

TEXTE

71/2024

Brandschutzanforderungen für Textilien, Möbel und Matratzen in öffentlichen Einrichtungen: Welche Regelungen bestehen und wie können diese erfüllt werden?

Abschlussbericht

TEXTE 71/2024

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3718 37 333 0

FB000787

Brandschutzanforderungen für Textilien, Möbel und Matratzen in öffentlichen Einrichtungen: Welche Regelungen bestehen und wie können diese erfüllt werden?

Abschlussbericht

von

Dr. Torsten Kolb, Sebastian Plaga und

Dr. Margitta Uhde

Fraunhofer-Institut für Holzforschung

Wilhelm-Klauditz-Institut WKI, Braunschweig

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de

Durchführung der Studie:

Fraunhofer-Institut für Holzforschung Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
Bienroder Weg 54 E
38108 Braunschweig

Abschlussdatum:

Dezember 2021

Redaktion:

Fachgebiet III 1.3 Ökodesign, Umweltkennzeichnung, Umweltfreundliche Beschaffung
Dr. Kristin Stechemesser
Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen
Dr. Johannes Schwan

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Brandschutzanforderungen für Textilien, Möbel und Matratzen in öffentlichen Einrichtungen: Welche Regelungen bestehen und wie können diese erfüllt werden?

Bei der Vergabe öffentlicher Aufträge kann unter Berücksichtigung von Umweltaspekten ein wesentlicher Beitrag zum Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen geleistet werden, da mit dem hohen Auftragsvolumen der öffentlichen Hand auch ein großes Potential der Umweltentlastung besteht. Das Umweltbundesamt bietet Beschafferinnen und Beschaffern produktspezifische Ausschreibungsempfehlungen für eine umweltfreundliche Beschaffung. Mitunter besteht jedoch Unsicherheit über die Brandschutzanforderungen an Produkte wie Textilien, Möbel oder Matratzen im öffentlichen Bereich und, sofern notwendig, wie ein geforderter Brandschutz möglichst umweltschonend realisiert werden kann.

Dieser Bericht hat zum Ziel, für die Produktgruppen PSA, Arbeitskleidung und Schuhe, Haus- und Heimtextilien, Möbel, Matratzen und Bodenbeläge in neun öffentlichen Bereichen die gesetzlichen Anforderungen an den Brandschutz aufzuarbeiten. Ergänzend wird auf den allgemeinen baulichen Brandschutz eingegangen. Außerdem besteht das Ziel, umweltschonende Möglichkeiten der Erfüllung der Brandschutzanforderungen darzustellen und Empfehlungen abzuleiten. Zu den betrachteten öffentlichen Bereichen zählen Kindertagesstätten, Schulen, Krankenhäuser, Büro- und Verwaltungsgebäude, Bundeswehr, Justizvollzugsanstalten, Versammlungsstätten, Feuerwehr sowie Polizei/Zoll.

Neben umfangreichen Literaturrecherchen wurden verschiedene Fachexpert*innen konsultiert sowie die Zwischenstände in Form von Fachgesprächen vorgestellt und diskutiert.

An den Brandschutz von Einsatzkleidung der Feuerwehr liegen Mindestanforderungen vor, während keine gesetzlichen Brandschutzanforderungen an Matratzen für Krankenhäuser und Kitas identifiziert wurden. Für Möbel sowie Haus- und Heimtextilien außerhalb der (notwendigen) Flucht- und Rettungswege in Kitas, Schulen, Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie Krankenhäusern konnten ebenso keine gesetzlichen Anforderungen an den Brandschutz ausfindig gemacht werden. Flucht- und Rettungswege sind entsprechend der Musterbauordnung von Brandlasten frei zu halten. Bodenbeläge, die als Baustoffe gelten, müssen der Baustoffklasse normal-entflammbar entsprechen und nach den jeweiligen Landesbauordnungen, Beherbergungs- und Versammlungsstättenverordnungen in bestimmten Flucht- und Rettungsbereichen schwerentflammbar bzw. nichtbrennbar sein.

Zur Erfüllung der Brandschutzanforderungen an die jeweiligen Produkte kommen grundsätzlich additive Flammschutzmittel (FSM), inhärenter Flammschutz oder die Verwendung alternativer Materialien infrage. Der inhärente Flammschutz kommt insbesondere bei Arbeitsschutzkleidung zur Anwendung, aber auch bei Haus- und Heimtextilien, Polstermöbeln und Matratzenbezugsstoffen. Der alternative Flammschutz in Form von Basaltfasern findet sich bei Arbeitsschutztextilien; Glasfilamente, Glasgewebe und Basaltfasern bei Haus- und Heimtextilien, oder bspw. Beton und Gipsfaserplatten bei den Möbeln. Bezüglich des additiven Flammschutzes konnten 31 FSM identifiziert werden, die für die fünf Produktgruppen gebräuchlich sind. Mittels einer Bewertung der Umwelt- und Gesundheitseigenschaften über die Gefahrenhinweise (H-Sätze) gemäß CLP-Verordnung wurden acht FSM identifiziert; weitere sechs FSM können nach dieser Bewertung nur in einigen Produkten bzw. Produktgruppen verwendet werden. Vier weitere FSM erfüllen nicht die Anforderungen an die Persistenz, zwei davon auch nicht die Anforderungen an die Bioakkumulation. Alle 10 FSM sind nicht waschbeständig und können daher nicht in Produkten, die regelmäßig gewaschen werden, verwendet werden.

Für Beschaffer*innen ist zu empfehlen, zunächst zu hinterfragen, ob ein Brandschutz für die zu beschaffenden Produkte überhaupt notwendig ist. Dann ist zu prüfen, ob ein Brandschutz über inhärenten Flammschutz oder über einen alternativen Flammschutz zu realisieren ist. Zuletzt ist

der Einsatz von FSM zu prüfen. Hierbei sollten, wenn erforderlich und notwendig, die im Rahmen dieser Arbeit identifizierten 10 FSM ausgewählt werden.

Abstract: Fire-safety requirements for textiles, furniture and mattresses in public facilities. What requirements exist and how can these be fulfilled?

When public contracts are awarded, a significant contribution can be made to the protection of natural resources by taking environmental aspects into account, since the high volume of public contracts means that there is great potential for relieving the burden on the environment. The Federal Environmental Agency offers purchasers product-specific tender recommendations to enable the environmentally friendly procurement of products. However, sometimes there is uncertainty about fire protection requirements for products such as textiles, furniture, or mattresses in the public sector and, if applicable, how the required fire protection can be realised in an environmentally friendly way as possible.

This report aims to review the legal fire protection requirements for the product groups PPE, work clothing and shoes, house and home textiles, furniture, mattresses, and floorings in nine public sector areas. It also discusses general structural fire protection. Further, it has the objective of presenting environmentally friendly ways of meeting fire protection requirements and of deriving recommendations here. The public sector areas considered are day care centres, schools, hospitals, office and administrative buildings, the armed forces, correctional facilities, places of assembly, the fire brigade, and the police force/customs authority.

In addition to extensive literature research, various experts were consulted and the preliminary results were presented and debated in technical discussions.

Minimum requirements exist for the fire protection of uniforms for firefighters, but no legal fire protection requirements for mattresses for hospitals and day care centres were identified. We were not able to find any legal fire protection requirements for furniture and house and home textiles in day care centres, schools, office and administrative buildings, and hospitals outside the (required) escape and rescue routes. Escape and rescue routes must be kept free from fire loads in accordance with the German Standard Building Regulations. Floorings, which are classified as building materials, must meet the requirements of the "Normally flammable" building material class and be flame-retardant or non-combustible in certain escape and rescue areas in accordance with the relevant regional building codes, accommodation ordinances, and venue regulations.

Additive flame retardants (FRs), inherent flame retardancy, and the use of alternative materials are options for meeting the fire protection requirements for the various products. Inherent flame retardancy is used particularly for protective work clothing but can also be found in house and home textiles, upholstered furniture, and mattress covers. Alternative flame retardancy in the form of basalt fibres is used in occupational safety textiles; glass filaments, glass fabric, and basalt fibres are used in house and home textiles; and e.g. concrete and gypsum fibreboard are used in furniture. For additive flame retardancy, 31 FRs could be identified as commonly used in the five product groups. An evaluation of the environmental and health properties of these substances on the basis of their hazard codes (HS codes) in accordance with the CLP Regulation identified eight usable FRs; a further six FRs can be used only in certain products or product groups in accordance with this evaluation. Four FRs do not meet the persistence requirements and two of these do not meet the bioaccumulation requirements either. All 10 remaining FRs are not wash-resistant and therefore cannot be used in products that are washed regularly.

