktion nicht erforderlich.

Diese Forderungen wurden nach Diskussion im Fachgespräch vollständig fallen gelassen. Die üblicherweise im Reisebusbereich anfallende Art der Abfälle ist mit der aus dem Eisenbahnwesen nicht vergleichbar. Die Aufrechterhaltung der Forderungen ist damit nicht vertretbar.

### 13.9 Elektroinstallation

Durch die europäische Harmonisierung kommt es momentan zu Änderungen bei den für Elektroinstallationen relevanten Normen. Genannt werden in

diesem Kapitel die deutschen Normen und so weit als möglich die neuen europäischen Entwürfe. Bei einer Umsetzung der Vorschläge ist der aktuelle Normenstand zu berücksichtigen. Eine Vereinheitlichung der Vielzahl ähnlicher Prüfverfahren ist anzustreben [119]. Entsprechend Gerätesicherheitsgesetz und Niederspannungsrichtlinie werden erst Geräte ab 50 V geprüft. Das VDE-Zeichen umfasst nur den Schutz gegen eine Brandentstehung, das Brandverhalten wird nicht geprüft. Generell werden auch nur die Teile geprüft, die eine Relevanz in Bezug auf die Spannung haben [120]. Alleine die Produktkennzeichnung mit einem VDE-Zeichen reicht also nicht aus, um ohne weitere Prüfung im Reisebusbereich eingesetzt werden zu können.

Es ist zu fordern, dass im Innenraum nur halogenfreie Kabel verlegt werden dürfen, die bei Brandeinwirkung entsprechend DIN VDE 0482-267 (DIN EN 50267) [121] keine korrosiven Gase bilden. Die Kabel und Leitungen müssen aus schwer entflammbareren Materialien bestehen und selbstverlöschend sein [121]. Leitungen, die den Innenraum mit anderen Bereichen verbinden, müssen entsprechend den Anforderungen E 30 oder I 30 nach DIN 4102 Teil 12 [24] verlegt werden, der Übergang muss rauchdicht sein.

### 13.10 Auswahl der Prüfverfahren

Bei der Auswahl von Prüfverfahren zum Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen muss in besonderem Maße der Realisierbarkeit Rechnung getragen werden. Reisebusse werden in Kleinserien gebaut, wobei kundenspezifische Modifikationen eine große Rolle spielen. Hierbei dürfen der Brandschutz und damit direkt zusammenhängend die Sicherheit der Fahrgäste und die des Begleitpersonals nicht vernachlässigt werden. Die gewählten Prüfungen müssen von daher repräsentativ und aussagekräftig sein, die Durchführung darf dabei aber nicht zu teuer werden. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, möglichst viele Komponenten und Baustoffe mit identischen Prüfverfahren zu untersuchen. Dabei sollte auf bestehende Verfahren zurückgegriffen werden. Auch die Grenzwertfestlegung sollte in Anlehnung an bestehende Kriterien aus anderen Bereichen erfolgen, wobei dies nicht zu einer Senkung des als erforderlich erkannten Sicherheitspotenzials führen darf. Gerade beim Bau von Personenwagen für die Eisenbahn werden viele Materialien und Komponenten eingesetzt, die auch im Busbereich Verwendung finden.

Auch wenn nicht die gleichen Produktserien zum Einsatz kommen, so sind es oftmals die gleichen Hersteller, deren Produkte verwendet werden. Durch die Nutzung von Synergien besteht gegenüber dem aktuellen Verfahren mit unterschiedlichen Prüfscenarien Einsparungspotenzial, das besonders den Buserstellern zugute kommt, da diese die kleineren Serien beziehen. Bei den nachfolgend ausgearbeiteten Vorschlägen erfolgte eine Orientierung primär an der für das Eisenbahnwesen geltenden Norm DIN 5510 [29]. Soweit möglich werden aber auch andere Prüfverfahren alternativ zugelassen. Durch unterschiedliche Einsatzbereiche von Schienenfahrzeugen wird eine große Splittung der zu prüfenden Bauteile erforderlich. Diese wird auf das für den Reisebussektor relevante Maß reduziert und vereinfacht. Durch bestehende Unterschiede beider Fahrzeuggattungen kann aber keine Festlegung auf eine Brandschutzstufe des Eisenbahnwesens erfolgen. Hauptunterschiede sind der beim Reisebus direkt im Fahrzeug befindliche Motor mit zugehöriger Kraftstoffanlage und dem Tank sowie die Einschränkung, dass eine Flucht nur bei stehendem Fahrzeug möglich ist. Das Verlassen des gefährdeten Bereichs in einen anderen Wagen ist nicht möglich. Andererseits gestaltet sich die Evakuierung beim Reisebus einfacher (Unfall ausgenommen). Der normale Ein- und Ausstieg erfolgen vom Straßenniveau aus und nicht wie bei Waggons der Bahn von einem Bahnsteig. Die vorgeschlagenen Prüfanforderungen an die Innenausstattung von Reisebussen hinsichtlich der Feuersicherheit mit Erläuterungen sind in Tabelle 13.1 aufgeführt.

### 13.11 Empfohlene Baustoff- und Bauteilprüfungen

Tabelle 13.1 zeigt die im Rahmen der vorliegenden Studie erarbeiteten Vorschläge für Prüfungen, als Ersatz zu den bestehenden Vorgaben aus der Richtlinie 95/28/EG [21]. Die Spalten enthalten folgende Angaben:

- Nachweispflichtige Bauteile/-stoffe  
Einsatzabhängige Eingruppierung der verwendeten Bauteile und -stoffe.
- Prüfnorm  
Die vorgeschlagenen Prüfungen basieren zur Vereinfachung auf bestehenden Normen. Nicht immer konnte dabei auf europäische Regelungen zurückgegriffen werden. Sind innerhalb einer Bauteil/-stoffspalte zwei durch eine hori-

zontale Linie getrennte Normen angegeben, so stellen diese Alternativen dar, von denen nur eine erfüllt werden muss. So können die Kosten für eine Prüfung bereits aus anderen Bereichen zertifizierter Materialien eingespart werden.