Purchasers are recommended to first ask themselves whether fire protection is at all necessary for the products to be acquired. Then, they should check whether fire protection can be realized

via inherent flame retardancy or via alternative flame retardancy. Finally, the use of FRs should be checked. Here, a selection should be made - if required - from the 10 FRs identified during the course of this study.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	13
Tabellenverzeichnis.....	13
Abkürzungsverzeichnis.....	17
Zusammenfassung.....	25
Summary	38
1 Einleitung	51
2 Allgemeines zum Brandschutz.....	52
3 Brandschutz im öffentlichen Raum: Konzepte, Akteure	54
3.1 Allgemeines zur Bauplanung	54
3.2 Allgemeines zum Brandschutz von Gebäuden	55
3.2.1 Gebäudeklassifizierung	58
4 Brandschutzanforderungen in spezifischen Bereichen.....	61
4.1 Kindertagesstätten	64
4.1.1 Anforderungen an den baulichen Brandschutz	65
4.1.2 Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen.....	67
4.1.2.1 PSA und Arbeitskleidung	67
4.1.2.2 Schuhe	67
4.1.2.3 Haus- und Heimtextilien	67
4.1.2.4 Möbel.....	68
4.1.2.5 Matratzen	69
4.1.2.6 Bodenbeläge	69
4.2 Schulen.....	69
4.2.1 Anforderungen an den baulichen Brandschutz	71
4.2.2 Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen.....	72
4.2.2.1 PSA und Arbeitskleidung	72
4.2.2.2 Schuhe	72
4.2.2.3 Haus- und Heimtextilien	73
4.2.2.4 Möbel.....	73
4.2.2.5 Matratzen	75
4.2.2.6 Bodenbeläge	75
4.3 Krankenhäuser	75
4.3.1 Anforderungen an den baulichen Brandschutz	76
4.3.2 Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen.....	77

4.3.2.1	PSA und Arbeitskleidung	77
4.3.2.2	Schuhe	78
4.3.2.3	Haus- und Heimtextilien	78
4.3.2.4	Möbel.....	78
4.3.2.5	Matratzen	80
4.3.2.6	Bodenbeläge	80
4.4	Büro- und Verwaltungsgebäude.....	80
4.4.1	Anforderungen an den baulichen Brandschutz	81
4.4.2	Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen.....	81
4.4.2.1	PSA und Arbeitskleidung	81
4.4.2.2	Schuhe	81
4.4.2.3	Haus- und Heimtextilien	81
4.4.2.4	Möbel.....	82
4.4.2.5	Matratzen	83
4.4.2.6	Bodenbeläge	83
4.5	Versammlungsstätten	84
4.5.1	Anforderungen an den baulichen Brandschutz	84
4.5.2	Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen.....	85
4.5.2.1	Haus- und Heimtextilien	85
4.5.2.2	Möbel.....	85
4.5.2.3	Ausstattungen, Requisiten und Ausschmückungen	86
4.5.2.4	Matratzen	87
4.5.2.5	Bodenbeläge	87
4.6	Bundeswehr	87
4.7	Polizei und Zoll	89
4.8	Justizvollzugsanstalten	89
4.8.1	Anforderungen an den baulichen Brandschutz	89
4.8.2	Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen.....	90
4.9	Feuerwehr	90
4.10	Brandschutzanforderungen der privaten Wirtschaft	91
4.10.1	Beherbergungsstätten	92
4.11	Resümee	92
5	Prüfverfahren für das Brandverhalten von Produkten	94
5.1	Prüfverfahren für Polstermöbel, Matratzen sowie Haus- und Heimtextilien	94

5.1.1	Klassifizierung des Brandverhaltens von Polsterverbunden und Matratzen	94
5.1.1.1	Bewertung der Entzündbarkeit von Matratzen und Polstermöbeln mit glimmender Zigarette als Zündquelle	96
5.1.1.2	Bewertung der Entzündbarkeit von Polstermöbeln und Matratzen mit einer einem Streichholz vergleichbaren Gasflamme als Zündquelle.....	97
5.1.1.3	Bestimmung des Brennverhaltens mit einem Papierkissen	98
5.1.2	Klassifizierung des Brandverhaltens von Haus- und Heimtextilien.....	99
5.1.2.1	Prüfung der Entflammbarkeit von textilen Flächengebilden.....	100
5.1.2.2	Prüfung des Brennverhaltens von textilen Vorhängen und Gardinen.....	101
5.1.2.3	Prüfung des Brennverhaltens von Bettzeug	103
5.1.3	Klassifizierung der Entflammbarkeit von Möbeln, Haus- und Heimtextilien sowie Matratzen in Großbritannien	105
5.2	Prüfung von brennbaren Werkstoffen	106
5.3	Prüfverfahren für PSA (Schutzbekleidung)	108
5.3.1	Anforderungen an Schutzbekleidung	109
5.3.2	Prüfverfahren für die begrenzte Flammenausbildung	115
5.3.3	Feuerwehrschutzbekleidung	116
5.3.3.1	Feuerwehrjacke und Feuerwehrhose nach DIN EN 469	116
5.3.3.2	Anforderungen an den Feuerwehrhelm nach DIN EN 443	118
5.3.3.3	Kurzbeschreibungen einzelner Normen zum Feuerwehrhelm	119
5.3.3.4	Anforderungen an die Feuerschutzhaube nach DIN EN 13911	121
5.3.3.5	Anforderungen an Feuerweherschuhwerk nach DIN EN 15090.....	121
5.3.3.6	Anforderungen an Feuerwehr-Schutzhandschuhe nach DIN EN 659	122
5.4	Prüfverfahren für Bodenbeläge und andere Bauprodukte.....	123
5.4.1	Baustoffprüfung nach DIN 4102-1.....	123
5.4.2	Baustoffklasse nichtbrennbar (A1 und A2).....	124
5.4.2.1	Nichtbrennbarkeits-/Ofenprüfung	124
5.4.2.2	Brandschachtprüfung.....	125
5.4.2.3	Prüfung der Rauchentwicklung	125
5.4.3	Baustoffklasse schwerentflammbar (B1).....	126
5.4.3.1	Brandschachtprüfung.....	126
5.4.3.2	Bestimmung der Flammenausbreitung bei Beanspruchung mit einem Wärmestrahler	127
5.4.3.3	Brennkastenprüfung für die Baustoffklasse normalentflammbar (B2)	128
5.4.4	Baustoffprüfung nach DIN EN 13501-1	129

5.4.4.1	Nichtbrennbarkeitsprüfung.....	132
5.4.4.2	Bestimmung der Verbrennungswärme	132
5.4.4.3	Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand	133
5.4.4.4	Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung – Einzelflammentest	134
5.4.4.5	Bestimmung des Brandverhaltens bei Beanspruchung mit einem Wärmestrahler....	135
6	Möglichkeiten zur Erfüllung der Brandschutzanforderungen.....	136
6.1	Einleitung	136
6.2	Additive Flammschutzmittel	138
6.2.1	Arbeitsschutzkleidung.....	140
6.2.2	Haus- und Heimtextilien.....	140
6.2.3	Polstermöbel (Stoff)	141
6.2.4	Polstermöbel (Leder).....	142
6.2.5	Matratzenstoffe	143
6.2.6	Schäume (Matratzen und Polster)	143
6.2.7	Teppiche.....	144
6.2.8	Holz und Holzwerkstoffe	145
6.3	Inhärenter Flammschutz	145
6.3.1	Wolle.....	146
6.3.2	Zellulose und Viskose	146
6.3.3	Polyester	146
6.3.4	Polyamide/Aramide	147
6.3.5	Polymelaminfasern	147
6.3.6	Polyetherimide.....	148
6.3.7	Sonstige Faser- und Materialvarianten	148
6.3.8	Tabellarische Zusammenfassung inhärenter Flammschutz.....	148
6.4	Alternativer Flammschutz	149
6.4.1	Arbeitsschutztextilien	150
6.4.2	Haus- und Heimtextilien.....	150
6.4.3	Möbel.....	150
6.4.4	Bodenbeläge	151
6.5	Zusammenfassung	151
7	Bewertung der Flammschutzmittel	153
7.1	Bewertungskriterien.....	154

7.1.1	CLP-Verordnung	154
7.1.2	Weitere Bewertungskriterien.....	157
7.2	Exkurs: Bewertungskriterien nach „GreenScreen“	162
7.2.1	Bestimmung des Benchmarks	163
7.3	Zusammenfassung	173
8	Quellenverzeichnis	175

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Produktgruppen für die Recherche der Brandschutzanforderungen.....	26
Abbildung 2:	Öffentliche Bereiche für die Recherche der Brandschutzanforderungen.	26
Abbildung 3:	Ablaufschema zur Bauplanung.....	54
Abbildung 4:	Aufgabenverteilung bei der Brandschutzsicherung.	57
Abbildung 5:	Übersicht der Gebäudeklassen nach MBO 2019 (NE=Nutzungseinheit).	58
Abbildung 6:	Übliche Bereiche in einer Kindertagesstätte.....	65
Abbildung 7:	Übliche Bereiche eines Krankenhauses.....	76
Abbildung 8:	Übliche Bereiche in Büro- und Verwaltungsgebäuden.....	80
Abbildung 9:	Bereiche einer Versammlungsstätte.	84
Abbildung 10:	Bereiche einer Justizvollzugsanstalt.....	89
Abbildung 11:	Normen zu den Brandschutzanforderungen von Feuerweherschutzbekleidung.	91
Abbildung 12:	Klassifizierung des Brandverhaltens von Polsterverbunden.	95
Abbildung 13:	Bewertung der Entzündbarkeit von Matratzen (-auflagen) und gepolsterten Bett- böden.....	95
Abbildung 14:	Normen zur Prüfung des Brennverhaltens und zur Klassifizierung von Haus- und Heimtextilien.	100
Abbildung 15:	Brennverhalten von Vorhängen und Gardinen: Hauptelemente der Klasseneinteilung nach DIN EN 13773.	103
Abbildung 16:	Normen zu Mindestanforderungen an PSA.	109
Abbildung 17:	Feuerdreieck mit möglichen Angriffspunkten.....	136

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht der Baustoffklassen nach DIN EN 13501-1 für Bodenbeläge.	30
Tabelle 2:	Gebräuchliche additive FSM für die fünf adressierten Produktgruppen.....	31
Tabelle 3:	Mögliche Verwendung inhärent flammgeschützter Materialien nach Produktgruppen.....	33
Tabelle 4:	H-Sätze, die nach den relevanten Vergabekriterien zum Ausschluss aus dem Blauen Engel führen.....	35
Tabelle 5:	Gebräuchliche additive FSM für die fünf adressierten Produktgruppen.....	37
Tabelle 6:	Gebäudeklassen nach MBO 2019.	58
Tabelle 7:	Matrixdarstellung der analysierten Brandschutzanforderungen für verschiedene Produktgruppen in den Bereichen Kindertagesstätten, Schulen und Krankenhäuser.....	62
Tabelle 8:	Matrixdarstellung der analysierten Brandschutzanforderungen für verschiedene Produktgruppen in den Bereichen Büro- und Verwaltungsgebäude, Bundeswehr sowie Justizvollzugsanstalten.....	63
Tabelle 9:	Matrixdarstellung der analysierten Brandschutzanforderungen für verschiedene Produktgruppen in den Bereichen Versammlungsstätten, Feuerwehr sowie Polizei und Zoll.	64

Tabelle 10:	Empfehlungen des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen von Kindertagesstätten mit einer Fläche größer 200 m ² (2014) im Vergleich zu sonstigen Bereichen.	68
Tabelle 11:	Einstufung der Schulräume bezüglich ihrer Brandentstehungsgefahren (in Anlehnung an Lichtenauer 2013).	70
Tabelle 12:	Empfehlungen des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen von Schulen (2014) im Vergleich zu sonstigen Bereichen eines Schulgebäudes.	74
Tabelle 13:	Empfehlungen des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen von Krankenhäusern (2014) im Vergleich zu sonstigen Bereichen eines Krankenhauses.	79
Tabelle 14:	Empfehlungen des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen von Büro- und Verwaltungsgebäuden (2014) im Vergleich zu sonstigen Bereichen.	82
Tabelle 15:	Empfehlungen des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen von Versammlungsstätten (2014) im Vergleich zu sonstigen Bereichen einer Versammlungsstätte.	86
Tabelle 16:	Vergleich der Normen für Brandprüfungen von Textilien und brennbaren Werkstoffen.	88
Tabelle 17:	Klassendefinition für das Brennverhalten von Vorhängen und Gardinen nach DIN EN 13773.	102
Tabelle 18:	Bettzeug – Entzündungskriterien bei glimmender Zigarette und einer kleinen offenen Flamme als Zündquelle.	104
Tabelle 19:	Klassen entsprechend der Beurteilung des Verhaltens von brennbaren Werkstoffen bei der Kantenbeflammung mit einem Brenner nach DIN 53438-2.	107
Tabelle 20:	Klassen entsprechend der Beurteilung des Verhaltens von brennbaren Werkstoffen bei der Flächenbeflammung mit einem Brenner nach DIN 53438-3.	108
Tabelle 21:	Anforderungen an Index 1 der begrenzten Flammenausbreitung	110
Tabelle 22:	Anforderungen an Index 2 der begrenzten Flammenausbreitung	110
Tabelle 23:	Anforderungen an den Index 3 der begrenzten Flammenausbreitung	110
Tabelle 24:	Leistungsanforderungen an die begrenzte Flammenausbreitung bei Prüfung von Proben einlagiger Kleidungsstücke nach ISO 15025, Verfahren A (Codebuchstabe A1).	111
Tabelle 25:	Leistungsanforderungen an die begrenzte Flammenausbreitung bei Prüfung von gesäumten Proben einlagiger Kleidungsstücke nach ISO 15025, Verfahren B (Codebuchstabe A2).	112

Tabelle 26:	Leistungsstufen nach DIN EN ISO 11612 für die Prüfung der konvektiven Wärme.	112
Tabelle 27:	Leistungsstufen nach DIN EN ISO 11612 für die Prüfung der Strahlungswärme. .	113
Tabelle 28:	Leistungsstufen nach DIN EN ISO 11612 für flüssige Aluminiumspritzer.	113
Tabelle 29:	Leistungsstufen nach DIN EN ISO 11612 für flüssige Eisenspritzer.	114
Tabelle 30:	Leistungsstufen nach DIN EN ISO 11612 für Kontaktwärme.	114
Tabelle 31:	Verfahren für die Prüfungen des Wärmedurchgangs (aus DIN EN ISO 11612). ...	114
Tabelle 32:	Anforderungen an den Wärmeübergang von Feuerwehrhosen und -jacken während der Beflammung.	117
Tabelle 33:	Anforderungen an den Wärmeübergang von Feuerwehrhosen und -jacken während der Bestrahlung.	117
Tabelle 34:	Wärmeisolierung: Anforderungen an die Innentemperatur der Schuhe	121
Tabelle 35:	Wärmeisolierung: Anforderungen an die Degradation der Schuhe	122
Tabelle 36:	Übersicht der Baustoffklassen nach DIN 4102-1	124
Tabelle 37:	Übersicht der Baustoffklassen nach DIN EN 13501-1 mit Ausnahme von Bodenbelägen und Rohrisolierungen.....	129
Tabelle 38:	Übersicht der Anforderungen zum Erreichen der Baustoffklasse von Bauprodukten nach DIN EN 13501-1; Bodenbeläge und Rohrisolierungen werden dabei nicht betrachtet	129
Tabelle 39:	Übersicht der Baustoffklassen nach DIN EN 13501-1 für Bodenbeläge	130
Tabelle 40:	Übersicht der Anforderungen zum Erreichen der Baustoffklasse von Bauprodukten nach DIN EN 13501-1 für Bodenbeläge.....	131
Tabelle 41:	Gebräuchliche additive FSM für Arbeitsschutzkleidung.....	140
Tabelle 42:	Gebräuchliche additive FSM für Haus- und Heimtextilien.	141
Tabelle 43:	Gebräuchliche additive FSM für Polstermöbel (Textil).....	142
Tabelle 44:	Gebräuchliche additive FSM für Polstermöbel (Leder).	142
Tabelle 45:	Gebräuchliche additive FSM für Matratzenstoffe.....	143
Tabelle 46:	Gebräuchliche additive FSM für Matratzen- und Polsterschäume.....	143
Tabelle 47:	Gebräuchliche additive FSM für Teppichrückenbeschichtungen.	144
Tabelle 48:	Gebräuchliche additive FSM für Teppichfasern.	144
Tabelle 49:	Gebräuchliche additive FSM für Holz und Holzwerkstoffe.....	145
Tabelle 50:	Mögliche Verwendung inhärent flammgeschützter Materialien nach Produktgruppen.....	149
Tabelle 51:	H-Sätze, die nach den relevanten Vergabekriterien zum Ausschluss aus dem Blauen Engel führen.....	155
Tabelle 52:	Substanzen, die aufgrund ihrer H-Sätze vom Blauen Engel ausgeschlossen sind.	156
Tabelle 53:	Brandfolgeprodukte – Grenzwerte (IMO FTP Code 2010).	160
Tabelle 54:	Bewertungskriterien des GreenScreen (Clean Production Action 2018).....	162
Tabelle 55:	Benchmarks für organische Chemikalien.	163
Tabelle 56:	Benchmark für anorganische Chemikalien.....	165
Tabelle 57:	Persistenz – Grenzwerte und Einstufungen.	167
Tabelle 58:	Bioakkumulation – Grenzwerte.	167
Tabelle 59:	Akute aquatische Toxizität – Grenzwerte und Einstufungen.	168

Tabelle 60:	Chronische aquatische Toxizität – Grenzwerte.	168
Tabelle 61:	Akute Toxizität für Säugetiere – Grenzwerte und Einstufungen.	169
Tabelle 62:	Systemische Toxizität und Organwirkung ST _{single} – Grenzwerte und Einstufungen (Einzelaufnahme).	169
Tabelle 63:	Systemische Toxizität und Organwirkung ST _{single} – Grenzwerte und Einstufungen (Einzelaufnahme – Aspirationsgefahren).	170
Tabelle 64:	Systemische Toxizität und Organwirkung – Grenzwerte und Einstufungen (wiederholte Exposition ST _{repeated}).	170
Tabelle 65:	Neurotoxizität N _{single} – Grenzwerte und Einstufungen (Einzelaufnahme).	171
Tabelle 66:	Neurotoxizität N _{repeated} – Grenzwerte und Einstufungen (wiederholte Exposition).	171
Tabelle 67:	Sensibilisierung der Haut – Grenzwerte und Einstufungen.	171
Tabelle 68:	Sensibilisierung der Atemwege – Grenzwerte und Einstufungen.	172
Tabelle 69:	Hautreizung – Grenzwerte und Einstufungen.	172
Tabelle 70:	Augenreizung – Grenzwerte und Einstufungen.	172
Tabelle 71:	Gebräuchliche additive FSM für die fünf adressierten Produktgruppen.	174

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AA	akute aquatische Toxizität
Abs.	Absatz
AGBF	Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren
AmtsBl.	Amtsblatt
APP	Ammoniumpolyphosphat
ArbStättV	Arbeitsstättenverordnung
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
ASR	Technische Regeln für Arbeitsstätten
AT	akute Toxizität für Säugetiere
ATH	Aluminiumhydroxid
ATO	Antimontrioxid
AVBG BW	Arbeitskreis Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der Feuerwehren von Baden-Württemberg
B	Bioakkumulation; bioakkumulierbar
BAF	Bioakkumulationsfaktor
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BauO NRW	Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen
BayBO	Bayerische Bauordnung
BayRS	Bayerische Rechtssammlung
BbgBauVorIV	Verordnung über Vorlagen und Nachweise in bauaufsichtlichen Verfahren im Land Brandenburg (Brandenburgische Bauvorlagenverordnung)
BbgKPBauV	Brandenburgische Krankenhaus- und Pflegeheim-Bauverordnung
BCF	Biokonzentrationsfaktor
BGW	Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege
BS	Englisch: British Standard; Britische Norm
bspw.	beispielsweise
BVFA	Bundesverband Technischer Brandschutz e. V.