- Anforderungen

Aufgelistet sind die Anforderungen, die im Rahmen der durch die Prüfnorm vorgegebenen Untersuchungen nachgewiesen werden müssen. Diese sind normspezifisch aufgeführt. Werden

Forderungen an die Rauchentwicklungsklasse gestellt, so gelten auch die Kriterien der Toxizitätsprüfung aus Kapitel 13.3.

- Bemerkungen

Ausführungen zur Prüfung mit Sachverhalten, die einer besonderen Beachtung bedürfen.

- Erläuternde Angaben

Begründungen für die Wahl der angegebenen Prüfverfahren.

1	2	3	4			5	6
			Anforderungen				
Lfd. Nr.	Nachweispflichtige Bauteile/-stoffe	Prüfnorm	Brennbarkeitsklasse	Rauchentwicklungsklasse	Tropfbarkeitsklasse	Bemerkungen	Erläuternde Angaben
01	Kastenrohbau, einschließlich Unterboden, Bodenwanne und Kastenbekleidung außen (Dach, Seitenwand, Stirnwand), Außentüren, Schürzen, Anbauteile, Dachaufbau und Dachrandverkleidungsteil	DIN 5510	S3	--	--	Die Beflammung erfolgt von außen. Ist die Innenseite Fahrgästen frei zugänglich, ist diese Seite auch wie die Innenausbauteile zu prüfen.  Kunststoffkomponenten sind im Verbund zu prüfen.	Primär bedarf es bei diesen Bauteilen einer Abschottung des Innenraums gegen Brandereignisse von außen. Von daher werden keine Forderungen an das Rauch- bzw. Tropfverhalten gestellt.
		DIN EN 13501-1	A1	--	--		
			A2 B				
02	Rahmen, Scheibe und Scheibenverbund vom Außenfenster (ohne Dichtungen)	DIN 5510	S3	--	--	Kann die Fensterfläche nicht durch Einschlagen oder einfaches Entnehmen der Scheibe als Notausstieg genutzt werden, darf ein Auftrennen nicht zur Brandgefährdung oder Rauchgasentwicklung führen.	Primär bedarf es bei diesen Bauteilen einer Abschottung des Innenraums gegen Brandereignisse von außen. Von daher werden keine Forderungen an das Rauch- bzw. Tropfverhalten gestellt.
		DIN EN 13501-1	A1	--	--		
			A2 B				
03	Verkleidung für Übergangseinrichtungen	DIN 5510	S3	SR1	ST2		Bei einer Brandentstehung im hinteren Fahrzeugteil von Gelenkfahrzeugen und Unpassierbarkeit der hinteren Betriebstüre ist der Weg in den vorderen Wagenteil erster Fluchtweg, weswegen Anforderungen an das Tropfverhalten gestellt werden.
04	Kanäle/Schläuche zum Heizen, Lüften und Kühlen	DIN 5510	S3	SR2	ST2	Die Prüfung kann zusammen mit den in der Endanwendung verwendeten Dämmstoffen erfolgen. Die Beflammung erfolgt auf den Dämmstoff.	Mit Betätigung des Notschalters bzw. Auslösen eines Brandmelders ist die Ventilation der gesamten Heizungs-/ Lüftungs-/Klimaanlage abzuschalten, sofern dies aus brandschutztechnischer Sicht vertretbar ist.
		DIN EN 13501-1	A1	s2	d1		
			A2 B C				
05	Elektroinstallationskanäle und -rohre	DIN 5510	S3	SR2	ST2	Ausgenommen sind Elektroinstallationskanäle und -rohre in Schaltschränken und -kästen.	Verläuft der Kanal/das Rohr durch eine Trennwand in den Innenraum, ist er/es im Inneren rauchdicht mit einem nicht brennbaren Material (A1 oder A2 nach EN 13501) abzuschotten.
		DIN 4102 - 12	E 30 I 30				
		DIN EN 13501	A1 A2 B C	s2	d1		
06	Rohre und Schläuche für Hydraulik, Pneumatik, Wasser und Entwässerung	DIN 5510	S3	--	--	Die Prüfung kann zusammen mit den in der Endanwendung verwendeten Dämmstoffen erfolgen. Die Beflammung erfolgt auf den Dämmstoff.	Verläuft der Schlauch/das Rohr durch eine Trennwand in den Innenraum, ist der Durchlass mindestens mit der Feuerwiderstandsklasse R 30 nach DIN 4102 - 11 abzuschotten.