Abkürzung	Bedeutung
BVS	Brandverhütungsschau
bw	Englisch: body weight; Körpergewicht
bzw.	beziehungsweise
C	Karzinogenität
CA	chronische aquatische Toxizität
CAS	Chemical Abstracts Service
CAS-Nr.	Chemical Abstracts Service Registry Number
CLP	Englisch: Regulation on Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures; Einstufung (Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen)
d	Englisch: day; Tag
D	Entwicklungs-(Neuro-)Toxizität
DBDPE	Decabromdiphenylethan
DecaBDE	Decabromdiphenylether
DFV	Deutscher Feuerwehrverband
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DGKH	Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene
d. h.	das heißt
DE-UZ	Deutschland-Umweltzeichen
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMPPA	N-Hydroxymethyl-3-dimethylphosphonpropionamid
DVO-KiTaG	Niedersächsische Verordnung über Mindestanforderungen an Kindertagesstätten
E	Endokrine Wirkung
EC₅₀	mittlere effektive Konzentration, die bei 50 % der exponierten Tiere/Pflanzen/etc. den untersuchten Endpunkt hervorruft
ECHA	Englisch: European Chemicals Agency; Europäische Chemikalienagentur
EFRA	Englisch: European Flame Retardants Association; Europäischer Flammschutz-Gesamtverband

Abkürzung	Bedeutung
EN	Europäische Norm
etc.	et cetera; und so weiter
EPS	Expandiertes Polystyrol
e. V.	eingetragener Verein
F	Brennbarkeit
ff.	folgende (Seiten)
FIGRA	Englisch: Fire Growth Rate; Wärmefreisetzungsrate [W/s]
FSM	Flammschutzmittel
FTIR-Spektroskopie	Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie
FTP Code	Englisch: Fire test procedures code; Kodex für Brandprüfverfahren
Gew.-%	Gewichtsprozent
GHS	Englisch: Globally Harmonized System of Classification, Labelling and Packaging of Chemicals; global harmonisiertes System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien
GHS-Kat.	GHS-Kategorie
GK	Gebäudeklasse
GMBI	Gemeinsames Ministerialblatt
GUV	Gesetzliche Unfallversicherung
GUVV	Gemeindeunfallversicherungsverband
GVBI	Gesetz- und Verordnungsblatt
H	Englisch: high; hoch
HBB	Hexabrombenzol
HBCD	Hexabromcyclododecan
HE-Kita	Handlungsempfehlungen zum vorbeugenden Brandschutz für den Bau und Betrieb von Tageseinrichtungen für Kinder
HI	Englisch: Heat Insulation; Wärmeisolierung
HMPA	Hexamethylphosphoramid
HOTREC	Hotels, Restaurants und Cafés; Europäischer Dachverband des Gaststättenwesens
HPL	High Pressure Laminate

Abkürzung	Bedeutung
HPLC	Englisch: High Performance Liquid Chromatography; Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie
Hrsg.	Herausgeber
H-Sätze	Gefahrenhinweise für Chemikalien (Englisch: hazard)
HuPF	Herstellungs- und Prüfungsbeschreibung für eine universelle Feuerwehrsutzhleidung
HTI	Englisch: Heat Transfer Index; Wärmeübergangsindex
I	Englisch: ignited; entflammt
ICAO	Englisch: International Civil Aviation Organization; Internationale Zivilluftfahrtorganisation
IMO	Englisch: International Maritime Organization; Internationale Seeschiffahrts-Organisation
Inhal.	Inhalation
IrE	Augenreizung
IrS	Hautreizung
ISO	Englisch: International Organization for Standardization; Internationale Organisation für Normung
JVA	Justizvollzugsanstalt
KhBauVO	Krankenhausbauverordnung
KiTaG	Niedersächsisches Gesetz über Tageseinrichtungen für Kinder
KhBauR	Krankenhausbaurichtlinie
KhsVO	Krankenhaus-Verordnung
Ko	Kosten
KOW	Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient
KVB	Kassenärztliche Vereinigung Bayern
L	Englisch: low; gering
LASI	Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik
LBO	Landesbauordnung
LBO BW	Landesbauordnung für Baden-Württemberg

Abkürzung	Bedeutung
LC ₅₀	mittlere Letalkonzentration, die bei 50 % der exponierten Tiere/Pflanzen/etc. den untersuchten Endpunkt hervorruft
LD ₅₀	mittlere Letaldosis, die bei 50 % der exponierten Tiere/Pflanzen/etc. den untersuchten Endpunkt hervorruft
LFS	Englisch: Lateral Flame Spread; seitliche Flammenausbreitung [m]
LOI	Englisch: Limiting Oxygen Index; Sauerstoffindex
M	Englisch: moderate; moderat
MAC	Modacryl
max.	maximal
MBeVO	Muster-Beherbergungsstättenverordnung
MBO	Musterbauordnung
MC	Melamincyanurat
MDH	Magnesiumhydroxid
MHHR	Muster-Hochhaus-Richtlinie
MLAR	Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie
M-LüAR	Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie
MP	Melaminphosphat
MPP	Melaminpolyphosphat
MSchulbauR	Muster-Schulbau-Richtlinie
MV	Mecklenburg-Vorpommern
MVStättVO	Muster-Versammlungsstättenverordnung
N-repeated	Neurotoxizität bei Mehrfachexposition
N-single	Neurotoxizität bei Einfachexposition
NBauO	Niedersächsische Bauordnung
NE	Nutzungseinheit
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level (Dosis ohne beobachtete schädliche Wirkung)
Nr.	Nummer
NRW	Nordrhein-Westfalen
o. g.	oben genannt

Abkürzung	Bedeutung
OctaBDE	Octabromdiphenylether
OECD	Englisch: Organization for Economic Cooperation and Development; Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
OSB	Englisch: oriented Strand Board; Grobspanplatten
P	Persistenz; persistent
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PBB	Polybromierte Biphenyle
PBDD	polybromierte Dibenzodioxine
PBDE	Polybromierte Diphenylether
PBDF	polybromierte Dibenzofurane
PBI	Polybenzimidazole
PBT	persistent, bioakkumulativ, toxisch
PCDD	polychlorierte Dibenzodioxine
PCDF	polychlorierte Dibenzofurane
PCS	Verbrennungswärme einer Substanz
PentaBDE	Pentabromdiphenylether
PET	Polyethylenterephthalat
pinfa	Phosphorus, Inorganic and Nitrogen Flame Retardants Association
PNC	Polymer Nanocomposites
ppm	Englisch: parts per million; Anteile pro Million
PPS	Polyphenylensulfid
PSA	persönliche Schutzausrüstung
PU	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
Q_{PCS}	Brutto-Verbrennungswärme
R	Reproduktionstoxizität
RDP	Resorcinolbisdiphenylphosphat
RHTI	Englisch: Radiant Heat Transfer Index; Wärmeübergangsindex mittels Strahlung
RiSU	Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht

Abkürzung	Bedeutung
RW	Rettungsweg
Rx	Reaktivität
S.	Seite
SBI	Englisch: Single Burning Item; einzelnen brennender Gegenstand
SCCP	Englisch: Short Chain Chlorinated Paraffin; Kurzkettige Chlorparaffine
SMOGRA	Englisch: Smoke Growth Rate; Rauchentwicklungsrate [m^2/s^2]
SnR	Sensibilisierung der Atemwege
SnS	Sensibilisierung der Haut
ST-repeated	systemische Toxizität und Organwirkung bei Mehrfachexposition
ST-single	systemische Toxizität und Organwirkung bei Einfachexposition
T	Toxizität
TBBPA	Tetrabrombisphenol A
TCEP	Tris(2-chlorethyl)phosphat
TCP	Trikresylphosphat
TCPP	Tris(2-chloro-1-methylethyl)phosphat
TDCPP	Tris(1,3-dichlor-isopropyl)phosphat
TEP	Triethylphosphat
tex	Feinheit von textilen Fasern u. a.; Tex ist Einheit und Grundgröße des Tex-Systems (1 tex = 1 Gramm pro 1000 Meter)
THR	Englisch: Total Heat Release; Gesamtwärmefreisetzung
THPC	Tetrakis(Hydroxymethyl)Phosphoniumchlorid
TL	technische Lieferbedingungen
TMP	Trimethylphosphat
TRBA	Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
TSP	Englisch: Total Smoke Production; Gesamte freigesetzte Rauchmenge

Abkürzung	Bedeutung
u. a.	unter anderen, unter anderem
usw.	und so weiter
UVV	Unfallverhütungsvorschriften
VdF	Verband der Feuerwehren
VdS	Verband der Sachversicherer
vH	Englisch: very high; sehr hoch
vL	Englisch: very low; sehr gering
vPvB	sehr persistent, sehr bioakkumulativ
VstättVO M-V	Versammlungsstättenverordnung in Mecklenburg-Vorpommern
z. B.	zum Beispiel
ZNWB	Ehemalige Zentralstelle für Normungsfragen und Wirtschaftlichkeit im Bildungswesen

Zusammenfassung

Bei der Ausstattung von Innenräumen in öffentlichen Gebäuden und der Anschaffung von persönlicher Schutzausrüstung (PSA) fehlen dem Beschaffer oder der Beschafferin häufig aktuelle Informationen über die gesetzlichen Anforderungen an den Brandschutz der einzelnen Produkte. Während es für Baustoffe und Bauteile klare Vorgaben in den jeweiligen Landesbauordnungen gibt, sind die Regelungen hinsichtlich der Innenausstattung weniger eindeutig. Darüber hinaus sind eventuell den Beschaffer*innen die Möglichkeiten zur Erreichung des Brandschutzes nicht bewusst und zudem nicht, welche umweltfreundlicheren Alternativen möglich sind.

Die Ziele dieses Forschungsvorhabens umfassen daher insbesondere die Aufarbeitung der gesetzlichen Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene für die öffentliche Beschaffung relevante Produkte und die Darstellung der Möglichkeiten, diese Brandschutzanforderungen zu erfüllen. Ein weiteres Ziel besteht darin, Beschaffer*innen umweltfreundliche Wege zur Erreichung eines Flammsschutzes vorzuschlagen, damit diese in Ihrer Beschaffungspraxis, wenn möglich, eine umweltfreundliche Alternative im Rahmen des Ausschreibungsprozesses einfordern.

Im vorliegenden Bericht werden daher die gesetzlichen Grundlagen sowie Empfehlungen zu den Brandschutzanforderungen in verschiedenen öffentlichen Bereichen recherchiert und die normierten Prüfverfahren für das Brandverhalten der untersuchten Produkte dargestellt. Zu den Möglichkeiten zur Erfüllung der Brandschutzanforderungen zählen der Einsatz von additivem, inhärentem oder alternativem Flammenschutz, der anhand von Beispielen produktgruppenspezifisch beschrieben wird. Neben umfangreichen Literaturrecherchen wurden verschiedene Fachexpert*innen konsultiert sowie die Zwischenstände in Form von Fachgesprächen vorgestellt und diskutiert.

Für additive Flammenschutzmittel (FSM) wurde außerdem ein Bewertungssystem entwickelt. Dieses basiert zum einen auf den ausgeschlossenen Gefahrenhinweisen (H-Sätzen) bei den Vergabekriterien des Blauen Engel. Zum anderen werden die Kriterien Persistenz, Bioakkumulation, Waschbeständigkeit, Brandfolgeprodukte und Kosten herangezogen, um die verbleibenden FSM weiter zu bewerten.

Brandschutz im öffentlichen Raum im Allgemeinen und für spezifische öffentliche Bereiche

Der Begriff **Brandschutz** umfasst nach dem normativen Brandschutzvokabular (DIN EN ISO 13943) Methoden, die der Eindämmung oder Verhinderung der Ausbreitung von Feuer, Wärme oder Rauch dienen. Hierzu gehören der aktive Brandschutz, d. h. die Erkennung und/oder Bekämpfung des Feuers, sowie der passive Brandschutz, der konstruktive Eigenschaften und/oder die Verwendung angemessener Materialien umfasst. Als **FSM** werden Substanzen bezeichnet, die Materialien zugegeben oder mit denen Materialien behandelt werden, um deren Entflammung zu verzögern oder bestenfalls zu verhindern und/oder die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flammen zu reduzieren (DIN EN ISO 13943 (2018)).

Das Baurecht nach der Musterbauordnung (MBO 2019) gilt für fest verbaute Baustoffe, Bauteile und Bauprodukte und hierauf beziehen sich die für das Bauwesen relevanten Brandschutzanforderungen. Bei den im Rahmen dieser Studie untersuchten Produkten zählen nur die **Bodenbeläge zu den Bauprodukten**. Bei den **Haus- und Heimtextilien** sowie **Möbeln** handelt es sich dagegen um **Ausstattungs- und Einrichtungsgegenstände**, die vornehmlich nicht unter das Baurecht fallen.

Die Anforderungen an den **Brandschutz in Gebäuden** sind in Deutschland durch die MBO (2019) geregelt und in den jeweiligen Landesbauordnungen umgesetzt. Zu den weiteren

Rechtsvorschriften gehören z. B. die Feuerwehr-/Brandschutzgesetze der einzelnen Bundesländer. Die örtliche Feuerwehr und Baubehörde sowie Fachplaner*innen und weitere Brand- und Arbeitsschutzfachleute sind Ansprechpartner, wenn es um den Brandschutz geht. Bezogen auf Gebäude umfasst der Begriff Brandschutz alle Maßnahmen, die der Entstehung und Ausbreitung eines Brandes vorbeugen oder diesen verhüten. Hierbei wird zwischen baulichem, technischem und organisatorischem Brandschutz unterschieden. Zum abwehrenden Brandschutz gehört die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten. Weitere Maßnahmen werden, sofern erforderlich, in Brandschutzkonzepten, Brandschutzordnungen, Brandschutzplänen sowie Feuerwehrplänen definiert.

Die Brandschutzanforderungen der einzelnen Gebäude sind von der Gebäudeklasse abhängig, die nach § 2 Absatz 3 MBO 2019 in fünf Klassen eingestuft werden.

Besonders vor dem Hintergrund der Menschen- und Tierrettung erhöhen sich die Anforderungen an den Brandschutz mit steigender Gebäudeklasse. Die Gebäude, auf die in diesem Bericht näher eingegangen wird, gehören nach MBO (2019) hauptsächlich zur Kategorie der Sonderbauten, die als Anlagen und Räume besonderer Art oder Nutzung beschrieben sind.

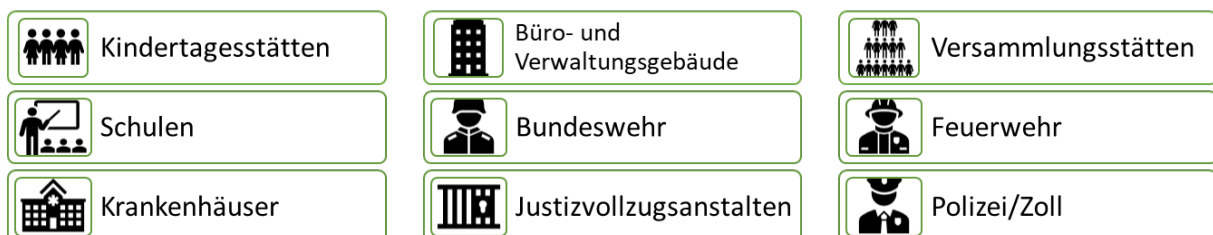
Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführte Recherche zu den Brandschutzanforderungen konzentriert sich auf fünf Produktgruppen (siehe Abbildung 1) in neun verschiedenen öffentlichen Bereichen (siehe Abbildung 2).

Abbildung 1: Produktgruppen für die Recherche der Brandschutzanforderungen.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

Abbildung 2: Öffentliche Bereiche für die Recherche der Brandschutzanforderungen.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

Für alle neun öffentlichen Bereiche wurden die gesetzlichen Grundlagen und Empfehlungen zu den Brandschutzanforderungen dieser fünf Produktgruppen analysiert. Für die Bereiche Feuerwehr sowie Polizei und Zoll waren die Brandschutzanforderungen an die Persönliche Schutzausrüstung (PSA), die Arbeitskleidung und Schuhe von großem Interesse und wurden daher noch zusätzlich recherchiert. Zum Vergleich wurden außerdem die Anforderungen an den baulichen Brandschutz der verschiedenen Bereiche beschrieben.

Anforderungen an den baulichen Brandschutz der einzelnen Bereich

Kindertagesstätten zählen nach MBO und den jeweiligen Landesbauordnungen zu den ungeregelten Sonderbauten, bei denen die Anforderungen durch ein individuelles Brandschutzkonzept festgelegt werden. **Schulen** gehören nach MBO zu den Sonderbauten; zu den baurechtlichen Vorschriften für Schulen zählen außerdem die Landesbauordnungen, die Muster-Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen (Muster-Schulbaurichtlinie – MSchulbauR) sowie im Saarland die Richtlinie über Brandschutz in bestehenden Schulen.

Je nach Bundesland bilden verschiedene Vorschriften und Richtlinien den Rahmen für den baulichen Brandschutz in Krankenhäusern, wobei die Vorgaben zurzeit keinen einheitlichen Stand haben. Nach der MBO gelten **Krankenhäuser** aufgrund ihrer üblichen Gebäudehöhe sowie Anzahl und Größe der Nutzungseinheiten in der Regel als Sonderbauten (MBO 2019 § 2 Abs. 4 Nr. 9, 10). Die Bundesländer Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Saarland, Schleswig-Holstein und Berlin haben Schriften in Bezug auf den Bau und Betrieb von Krankenhäusern herausgegeben.

Für **Büro- und Verwaltungsgebäude** sind die Anforderungen an den baulichen Brandschutz von der Gebäudegröße abhängig und entsprechend in der MBO verzeichnet.

Versammlungsstätten sind nach MBO (2019) als geregelte Sonderbauten eingestuft. Die Anforderungen an deren baulichen Brandschutz sind im Speziellen durch die Muster-Versammlungsstättenverordnung definiert (MVStättVO 2005 §1 Abs. 1).

Die Anforderungen an den baulichen Brandschutz einer **JVA** werden durch die einzelnen Bundesländer im Rahmen der Landesbauordnungen dargelegt. Auf Grund der fehlenden Sonderbauvorschriften ist die JVA nach MBO als nicht geregelter Sonderbau definiert. Dadurch erfolgt eine schutzzielorientierte Betrachtung des Brandschutzes der Anlage in einem Brandschutzkonzept.

Brandschutzanforderungen an die Produktgruppen in den betrachteten öffentlichen Bereichen

Für die untersuchten Produktgruppen (Abbildung 1) bestehen unterschiedliche Anforderungen an den Brandschutz; diese sind abhängig von den jeweiligen Bereichen, in denen sie verwendet werden (Abbildung 2).

Für **PSA, Arbeitskleidung und Schuhe** in Kindertagesstätten und Schulen gibt es, abgesehen von Laborkitteln und Handschuhen für den naturwissenschaftlichen Unterricht, keine besonderen Anforderungen an den Brandschutz. Zu PSA im Krankenhaus hat die Gesetzliche Unfallversicherung (GUV) ein Regelwerk zusammengestellt, wobei nur mit der inzwischen zurückgezogenen DIN EN 533 auf den Brandschutz verwiesen wird. Eine große Rolle spielen dagegen die Brandschutzeigenschaften der Kleidung für die Bereitschaftspolizei, einige Bereiche der Bundeswehr, insbesondere der Luftwaffe und der Marine, sowie für die Feuerwehr. Die Mindestanforderungen an den Brandschutz von Einsatzkleidung der Feuerwehr sind über die Unfallverhütungsvorschriften geregelt und in zahlreichen Normen festgelegt.