Tab. 13.1: Vorgeschlagene Prüfanforderungen für Reisebusinnenausstattungen



1	2	3	4			5	6
			Anforderungen				
Lfd. Nr.	Nachweispflichtige Bauteile/-stoffe	Prüfnorm	Brennbarkeitsklasse	Rauchentwicklungsklasse	Tropfbarkeitsklasse	Bemerkungen	Erläuternde Angaben
07	Dämmstoffe für Dach, Seiten- und Stirnwand, Außentür und Boden (Schall und/oder Wärme), aufgetragen durch Applikation auf Flächen des Innenraums	DIN 5510	S3	SR2	ST2	Beflammung erfolgt auf der dem Trägermaterial abgewandten Seite auf dem vorgesehenen Untergrund. Bei Kombination mit weiteren Dämmstoffen oder anderen Stoffen im Abstand $\leq 20$ mm erfolgt die Prüfung zusätzlich im Verbund.	--
		DIN EN 13501	A1	s2	d1		
			A2				
			B				
C							
08	Dämmstoffe für Dach, Seiten- und Stirnwand, Außentür und Boden (Schall und/oder Wärme), Platten und bahnförmige Erzeugnisse	DIN 5510	S3	SR2	ST2	Beflammung erfolgt auf der dem Trägermaterial abgewandten Seite auf dem vorgesehenen Untergrund. Bei Kombination mit weiteren Dämmstoffen oder anderen Stoffen im Abstand $\leq 20$ mm erfolgt die Prüfung zusätzlich im Verbund.	--
		DIN EN 13501	A1	s2	d1		
			A2				
			B				
C							
09	Innenausbauteile wie Decken, Deckenvouten sowie Klappen, Kästen, Hauben und zugehörige Applikationen im Decken- und Voutenbereich	DIN 5510	S3	SR2	ST2	Bei Kombination mit weiteren Dämmstoffen oder anderen Stoffen im Abstand $\leq 20$ mm erfolgt die Prüfung zusätzlich im Verbund.  Bei Doppelstockfahrzeugen wird für das untere Deck die Brennbarkeitsklasse S4 gefordert.  Die Prüfung von Applikationen kann auch im Einbauzustand erfolgen.	--
		DIN EN 13501	A1	s2	d1		
			A2				
			B				
C							
10	Innenausbauteile wie Verkleidung der Seiten-, Stirn- und Trennwände, Raumteiler sowie Klappen, Kästen, Hauben in diesem Bereich, Innentüren, Innenverkleidung der Außentüren und zugehörige Applikationen	DIN 5510	S3	SR2	ST2	Bei Kombination mit weiteren Dämmstoffen oder anderen Stoffen im Abstand $\leq 20$ mm erfolgt die Prüfung zusätzlich im Verbund.  Bei Doppelstockfahrzeugen wird für den Treppenbereich die Brennbarkeitsklasse S4 gefordert.  Die Prüfung von Applikationen kann auch im Einbauzustand erfolgen.	--
		DIN EN 13501	A1	s2	d1		
			A2				
			B				
C							
11	Abdeckungen für Info- und Werbetafeln, Zeitungsboxen, Kästen für Anzeigen im Innenraum	DIN 5510	S3	--	--	Für Anzeigen an der Decke über dem Gang mit einem Stromanschluss $> 3$ V wird die Tropfbarkeitsklasse ST2 gefordert.	--
		DIN EN 13501	A1	--	--		
			B				
			C				
12	Fußboden im Bereich über dem Motorraum und Treppenstufen (Trägerplatte mit Belag fest verbunden), auch Läufer und Teppichböden	DIN 5510	SF3	SF3	Bei senkrechtem Einbau (seitlich mehr als 35 cm hochgezogen) gelten die Anforderungen der Seiten- bzw. Trennwände.	DIN 5510 und EN 13501 prüfen nach dem gleichen Verfahren aus ISO 9239 bzw. DIN 4102 - 14. $C_{fi}$ ist die Minimalforderung.	
		DIN EN 13501	$C_{fi}$	S1			
13	Fußboden im übrigen Bereich (Trägerplatte mit Belag fest verbunden), auch Läufer und Teppichböden	DIN 5510	SF3	SF3	Bei senkrechtem Einbau (seitlich mehr als 35 cm hochgezogen) gelten die Anforderungen der Seiten- bzw. Trennwände.	DIN 5510 und EN 13501 prüfen nach dem gleichen Verfahren aus ISO 9239 bzw. DIN 4102 - 14. $C_{fi}$ ist die Minimalforderung.	
		DIN EN 13501	$C_{fi}$	S1			
14	Abdeckung für Leuchten einschließlich Raster	DIN 5510	S3	--	ST2	--	--
15	Gepäckablage	DIN 5510	S3	SR2	ST2		

Tab. 13.1: Fortsetzung

1	2	3	4			5	6
			Anforderungen				
Lfd. Nr.	Nachweispflichtige Bauteile/-stoffe	Prüfnorm	Brennbarkeitsklasse	Rauchentwicklungsklasse	Tropfbarkeitsklasse	Bemerkungen	Erläuternde Angaben
16	Fenstereinfassung	DIN 5510	S3	--	--	Der Nachweis kann wahlweise an nicht eingebauten Abschnitten aus Originalprofilen oder an Prüfplatten in 2 mm und 6 mm Dicke erbracht werden.	--
17	Vorhang und Rollo	DIN 5510	S3	SR2	ST2	Ergebnisse aus DIN EN ISO 6941 [122] können nicht gewertet werden, da keine Rauchgasprüfung erfolgt.	Die Anforderungen an das Rauch- und Tropfverhalten werden gestellt, da die verdeckten Fenster als Notausstieg dienen.
18	Tisch, Fenstertisch, Klapp-tisch (auch an Sitzen)	DIN 5510	S3	--	--	--	--
		DIN EN 13501	A1 A2 B C	--	--		
19	Dichtungen für Außen und Innentüren	DIN 5510	S3	SR1	--	Der Nachweis kann wahlweise an nicht eingebauten Abschnitten aus Originalprofilen oder an Prüfplatten in 2 mm und 6 mm Dicke erbracht werden.	Es wird keine Unterscheidung zwischen statisch und dynamisch belasteten Dichtungen getroffen.
20	Abdeckungen und Verkleidungsteile an Sitzen und Klapp-tischen an Sitzen	DIN 5510	S3	--	--	--	Die hier geprüften Teile sind auch bei der Sitzprüfung mit-zuprüfen.
21	Haltestangen	DIN 5510	S3	--	--	--	--
22	Aschenbecher, Abfallbe-hälter, Sammelbehälter für Recycling	DIN 5510	S5	SR2	ST2	--	Keine weiteren Anforde-rungen
		DIN EN 13501	A1 A2	s2	d1		
23	Küchenbauteile im Bereich um den Herd	DIN 5510	S5	SR2	ST2	Auch Mikrowellengeräte und Heißluftöfen werden als Herd betrachtet.	--
		DIN EN 13501	A1 A2 B	s2	d1		
24	Sonstige Küchenbauteile	DIN 5510	S3	--	--	--	--
		DIN EN 13501	A1 A2 B C	--	--		
25	Innenausbauteile in WC- und Waschräumen, wie Wände, Decken, Türen, Klappen, Waschtisch, Waschtisch-wand, Leuchtenabdeckung und Spiegel	DIN 5510	S4	SR2	ST2	--	Durch Rauchverbot und Brandmeldeanlage kann auf die Stufe S5 verzichtet wer-den.
		DIN EN 13501	A1 A2 B	s2	d1		
26	Waschbecken, WC-Becken, Seifenspender, Behälter für Papierhandtücher sowie Be-hältnisse für Reinigungstü-cher und Hygienebeutel	DIN 5510	S5	SR2	ST2	--	Da ein generelles Rauchverbot für WC- und Waschräume gefordert wird, werden keine Anforderungen an Zi-garettensablagen in diesen Bereichen gestellt. Sie müs-sen ansonsten dieser Gruppe zugeteilt werden.
		DIN EN 13501	A1 A2	s2	d1		

Tab. 13.1: Fortsetzung

1	2	3	4			5	6
			Anforderungen				
Lfd. Nr.	Nachweispflichtige Bauteile/-stoffe	Prüfnorm	Brennbarkeitsklasse	Rauchentwicklungs-kategorie	Tropfbarkeitsklasse	Bemerkungen	Erläuternde Angaben
27	WC-Deckel, WC-Brille	DIN 5510	S4	SR2	ST2	--	--
		DIN EN 13501	A1 A2 B	s2	d1		
28	Innenausbauteile wie Wände, Decken, Türen, Klappen, Kästen und Schränke	DIN 5510	S3	SR2	ST2	--	--
		DIN EN 13501	A1 A2 B C	s2	d1		
29	Sitze	UIC 564-2				Papierkissentest	Siehe Abschnitt Sitze, beide Prüfungen müssen durchgeführt werden
		DIN 54837	S3	SR2	ST2		
30	Notausstiegsluken im Dachbereich	DIN 5510	S4	SR2	ST2	--	--
		DIN EN 13501	A1 A2 B	s2	d1		
31	Elektroinstallationen					Siehe Kapitel 13.9	--

Tab. 13.1: Fortsetzung

## 14 Literatur

- [1] Schriftliche Auskunft des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV)
- [2] DIN 70010: Systematik der Straßenfahrzeuge – Begriffe für Kraftfahrzeuge, Fahrzeugkombinationen und Anhängerfahrzeuge, April 2001
- [3] Statistisches Bundesamt Wiesbaden: Fachserie 8, Verkehr, Reihe 7, Verkehrsunfälle 2000. Metzler-Poeschel, Stuttgart, 2001
- [4] Bundesministerium für Verkehr Bonn: Verkehr in Zahlen 2002/2003. Deutscher Verkehrs-Verlag Hamburg, November 2002, ISBN 3-87154-279-2
- [5] NEUMANN, L., HOFMANN, P., SCHAAF, B., BERG, A., NIEWÖHNER, W.: Unfall- und Unfallkostenanalyse im Reisebusverkehr (Bericht zum Forschungsprojekt 82.061/1995 der Bundesanstalt für Straßenwesen). Heft M 110, Bergisch Gladbach 1999, ISBN 3-89701-405-x
- [6] POHL, K. D.: Der Kraftfahrzeugbrand. DAT Deutsche Automobil Treuhand GmbH, Stuttgart, 1989
- [7] EGELHAAF, M.: Studie zu Bränden in unfallbeteiligten Kraftfahrzeugen. Diplomarbeit bei der DEKRA-Unfallforschung Stuttgart, 2001
- [8] SIMSIJA, Z.: Erhebung und Auswertung von Fahrzeugbränden als Unfallfolge. Diplomarbeit bei der DEKRA-Unfallforschung Stuttgart, 1999
- [9] DEKRA-Busunfalldatenbank, DEKRA-Unfallforschung, 679 Fälle der Jahre 1985 – 2002
- [10] 64 Artikel zu Busbränden aus nationalen und internationalen Zeitungen der Jahre 1997 – 2004
- [11] DEKRA-Schadengutachten, unveröffentlicht
- [12] KRIEG, O.: Brandbilder
- [13] PB98-917006; NTSB/SIR-99/04: Highway Special Investigation Report, Bus Crash worthiness Issues, National Transportation Safety Board, Washington, D. C. 1999
- [14] PB99-917001; NTSB/SIR-99/01: Highway Special Investigation Report, Selective Motorcoach Issues, National Transportation Safety Board, Washington, D. C. 1999