Für **Möbel** sowie **Haus- und Heimtextilien** außerhalb der (notwendigen) Flucht- und Rettungswege in Kitas, Schulen, Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie Krankenhäusern konnten keine gesetzlichen Anforderungen an den Brandschutz ausfindig gemacht werden. Flucht- und Rettungswege sind entsprechend der MBO von Brandlasten frei zu halten. In individuellen Brandschutzkonzepten, zum Beispiel für Krankenhäuser oder Verwaltungsgebäude, können höhere Anforderungen an die Ausstattung der Gebäude gestellt werden. Die gesetzlichen Regelungen

für JVA sind Ländersache. Es besteht nur sehr begrenzter Zugang zu Informationen, welche die Anforderungen an den Brandschutz betreffen. In dieser Studie wurde daher nur die Sachlage in Bayern betrachtet. Danach müssen in bayerischen JVAs schwerentflammbare Materialien für Möbel, Haus- und Heimtextilien in den Zellen für die Inhaftierten eingesetzt werden.

In Deutschland bestehen keine gesetzlichen Brandschutzanforderungen an **Matratzen** für Krankenhäuser und Kitas. In bayerischen JVAs sind für Matratzen schwerentflammbare Materialien einzusetzen.

Die Brandschutzanforderungen an die **Ausstattung, Requisiten und Ausschmückungen** von Versammlungsstätten sind in der Muster-Versammlungsstättenverordnung umfassend dargestellt. Ausstattung und Ausschmückungen müssen mindestens schwerentflammbar sein, dagegen besteht an Requisiten nur die Anforderung, dass sie normalentflammbar sein müssen.

Bodenbeläge gelten als Bauprodukte und müssen der Baustoffklasse normalentflammbar nach DIN 4102-1 bzw. DIN EN 13501-1 entsprechen. Nach der MBO müssen Bodenbeläge in notwendigen Treppenträumen etc. aus mindestens schwerentflammbaren Baustoffen bestehen. Einige Landesverordnungen erweitern die Schwerentflammbarkeit der Bodenbeläge in den untersuchten Bereichen auch auf notwendige Flure. In Büro- und Verwaltungsgebäuden richten sich die Brandschutzanforderungen an die Bodenbeläge auch nach der Gebäudeklasse. Hohe Anforderungen an Bodenbeläge stellt die Muster-Versammlungsstättenverordnung; hier wird für notwendige Treppenträume etc. gefordert, dass die Bodenbeläge nichtbrennbar sind und in notwendigen Fluren etc. müssen sie mindestens schwerentflammbar sein.

Letztendlich zeigt die umfassende Recherche, dass bezüglich der Brandschutzanforderungen an die untersuchten Produktgruppen weitaus weniger gesetzliche Regelungen vorliegen, als zu Beginn der Recherche vermutet wurde.

Prüfverfahren für das Brandverhalten von Produkten

Das **Brandverhalten** bezeichnet die Reaktion eines Probekörpers, wenn dieser bei einer Brandprüfung unter festgelegten Bedingungen Feuer ausgesetzt ist (DIN EN ISO 13943). Zum Brandverhalten der in Abbildung 1 aufgeführten Produkte bzw. Produktgruppen gelten die nachstehenden relevanten Prüfverfahren.

► Polsterverbunde (bei Möbeln)

Das Brandverhalten von Polsterverbunden wird nach DIN 66084 (Papierkissentest) geprüft und bewertet. Die Klasse P-a stellt die höchsten Anforderungen an den Brandschutz. Zu den relevanten Normen zählen neben der DIN 66084 die DIN 50050-2 (Großer Brennkasten).

Die Klasse P-b wird über die DIN EN 1021-1 geprüft und nach DIN EN 1021-2 bewertet, die Bewertung der Klasse P-c erfolgt nach DIN EN 1021-1.

► Matratzen

Die Entzündbarkeit von Matratzen, gepolsterten Bettböden oder Matratzenauflagen kann mit dem Prüfverfahren nach DIN EN 597-1 beurteilt werden. Als Zündquelle dient eine glimmende Zigarette; nach DIN EN 597-2 wird der Prüfkörper mit einer einem Streichholz vergleichbaren Gasflamme in Kontakt gebracht.

► Haus- und Heimtextilien

Das Brennverhalten von textilen Flächengebilden wird zum einen mit DIN EN ISO 6941 durch die Messung der Flammenausbreitungseigenschaften vertikal angeordneter Proben geprüft. Zum anderen gibt DIN EN ISO 6940 das Verfahren für die Bestimmung der Entzündbarkeit vertikal angeordneter Proben an.

Die Prüfung des Brennverhaltens **textiler Vorhänge** und **Gardinen** erfolgt nach DIN EN ISO 6940, wobei das Verfahren zur Bestimmung der Entzündbarkeit vertikal angeordneter Textilproben mit kleiner Flamme in DIN EN 1101 beschrieben ist.

Das Verfahren zur Bestimmung der Flammenausbreitungseigenschaften von Textilien für Vorhänge und Gardinen als vertikal angeordnete Proben ist in DIN EN 1102 festgelegt, die Prüfung erfolgt nach DIN EN ISO 6941.

Das Vorgehen zur Messung der Flammenausbreitungseigenschaften vertikal angeordneter textiler Messproben mit großer Zündquelle ist in DIN EN 13772 beschrieben. Bei der Prüfung werden ein elektrischer Strahler sowie eine in DIN EN ISO 6941 definierte kleine Flamme verwendet.

In DIN EN 13773 ist die Klasseneinteilung von Textilien für Vorhänge, Gardinen und Ähnliches, wie Jalousien und textile Wandbehänge, bei denen eine Klassifizierung erforderlich ist, dargestellt.

Die Entzündbarkeit von **Bettzeug** durch eine glimmende Zigarette kann nach DIN EN ISO 12952-1 geprüft werden; die Prüfung mit kleiner offener Flamme ist in DIN EN ISO 12952-2 beschrieben.

- In Deutschland wird auch der **Britische Standard BS 5852** (2006) zur Prüfung und Klassifizierung der Entflammbarkeit von Möbeln, Haus- und Heimtextilien sowie Matratzen herangezogen.
- Die Prüfung von brennbaren Werkstoffen (z. B. Kunststoffe, Holz, Papier) durch das Be-flammen mit einem Brenner ist in DIN 53438 in den Teilen 1 bis 3 geregelt. Für die Prüfungen wird ein Brennkasten nach DIN 50050 verwendet.

► **Persönliche Schutzausrüstung (PSA)**¹

An spezielle Kleidung zum Schutz gegen Hitze und Flammen werden besondere Anforderungen gestellt. Die Mindestanforderungen bei kurzem Kontakt mit einer kleinen Zündflamme sind in DIN EN ISO 14116 beschrieben. Schutzkleidung, die dieser Norm entspricht, muss bei einer Prüfung nach ISO 15025 einen Index der begrenzten Flammenausbreitung von 1, 2 oder 3 erzielen. Schutzkleidung mit Index 3 bietet hiernach den größten Schutz.

DIN EN ISO 11612 beschreibt die Mindestleistungsanforderungen an die Eigenschaften von Schutzkleidung mit einem umfangreichen Einsatzbereich für Endanwendungen, bei denen Kleidung mit begrenzter Flammenausbreitung erforderlich ist und der Träger Strahlungswärme, konvektiver oder Kontaktwärme oder Spritzern geschmolzenen Metalls ausgesetzt ist. Es sind für zahlreiche der in der Norm aufgeführten Gefährdungen jeweils drei Leistungsstufen festgelegt, eine vierte Leistungsstufe betrifft Hochleistungsmaterialien für den Schutz gegen intensive Strahlungswärme.

► **Feuerwehrsutzhleidung**

Die Mindestanforderungen an die Einsatzkleidung der Feuerwehr werden in den folgenden Normen beschrieben:

¹ Persönliche Schutzausrüstung: Ausrüstungen, die getragen werden, um sich gegen Gefährdungen der Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz zu schützen (z. B. Schutzkleidung, Atemschutz, Handschutz, Schnitt- und Stechschutz, Augen- und Gesichtsschutz, Kopfschutz, Gehörschutz) (nach DGUV 2006).

- Feuerwehrjacke und Feuerwehrhose nach DIN EN 469
- Feuerwehrsichthelm nach DIN EN 443
- Feuerschutzhaube nach DIN EN 13911
- Feuerwehrsuhwerk nach DIN EN 15090
- Feuerwehr-Schutzhandschuhe nach DIN EN 659

► Bodenbeläge

Für die Baustoffklassifizierung von Bodenbelägen definiert DIN EN 13501-1 sieben Klassen, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind. Die Kriterien zum Erreichen der jeweiligen Baustoffklasse sind ebenfalls in DIN EN 13501-1 angegeben.

Tabelle 1: Übersicht der Baustoffklassen nach DIN EN 13501-1 für Bodenbeläge.