- [15] PB98-917006; NTSB/SIR-98/03: Highway Special Investigation Report, Transit Bus Safety Oversight, National Transportation Safety Board, Washington, D. C. 1998
- [16] Accident Investigation Board Finland, Incident report, D 1/2000 Y, Bus Fires in Finland during 2000, shortened version, ISBN 951-836-055-3, Helsinki 2001
- [17] PAINE, M: Bus Accidents in Australia 1970 – 1993, National Road Transport Commission, Australien, 1995
- [18] 2001/85/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001 über besondere Vorschriften für Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und zur Änderung der Richtlinien 70/156/EWG und 97/27/EG
- [19] KRIEG, M., WEIßGERBER, A., RÜTER, G.: BAST-Projekt FE 82.188/2000, Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen, Abschlussbericht der Fachhochschule Trier, 2002
- [20] Beck'sche Textausgaben Straßenverkehrsrecht, Stand 04.2001, Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
- [21] 95/28/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. Oktober 1995 über das Brennverhalten von Werkstoffen der Innenausstattung bestimmter Kraftfahrzeugklassen
- [22] 70/156/EWG: Richtlinie des [Europäischen] Rates vom 6. Februar 1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Betriebserlaubnis für Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger
- [23] ECE-Regelung Nr. 36: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftomnibussen hinsichtlich ihrer Konstruktionsmerkmale, Stand 12.2000
- [24] DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, inklusive August 2002
- [25] 2001/56/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 über Heisanlagen für Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG des Rates sowie zur Aufhebung der Richtlinie 78/548/EWG des Rates
- [26] FMVSS 301: Federal Motor Vehicle Safety Standard 301, Fuel System Integrity, 2000
- [27] DIN 75200: Bestimmung des Brennverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeuginnenausstattung, September 1980
- [28] FMVSS 302: Flammability of Interior Materials
- [29] DIN 5510: Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen, Entwurf Juni 2001
- [30] Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) vom 8. Mai 1967, verkündet am 12. Mai 1967; BGBl. II S. 15663
- [31] Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau und -Betriebsordnung – BOStrab) vom 11. Dezember 1987, verkündet am 18. Dezember 1987; BGBl. I S. 2648
- [32] PEACOCK, R. D., BRAUN, E.: Fire Safety of Passenger Trains Phase I: Material Evaluation (Cone Calorimeter). NIST Building and Fire Research Laboratory, Gaithersburg und Volpe National Transportation System Center of the US Department of Transportation, Juni 1998
- [33] BUKOWSKI, R. W., PEACOCK, R. D., RENEKE, P. A., AVERILL, J. D., MARKOS, J. H.: Development of a Hazard-Based Method for Evaluating the Fire Safety of Passenger Trains. NIST Building and Fire Research Laboratory, Gaithersburg und Volpe National Transportation System Center of the US Department of Transportation, Proceedings of the 8th International Fire Science and Engineering Conference, Edinburgh 29.06 – 01.07.1999
- [34] US Department of Transportation, Federal Aviation Administration: Improved Flammability Standards for Thermal/Acoustic Insulation Materials used in Transport Category Airplanes. 14 CFR Parts 25, 91, 121, 125, und 135, September 2000
- [35] HORNER, A. (Verfasserin): Aircraft Materials Fire Test Handbook. US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, DOT/FAA/AR-00/12, 4.2000
- [36] HEDSKOK, B., FREDRIK, R.: The Classification Systems for Surface Lining Materials used in

- Buildings in Europe and Japan – a Summary and Comparison; Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden, Tsukuba, Japan; 1998
- [37] DIN EN 13501: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten, Juni 2002
- [38] DIN EN ISO 1182: Prüfung zum Brandverhalten von Bauprodukten – Nichtbrennbarkeitsprüfung, Juli 2002
- [39] DIN EN ISO 1716: Prüfung zum Brandverhalten von Bauprodukten – Bestimmung der Verbrennungswärme, Juli 2002
- [40] DIN EN 13823: Prüfung zum Brandverhalten von Bauprodukten – Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen, Juni 2002
- [41] DIN EN ISO 13943: Brandschutz-Vokabular (ISO 13943:2000); Dreisprachige Fassung EN ISO 13943:2000, Oktober 2000
- [42] DIN EN ISO 11925-2: Prüfung zum Brandverhalten von Bauprodukten – Teil 2: Entzündbarkeit bei direkter Flammeneinwirkung, Juli 2002
- [43] DIN 53438: Verhalten beim Beflammen mit einem Brenner, Juni 1984
- [44] DIN EN ISO 9239-1: Prüfung zum Brandverhalten von Bodenbelägen – Teil 1: Bestimmung des Brandverhaltens bei Beanspruchung mit einem Wärmestrahler, Juni 2002
- [45] DIN 14011: Begriffe aus dem Feuerwesen, Juli 1991
- [46] LÖBBERT, A., POHL, K. D., THOMAS, K. W.: Brandschutzplanung für Architekten und Ingenieure. Verlagsgesellschaft Rudolph Müller, Köln, 2. Auflage 1998, ISBN 3-481-01481-3
- [47] DIN 50060: Prüfung des Brandverhaltens von Werkstoffen und Erzeugnissen, November 1995
- [48] LUTZ, JENISCH, KLOPFER, FREYMUTH, KRAMPF, PETZOLD: Lehrbuch der Bauphysik. Teubner Verlag Stuttgart, 4. Auflage 1997, ISBN 3-519-35014-9
- [49] DIN EN 2: Brandklassen, Januar 1993
- [50] BUFF, K., GREIM, H.: Abschätzung der gesundheitlichen Folgen von Großbränden. Zivilschutzforschung Band 25, Bundesamt für Zivilschutz, 1997, ISSN 0343-5164
- [51] Repha-Internetdatenbank, Tabellarium für die Praxis: Atemfrequenz. <http://www.repha.de/medikus/tabellarium/atemfrequenz.html>
- [52] HOMMEL, G.: Handbuch der gefährlichen Güter. Hommel-Merkblatt 116
- [53] Sicherheitsdatenblatt Kohlenmonoxid CO. Merck
- [54] Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 12. BImSchV - Störfall-Verordnung, Stand 2.1999
- [55] Sicherheitsdatenblatt Kohlendioxid CO<sub>2</sub>. Merck
- [56] Unterschiedliche BUA-Stoffberichte des Beratergremiums für umweltrelevante Altstoffe, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft S. Hirzel Verlag, Stuttgart
- [57] Sicherheitsdatenblatt Stickstoffmonoxid NO. Merck
- [58] Sicherheitsdatenblatt Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>. Merck
- [59] Internetdownload: Toxische Wirkung von HCN. <http://www.vho.org/D/rga/tox.html>
- [60] Sicherheitsdatenblatt Hydrogenchlorid HCL. Messer
- [61] Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz)
- [62] Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung)
- [63] Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 900: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz, „Luftgrenzwerte“. Stand 4.2001
- [64] Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 903: Biologische Arbeitsplatztoleranzwerte, „BAT-Werte“, Stand 4.2001
- [65] Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 905: Verzeichnis Krebs erzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe, Stand 4.2001
- [66] BIA-Report: Grenzwertliste 1999. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaft

- ten HVBG, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA. Sankt Augustin, 1999, ISBN 3-88383-546-3
- [67] Vfdb-Richtlinie 10.03: Schadstoffe bei Bränden. Verband zur Förderung des deutschen Brandschutzes e. V.
- [68] Vfdb-Richtlinie 10.01: Bewertung von Schadstoffkonzentrationen im Feuerwehreinsatz. Verband zur Förderung des deutschen Brandschutzes e. V.
- [69] Fire and Smoke: Understanding the Hazards. Committee on Fire Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology, National Research Council, ISBN 0-309-06231-4
- [70] Forschungs- und Versuchsamt des Internationalen Eisenbahnverbandes, Frage B 106, Standardisierung der Reisezugwagen, Bericht Nr. 5, Brandverhalten der Werkstoffe und der Strukturen von Eisenbahnfahrzeugen, Allgemeines-Umfragen-Klassifizierung der Werkstoffe, Utrecht, 1985
- [71] Forschungs- und Versuchsamt des Internationalen Eisenbahnverbandes, Frage B 106, Standardisierung der Reisezugwagen, Bericht Nr. 6, Brandverhalten der Werkstoffe und der Strukturen von Eisenbahnfahrzeugen, Feuerreaktion der Materialien-Versuchsverfahren, Utrecht, 1985
- [72] Forschungs- und Versuchsamt des Internationalen Eisenbahnverbandes, Frage B 106, Standardisierung der Reisezugwagen, Bericht Nr. 11, Brandverhalten der Werkstoffe und der Strukturen von Eisenbahnfahrzeugen, Versuchsverfahren und Kriterien für die Auswahl von Materialien, Feuerversuche natürlicher Größe, Bauliche Anordnungen zur Brandverhütung, Utrecht, 1987
- [73] Forschungs- und Versuchsamt des Internationalen Eisenbahnverbandes, Frage B 106, Standardisierung der Reisezugwagen, Bericht Nr. 18, Brandverhalten der Werkstoffe und der Strukturen von Eisenbahnfahrzeugen, Versuchsmethoden für die Bestimmung der Toxizität von Rauchgasen, Utrecht, 1991
- [74] DIN EN ISO 4589: Kunststoffe – Bestimmung des Brennverhaltens durch den Sauerstoffindex, September 1999
- [75] Internetdownload bei der Firma Plastics Technology Laboratories, Inc.: [www.ptli.com](http://www.ptli.com), Februar 2002
- [76] Entwurf DIN 54837: Prüfung von Werkstoffen, Kleinbauteilen und Bauteilabschnitten für Schienenfahrzeuge – Bestimmung des Brennverhaltens mit einem Gasbrenner, Januar 1991
- [77] UIC-Merkblatt 564-2, Verfahren A, Papierkissentest
- [78] DIN 54341: Prüfung von Sitzen für Schienenfahrzeuge des öffentlichen Personenverkehrs – Bestimmung des Brennverhaltens mit einem Papierkissen, Januar 1988
- [79] Internetdownload bei der Feuerwehr Halle: [www.feuerwehr-halle.de](http://www.feuerwehr-halle.de), Februar 2002
- [80] BUKOWSKI, R. W., TANAKA, T.: Toward the goal of a performance fire code, Fire and Materials, Vol. 15, S. 175-180, ISSN: 0308-0501, 1991
- [81] PEACOCK, R. D., RENEKE, P. A., JONES, W. W., BUKOWSKY, R. W.: New concepts for fire protection of passenger rail transportation vehicles, proceedings of the fourth international symposium on fire safety science in Ottawa, S. 1007 – 1016, 1994
- [82] PEACOCK, R. D., BUKOWSKY, R. W., JONES, W. W., RENEKE, P. A., BABRAUSKAS, V., BROWN, J. E.: Fire safety of passenger trains: A review of current approaches and of new concepts, NIST technical note 1406, Building and fire research laboratory, Gaithersburg, 1994
- [83] BUSCH, H.: ADR – GGVSE – RSE, Handausgabe, 11. Ausgabe 2002, ISBN 3-935064-13-6, 2002
- [84] DIN 14676 (Manuskript): Rauchwarnmelder für Wohnhäuser und Räume mit wohnungsähnlicher Nutzung – Einbau, Betrieb und Instandhaltung, August 2001
- [85] Entwurf ISO/DIS 12239: Fire detection and fire alarm systems – Self-contained smoke alarms, ehemals ISO 12239:1995: Ausrüstung für den Brandschutz – Haushalt – Rauchmelder, August 2002
- [86] Internetdownload bei der Firma Hekatron: [www.dassicherehaus.de](http://www.dassicherehaus.de), April 2002

- [87] Telefonische Information der Omnibusverkehr Franken GmbH OVF, Herr HETZER, 18.07.2002
- [88] KNIESA, K.: Feuerlöschanlagen für Fahrzeuge, Tagungsunterlagen der Dresden-Radebeuler Verkehrstage 2000, S. 22 – 24, 2000
- [89] American Public Transit Association: Standard Bus Procurement Guidelines, Technical Specifications, Washington, 1999
- [90] Verkaufsunterlagen der Firma Kidde Deugra Brandschutzsysteme GmbH, Ratingen, 2000
- [91] E-Mail Auskunft der Firma Gloria Feuerlöschergeräte und -anlagen vom 2002-04-15
- [92] HAMINS, A.: Evaluation of Active Suppression in Simulated Post-Collision Vehicle Fires, NISTIR 6379, Building and Fire Research Institute, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 2001
- [93] OHLEMILLER, T., SHIELDS, J.: Burning Behaviour of Selected Automotive Parts from a Minivan, NISTIR 6143, Building and Fire Research Institute, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1998
- [94] DIN EN 3: Tragbare Feuerlöscher, Januar 2001
- [95] REMPE, A.: Feuerlöschmittel, Eigenschaften, Wirkung, Anwendung, 6., überarbeitete Auflage, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, ISBN 3-17-014579-7, 1997
- [96] Verordnung zum Verbot von bestimmten die Ozonschicht abbauenden Halogenkohlenwasserstoffen (FCKW-Halon-Verbots-Verordnung) vom 6. Mai 1991, BGBl. I S. 1090, zuletzt geändert am 29. Oktober 2001, BGBl. I S. 2865
- [97] CIMOLINO, U. (Hrsg.): Technische Hilfeleistung bei Busunfällen, Reihe Einsatzpraxis, ecomed Verlagsgesellschaft, ISBN 3-609-68730-4, Landsberg, 2001
- [98] PRENDKE, W., SCHRÖDER, H. (Hrsg.): Lexikon der Feuerwehr, 2., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage, Kohlhammer Verlag Stuttgart, ISBN 3-17-015767-1, Stuttgart, 2001
- [99] BGR 133: Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Regeln für die Ausrüstung von Arbeitsstätten mit Feuerlöschern, Verwaltungs-Berufsgenossenschaft VBG, Fachausschuss „Nahrungs- und Genussmittel“ der BGZ, 1997
- [100] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV), BGBl. I S. 1841, 12.1996
- [101] Arbeitsstätten-Richtlinie (ASR 13/1,2) Feuerlöscheinrichtungen, BArbBl. 1997-07, S. 70
- [102] DIN 14406: Tragbare Feuerlöscher, abgelöst durch DIN EN 3, Oktober 2000
- [103] Unfallverhütungsvorschrift 0.7: Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz, Gesetzliche Unfallversicherung, 1997, nationale Umsetzung der Richtlinie 92/58/EWG
- [104] DIN 3223: Betätigungsschlüssel für Armaturen (inklusive der Änderung A1), Juni 2002
- [105] Internetdownload zu CFAST und HAZARD I: [www.bfrl.nist.gov/864/hazard/cfast.html](http://www.bfrl.nist.gov/864/hazard/cfast.html), 2001-06-12
- [106] MARTENS, S., VOGEL, P.: EDV-gestützte Brandsimulation, Internetdownload: [www.fluent.com/worldwide/germany/support/Brandsimulation-Martens.pdf](http://www.fluent.com/worldwide/germany/support/Brandsimulation-Martens.pdf), 2003-02-17
- [107] Protokoll zum Busbrand-Expertengespräch vom 18.12.2002 bei DEKRA in Stuttgart
- [108] Startklar, das Omnibus-Bordmagazin, Euro-TransportMedia Verlags- und Veranstaltungs-GmbH Stuttgart, Ausgabe 01/2002
- [109] Sicherheitskarte zum Neoplan-Starliner sowie Sicherheitsvideo, ebenfalls Neoplan
- [110] Sicherheit für Carpassagiere, VHS-Video des schweizerischen Nutzfahrzeugverbandes ASTAG, erhältlich in den Sprachen Deutsch, Englisch, Französisch und Italienisch
- [111] QUENZEL, K.: Rauch- und Wärmeabzugsanlagen – im Rahmen des vorbeugenden Brandschutzes, Office213-Verlag, 2. Auflage, <http://www.tlt.de/deutsch/public-relation/pdf/05.pdf>, Juli 2002
- [112] SEIFERT, U.: Brandrauch im Gebäude: Rauchausbreitung und Rauchabzug; Vortrag anlässlich der Fachtagung BrandO in Oberhausen, September 2000
- [113] PEACOCK, R., RENEKE, P., JONES, W., BUKOWSKY, R., BABRAUSKAS, V.: Concepts for Fire Protection of Passenger Rail Transportation Vehicles: Past, Present, and Future; Fire and Materials, Heft 19, S. 71 bis 87, 1995

- 
- [114] Mercedes Benz (Hrsg.): Leitfaden für Rettungsdienste; DaimlerChrysler AG, Service- und Produkt-Information, Stuttgart, Bestell-Nr.: 6516015800
- [115] Fires in Mass Transit Vehicles: Guidelines for the Evaluation of Toxic Hazards; Report of the Committee on Toxicity Hazards of Materials used in Transit Vehicles, National Materials Advisory Board, NMBA-462, National Academy Press; 1991
- [116] GANN, G. et al.: International Study of the Sublethal Effects of Fire Smoke on Survivability and Health (SEFS): Phase I Final Report; NIST Technical Note 1439, August 2001
- [117] DIN EN ISO 3582: Weich-elastische, polymere Schaumstoffe – Laboratoriumsverfahren zur Bestimmung des horizontalen Brennverhaltens kleiner Probenkörper bei Einwirkung einer kleinen Flamme, März 2001
- [118] BUKOWSKY, R., MARKOS, S.: Fire Safety of Passenger Trains: Fire Hazard Assessment; Paper of the second Fire Risk and Hazard Assessment Research Application Symposium in San Francisco, National Fire Protection Research Foundation, 25.-27. Juni 1997
- [119] BABRAUSKAS, V. et al.: Fire Performance of Wire and Cable: Reaction to Fire Test – A Critical Review of the Existing Methods and of New Concepts; NIST Technical Note 1291, 1991
- [120] Telefonische Auskunft VDE-Institut, Herr WIEGHARDT, 1.8.2002
- [121] DIN EN 50267: Allgemeine Prüfverfahren für das Verhalten von Kabeln und isolierten Leitungen im Brandfall, April 1999
- [122] DIN EN ISO 6941: Textilien-Brennverhalten – Messung der Flammenausbreitungseigenschaften vertikal angeordneter Proben, April 1995



## Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt  
für Straßenwesen

## Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

**1993**

- F 1: Einfluß der Korrosion auf die passive Sicherheit von Pkw  
Faerber, Wobben € 12,50
- F 2: Kriterien für die Prüfung von Motorradhelmen  
König, Werner, Schuller, Beier, Spann € 13,50
- F 3: Sicherheit von Motorradhelmen  
Zellmer € 11,00
- F 4: Weiterentwicklung der Abgassonderuntersuchung  
Teil 1: Vergleich der Ergebnisse aus Abgasuntersuchung und Typ-  
prüfverfahren  
Richter, Michelmann  
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahr-  
zeuge mit Katalysator  
Albus € 13,50

**1994**

- F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz  
Bamberg, Zellmer € 11,00
- F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport  
Wobben, Zahn € 12,50
- F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttrans-  
mission von Pkw-Scheiben  
Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei  
Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe  
P. Junge  
Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit  
verminderter Tagessehschärfe  
Chmielarz, Siegl  
Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben - Vergleichsstudie  
Derkum € 14,00
- F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen  
Otte, Schroeder, Eidam, Kraemer € 10,50
- F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Stra-  
ßenbedingungen  
Schmieder, Bley, Spickermann, von Zettelmann € 11,00

**1995**

- F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern  
Damasky € 12,50
- F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-  
Up-Displays  
Mutschler € 16,50
- F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen  
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern  
Zellmer, Schmid  
Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern  
Zellmer € 12,00
- F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen  
Sander € 11,50

**1996**

- F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim  
Fußgängerunfall – Entwicklung eines Prüfverfahrens  
Glaeser € 15,50
- F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern  
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von  
Fahrrädern  
Heinrich, von der Osten-Sacken  
Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicher-  
heit von Fahrrädern“  
Nicklisch € 22,50
- F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen  
Sagerer, Wartenberg, Schmidt € 12,50
- F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen – Problem-  
analyse und Verfahrenskonzept  
Grunow, Heuser, Krüger, Zangemeister € 17,50
- F 18: Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne  
ABS  
Präckel € 14,50
- F 19: Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der  
Hauptuntersuchung  
Pullwitt € 11,50
- F 20: Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße  
und im Prüfstand  
Sander € 13,00
- F 21: Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe  
Fach € 14,00

**1997**

- F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzei-  
tiger Motorabschaltung  
Bugsel, Albus, Sievert € 10,50
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfall-  
forschung in der Pre-Crash-Phase  
Berg, Mayer € 19,50

**1998**

- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zwei-  
radkonzeptes  
Kalliske, Albus, Faerber € 12,00
- F 25: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und  
in Fahrradanhängern  
Kalliske, Wobben, Nee € 11,50

**1999**

- F 26: Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebsschlupf-  
Regelsysteme  
Schweers € 11,50
- F 27: Betriebslasten an Fahrrädern  
Vötter, Groß, Esser, Born, Flamm, Rieck € 10,50
- F 28: Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen  
Kohlstruck, Wallentowitz € 13,00

**2000**

- F 29: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen  
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen  
Glaeser  
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen  
Aubel € 13,00

- F 30: Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen  
Faber € 12,50
- F 31: Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen  
Otte € 12,50
- F 32: Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BASt – Einweihung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach € 14,00
- F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen  
Gaupp, Wobben, Horn, Seemann € 17,00

- F 50: Seitenairbag und Kinderrückhaltesysteme  
Gehre, Kramer, Schindler € 14,50
- F 51: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen  
Egelhaaf, Berg, Staubach, Lange € 16,50

## 2001

- F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug  
Sander, Bugsel, Sievert, Albus € 11,00
- F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren  
Wallentowitz, Ehmanns, Neunzig, Weilkes, Steinauer, Bölling, Richter, Gaupp € 19,00
- F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Krafträdern  
van de Sand, Wallentowitz, Schrüllkamp € 14,00
- F 37: Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor – G-Kat  
Afflerbach, Hassel, Schmidt, Sonnborn, Weber € 11,50
- F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgängerschutzes  
Friesen, Wallentowitz, Philipps € 12,50

## 2002

- F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung  
Gail, Lorig, Gelau, Heuzeroth, Sievert € 19,50
- F 40: Prüfverfahren für Spritzschutzsysteme an Kraftfahrzeugen  
Domsch, Sandkühler, Wallentowitz € 16,50

## 2003

- F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge  
Afflerbach, Hassel, Mäurer, Schmidt, Weber € 14,00
- F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen  
Krieg, Rüter, Weißgerber € 15,00
- F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall  
Nett € 16,50
- F 44: Aktive und passive Sicherheit gebrauchter Leichtkraftfahrzeuge  
Gail, Pastor, Spiering, Sander, Lorig € 12,00

## 2004

- F 45: Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im Rahmen der WMTC-Aktivitäten  
Steven € 12,50
- F 46: Anforderungen an zukünftige Kraftrad-Bremssysteme zur Steigerung der Fahrsicherheit  
Funke, Winner € 12,00
- F 47: Kompetenzerwerb im Umgang mit Fahrerinformationssystemen  
Jahn, Oehme, Rösler, Krens € 13,50
- F 48: Standgeräuschmessung an Motorrädern im Verkehr und bei der Hauptuntersuchung nach § 29 STVZO  
Pullwitt, Redmann € 13,50
- F 49: Prüfverfahren für die passive Sicherheit motorisierter Zweiräder  
Berg, Rücker, Bürkle, Mattern, Kallieris € 18,00

---

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

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

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.