Baustoffklasse	Benennung	Nachweisverfahren	Prüfnorm
A1 _{fl}	nichtbrennbare Baustoffe	Nichtbrennbarkeitsprüfung Verbrennungswärme	DIN EN ISO 1182 DIN EN ISO 1716
A2 _{fl}	nichtbrennbare Baustoffe	Nichtbrennbarkeitsprüfung Verbrennungswärme Beanspruchung Wärmestrahler	DIN EN ISO 1182 DIN EN ISO 1716 DIN EN ISO 9239-1
B _{fl}	schwerentflammbare Baustoffe	Beanspruchung Wärmestrahler Einzelflammentest	DIN EN ISO 9239-1 DIN EN ISO 11925-2
C _{fl}	schwerentflammbare Baustoffe	Beanspruchung Wärmestrahler Einzelflammentest	DIN EN ISO 9239-1 DIN EN ISO 11925-2
D _{fl}	normalentflammbare Baustoffe	Beanspruchung Wärmestrahler Einzelflammentest	DIN EN ISO 9239-1 DIN EN ISO 11925-2
E _{fl}	normalentflammbare Baustoffe	Einzelflammentest	DIN EN ISO 11925-2
F _{fl}	leichtentflammbare Baustoffe	Keines	

Möglichkeiten zur Erfüllung der Brandschutzanforderungen

Um die Anforderungen an den Brandschutz zu erfüllen, kann es notwendig sein, die eingesetzten Materialien mit FSM zu ertüchtigen. Um die Entflammbarkeit von Produkten zu verringern, können drei Vorgehensweisen zum Einsatz kommen: additiver Flammschutz, inhärenter Flamm-
schutz und alternativer Flammschutz (d. h. Einsatz von Materialien, die bereits schwer ent-
flammbar oder nicht brennbar sind).

- **Additiver Flammschutz:** FSM werden als Zusatzstoffe in brennbare Materialien eingearbei-
tet (mit dem Material gemischt) oder als FSM-Beschichtung (Coating) von außen auf das Ma-
terial aufgebracht. Zu den hier betrachteten FSM gehören die halogenierten, anorganisch
phosphorbasierten, organisch phosphorbasierten, stickstoffhaltigen, sonstigen anorgani-
schen und sonstigen FSM. Diese werden in den hier betrachteten fünf Produkten (Abbildung
1) unterschiedlich eingesetzt. Flammschutzlösungen, die nach REACH-VO (Nr. 1907/2006)

oder EU-POP-VO ((EU) 2019/1021) verboten sind, wurden nicht betrachtet. Insgesamt wurden 31 FSM identifiziert, die bei den untersuchten Produktgruppen zum Einsatz kommen.

Bei den **Arbeitsschutztextilien** sind gebräuchliche additive FSM die der Gruppe der organischen phosphorbasierten FSM. Bei den **Haus- und Heimtextilien** sowie den **Teppichen** kommen eine Vielzahl an FSM aus allen sechs Kategorien zum Einsatz. Ähnlich verhält es sich bei den **textilen Polstermöbeln**, den **Matratzen- und Polsterschäumen** (hier sind FSM aus fünf Kategorien gebräuchlich). Bei den **Polstermöbeln aus Leder**, den **Matratzenstoffen** und den **Teppichfasern** kommen abgesehen von den halogenierten FSM und den „Sonstigen“ alle weiteren vier Kategorien zur Anwendung. Bei **Holz- und Holzwerkstoffen** sind FSM aus den Kategorien anorganische phosphorbasierte FSM, stickstoffhaltige FSM und sonstige anorganische FSM typisch.

Nachstehende Tabelle 2 zeigt die sechs Gruppen an FSM, die einzelnen FSM sowie welches FSM für welche Produktgruppe von Relevanz ist.

Tabelle 2: Gebräuchliche additive FSM für die fünf adressierten Produktgruppen.

FSM Gruppe	FSM	Verwendet in Produktgruppe				
		PSA	Haus- und Heimtextilien	Möbel	Matratzen	Bodenbeläge
Halogeniert organisch	Decabromdiphenylethan (DBDPE)		x	x		x
	Tetrabrombisphenol A (TBBPA)			x		
	Tris(2-chloro-1-methylethyl)-phosphat (TCPP)			x	x	
	Tris(1,3-dichlorisopropyl)-phosphat (TDCPP)			x	x	
anorganische phosphorba- siert	Ammoniumpolyphosphat (APP)		x	x	x	x
	Ammoniumphosphat			x		
	Diammoniumhydrogenphosphat		x	x		x
	Roter Phosphor		x	x	x	x
organische phosphorba- siert	Methylphosphonsäure		x	x	x	x
	Mischung cyclischer Phosphonate		x	x	x	x
	Resorcinolbisdiphenylphosphat (RDP)		x	x	x	x
	N-Hydroxymethyl-3-dimethylphosphonpropionamid (DMPPA)	x	x	x	x	x
	Tetrakis(hydroxymethyl)-phosphoniumchlorid (THPC)	x	x	x	x	

FSM Gruppe	FSM	Verwendet in Produktgruppe				
		PSA	Haus- und	Möbel	Matratzen	Bodenbeläge
stickstoffhaltig	Trikresylphosphat (TCP)		x	x		x
	Triethylphosphat (TEP)				x	x
	Melamin		x	x		x
	Melamincyanurat (MC)		x	x	x	x
	Melaminphosphat (MP)		x	x	x	x
	Melaminpolyphosphat (MPP)			x	x	x
	Thioharnstoff		x			x
sonstige anorganische	Ammoniumbromid		x	x		
	Aluminiumhydroxid (ATH)		x	x	x	x
	Ammoniumsulfat		x	x	x	
	Ammoniumsulfamat		x	x	x	x
	Antimontrioxid (ATO)		x	x		x
	Dikaliumhexafluorotitanat		x			x
	Dinatriumtetraborat Decahydrat (Borax)			x		
	Expandierbarer Graphit (Blähgraphit)		x	x	x	x
	Kaliumhexafluorzirkonat			x		
	Magnesiumhydroxid (MDH)			x	x	x
sonstige	Zirkoniumacetat					x

- **Inhärenter Flammschutz:** Stoffe, in diesem Fall Fasern, erhalten durch chemische Reaktion mit einem FSM oder durch eine inhärent flammhemmende Polymerstruktur eine permanent flammhemmende Eigenschaft, wodurch das daraus hergestellte Material flammwidrig wird. Folgende Materialien werden näher betrachtet und die mögliche Verwendung in den verschiedenen Produktgruppen aufgezeigt: Wolle, Zellulose und Viskose, Polyester, Polyamide/Aramide, Polymelaminfasern, Polyetherimide, sonstige Faser- und Materialvarianten. Es zeigt sich, dass insbesondere im Bereich der **Arbeitsschutzkleidung** fast alle dieser recherchierten inhärenten Fasern zum Einsatz kommen. Nahezu jede zweite inhärente Faser kommt auch bei den **Haus- und Heimtextilien**, den **Polstermöbeln aus Stoff** und den **Matratzenstoffen** in Anwendung. Bei den **Schäumen für die Matratzen** und für die **Polstermöbel** sowie bei den **Teppichen** kommen hingegen nur selten inhärent flammgeschützte

Materialien zum Einsatz. Nachstehende Tabelle 3 zeigt die produktgruppenspezifischen inhärent flammgeschützten Materialien.

Tabelle 3: Mögliche Verwendung inhärent flammgeschützter Materialien nach Produktgruppen.

Material	Produkte oder Produkt-namen	Produktgruppe					
		Arbeitsschutzkleidung	Haus- und Heimtextilien	Polstermöbel (Stoff)	Matratzenstoffe	Schäume (Matratzen und Polster)	Teppiche
Wolle	-		x	x	x		x
Zellulose und Viskose	Visil®				x ²		
	Lenzing™FR	x		x	x	x	
Polyester	Trevira CS		x	x	x		
	Zeroxy™	x	x	x			
Polyamide/Aramide	Nomex®	x					
	Twaron®	x					
	Kevlar®	x					
	Kermel®	x					
Polymelaminfasern	Basofil®	x		x	x		
Polyetherimide	Ultem™ 9011	x	x	x	x		
sonstige	Modacryl-Fasern (MAC)	x	x				x
	PyroTex®	x		x ³			
	Diofort®		x	x			
	Proban®	x	x	x	x		
	Melaminharzschaum					x	

- **Alternativer Flammschutz:** Hierzu gehören Materialien und Produkte, deren Flammschutz auch ohne den Einsatz von FSM gewährleistet ist, indem diese beispielsweise nichtbrennbar sind, z. B. Gips- und Betonwerkstoffe sowie durch Verwendung von Glas- oder Basaltfasern. Die mögliche Anwendung des alternativen Flammschutzes wurde für die Produktgruppen

² z. B. als Ummantelung von Matratzen (siehe z. B. <https://patents.google.com/patent/US7484256B2/en>).

³ Verwendung für Sitze z. B. in Bahn, Flugzeug, Kino, Theater.

Arbeitsschutztextilien, Haus- und Heimtextilien, Möbel, Matratzen und Bodenbeläge betrachtet. So können für die Erzeugung feuerfester Gewebe und im Bereich der **Arbeitsschutztextilien** Basaltfasern zum Einsatz kommen. Nichtbrennbare Glasfilamente, Glasgewebe und Basaltfasern werden für die Herstellung von **Haus- und Heimtextilien** eingesetzt. Vielfältige Möglichkeiten bzgl. des alternativen Flammsschutzes ist auch im Bereich der **Möbel** zu finden: so gibt es beispielsweise Betonmöbel, Gipsfaserplatten (als Trägermaterial) oder auch Untergestelle bzw. Unterkonstruktionen aus nicht brennbaren Metallen. Bei den **Polstermöbeln** lassen sich die schon bei den Haus- und Heimtextilien erwähnten Glasfasern ergänzen. Bei **Laminat** könnte ein nichtbrennbares Material, z. B. eine Glasfasermatte, eingesetzt werden.

Die Auswahl des geeigneten Verfahrens ist immer abhängig vom Einsatzbereich der Materialien und den verfahrensabhängigen Kosten. Beim additiven Flammsschutz besteht in der Regel die Gefahr, dass die FSM während der Reinigungsvorgänge ausgewaschen werden. Diese Gefahr besteht bei der Arbeitsschutzkleidung und bei einigen Haus- und Heimtextilien. Daher werden hier in der Regel inhärente FSM oder alternative Flammsschutzlösungen eingesetzt. Zusammenfassend ist zu erwähnen, dass es keine Lösung gibt, die bei allen Materialien angewendet werden kann, sondern jede Flammsschutzlösung für einen speziellen Anwendungsbereich entwickelt wurde.

Bewertung von additiven Flammschutzmitteln

Für die Bewertung der identifizierten 31 additiven FSM wird ein Bewertungssystem entwickelt. Die Bewertung der FSM erfolgt zunächst anhand der ausgeschlossenen Gefahrenhinweise (H-Sätzen) nach CLP-Verordnung in allen hier relevanten Produktgruppen des Blauen Engel (siehe Tabelle 4). Die relevanten Produktgruppen sind Emissionsarme plattenförmige Werkstoffe (Bau- und Möbelplatten) für den Innenausbau (DE-UZ 76 (2016)), Emissionsarme Polstermöbel (DE-UZ 117 (2018)), Matratzen (DE-UZ 119 (2018)), Elastische Bodenbeläge (DE-UZ 120 (2011)), Emissionsarme textile Bodenbeläge (DE-UZ 128 (2016)), Leder (DE-UZ 148 (2015)), Textilien (DE-UZ 154 (2017)) und Schuhe (DE-UZ 155 (2018))⁴. Darüber hinaus können in den vorgenannten Produktgruppen einzelne weitere H-Sätze zum Stoffausschluss führen.

Die Einstufung eines Stoffes oder eines Gemisches ist in der CLP-Verordnung (2021) geregelt, mit der ein hohes Schutzniveau für die menschliche Gesundheit und für die Umwelt sowie den freien Verkehr von Stoffen, Gemischen und Erzeugnissen gewährleistet wird. Mit dieser europäischen Verordnung erfolgt eine Harmonisierung der Kriterien zur Einstufung von Stoffen und Gemischen sowie der Vorschriften für die Kennzeichnung und Verpackung gefährlicher Stoffe und Gemische. Dort ist auch geregelt, mit welchen H-Sätzen ein Stoff oder Gemisch gekennzeichnet werden muss. Zur Vereinfachung der Bewertung werden alle Substanzen, die H-Sätze aufweisen, die in den hier relevanten Vergabekriterien des Blauen Engel unzulässig sind, von der Bewertung ausgeschlossen.

⁴ Siehe auch <https://www.blauer-engel.de/de/fuer-unternehmen/vergabekriterien>.

Tabelle 4: H-Sätze, die nach den relevanten Vergabekriterien⁵ zum Ausschluss aus dem Blauen Engel führen.

H-Satz	Bedeutung
H300	Lebensgefahr bei Verschlucken
H301	Giftig bei Verschlucken
H310	Lebensgefahr bei Hautkontakt
H311	Giftig bei Hautkontakt
H330	Lebensgefahr bei Einatmen
H331	Giftig bei Einatmen
H340	Kann genetische Defekte verursachen
H350	Kann Krebs erzeugen
H350i	Kann bei Einatmen Krebs erzeugen
H360D	Kann das Kind im Mutterleib schädigen
H360Df	Kann das Kind im Mutterleib schädigen; Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen
H360F	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen
H360FD	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen
H360Fd	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen
H370	Schädigt die Organe
H372	Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition

Dabei werden 14 FSM identifiziert, die in den untersuchten Produkten bzw. Produktgruppen eingesetzt werden dürfen. Hierbei handelt es sich um:

- ▶ Ammoniumphosphat (CAS-Nr.: 10124-31-9)
- ▶ Ammoniumpolyphosphat (CAS-Nr.: 68333-79-9)
- ▶ Melaminphosphat (Cas-Nr.: 41583-09-9)
- ▶ Melaminpolyphosphat (CAS-Nr.: 218768-84-4)
- ▶ Ammoniumsulfamat (CAS-Nr.: 13765-36-1)

⁵ DE-UZ 76 (2016): Emissionsarme plattenförmige Werkstoffe (Bau- und Möbelplatten) für den Innenausbau, DE-UZ 117 (2018): Emissionsarme Polstermöbel, DE-UZ 119 (2018): Matratzen, DE-UZ 120 (2011): Elastische Bodenbeläge, DE-UZ 128 (2016): Emissionsarme textile Bodenbeläge, DE-UZ 148 (2015): Leder, DE-UZ 154 (2017): Textilien, DE-UZ 155 (2018): Schuhe (siehe auch <https://www.blauer-engel.de/de/fuer-unternehmen/vergabekriterien>).

- ▶ Expandierbarer Graphit (CAS-Nr.: 12777-87-6)
- ▶ Expandierbarer Graphit (CAS-Nr.: 90387-90-9)
- ▶ Zirkoniumacetat (CAS-Nr.: 7585-20-8)
- ▶ Tetrabrombisphenol A (TBBPA; CAS-Nr.: 79-94-7) in Polstermöbeln
- ▶ Decabromdiphenylethan (DBDPE; CAS-Nr.: 79-94-7) in Polstermöbeln und in der Teppichrückenbeschichtung
- ▶ Resorcinolbisdiphenylphosphat (RDP; CAS-Nr.: 57583-54-7) in Polstermöbeln, Matratzen und textilen Fußböden
- ▶ Melamincyanurat (MC; CAS-Nr.: 37640-57-6) in Fußböden und Textilien
- ▶ Aluminiumhydroxid (ATH; CAS-Nr.: 21645-51-2) in textilen Fußböden
- ▶ Ammoniumbromid (CAS-Nr.: 12124-97-9) in Textilien

Für eine weitere Bewertung dieser weiter zu untersuchenden 14 FSM wurden folgende Bewertungskriterien herangezogen:

- ▶ Persistenz, d. h. die Zeitspanne, die eine Chemikalie in der Umwelt existieren kann, bevor diese Substanz durch natürliche Prozesse zerstört (d. h. umgewandelt) wird (US EPA 2011).
- ▶ Bioakkumulation, d. h. das Potential eines Stoffs oder bestimmter Stoffe eines Gemischs, sich in der belebten Umwelt anzureichern und somit in der Nahrungskette aufzusteigen (BG BAU 2021).
- ▶ Waschbeständigkeit von additiven FSM: Einteilung in nicht-dauerhaft (d. h. FSM weist keine Waschbeständigkeit auf), semi-dauerhaft (d. h. FSM kann eine begrenzte Anzahl an Waschzyklen überstehen) und dauerhaft (FSM übersteht mindestens 50 Waschzyklen mit kochendem Wasser).
- ▶ Brandfolgeprodukte: infolge der thermischen Zersetzung der brennenden Materialien können giftige bzw. reizende Gase oder Dämpfe, wie z. B. Kohlenmonoxid, Halogenwasserstoffe (Chlor-, Flur- oder Bromwasserstoff), Acrolein, Schwefeldioxid, Stickoxide und Cyanwasserstoff (kondensiert: Blausäure) entstehen.
- ▶ Kosten zur notwendigen Beschaffung von Produkten mit Flammschutz (z. B. pro Gewichtseinheit, pro Flächeneinheit).

Diese Kriterien wurden ausgewählt, da sie wichtige Aspekte für den Einsatzbereich der Produkte darstellen. Mittels der Waschbeständigkeit, die nur für Materialien betrachtet werden soll, die auch gewaschen werden, werden beispielsweise Erkenntnisse über die Lebensdauer und die Umweltbelastung erhalten. Die Brandfolgeprodukte geben eine Auskunft zu den Gefahren im Brandfall. Die Kosten sind von Relevanz, um bestimmte Budgets bei der Beschaffung einzuplanen. Im Falle von Bioakkumulation und Persistenz werden die Aspekte der Abbaubarkeit sowie der Anreicherung der Substanzen in der Umwelt betrachtet. Beides ist zu vermeiden.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die FSM TBBPA und DBDPE die Anforderungen an die Bioakkumulation und die Persistenz nicht erfüllen und ebenfalls auszuschließen sind; die FSM Melaminphosphat und Melamincyanurat erfüllen nicht die Anforderungen an die Persistenz und sind aus diesem Grund nicht geeignet. Die verbleibenden 10 FSM sind nicht

waschbeständig und können daher nicht in Produkten eingesetzt werden, die gereinigt werden müssen, so z. B. die Textilien, aber auch viele Produkte aus dem Bereich der Haus- und Heimtextilien und der Matratzenbezüge. Anders ist dies beispielsweise für die mit einem festen Bezug versehenen Polster: diese müssen nicht waschbeständig sein und könnten, sofern die rechtlichen Anforderungen an das Brandverhalten vorhanden sind, damit ausgerüstet werden. Basierend darauf sind, wenn nicht anders realisierbar, diese 10 FSM für Produkte, die nicht gewaschen werden müssen, Beschaffer*innen zu empfehlen. Mögliche Einsatzgebiete sind Schuhe, Möbel und Bodenbeläge sowie Haus- und Heimtextilien, die nicht gewaschen werden.

Die Bewertungskriterien Brandfolgeprodukte sowie die Kosten konnten nicht als aussagekräftige Bewertungskriterien herangezogen werden. Die Ursache beim Bewertungskriterium Brandfolgeprodukte liegt darin, dass diese nicht für ein FSM verallgemeinert werden können, sondern immer vom eigentlichen Textil, welches brandschutztechnisch ertüchtigt werden muss, abhängig sind. Für das Kriterium Kosten wurde versucht, verschiedene Kosten zu recherchieren. Es wurde jedoch deutlich, dass ohne sehr spezifischen Bezug zum konkreten (potentiellen) Auftragsgegenstand ein Kostenvergleich nicht zielführend ist, da die Varianz der Kosten so hoch ist, dass keine Empfehlung daraus abgeleitet werden kann.

Weitere FSM können in der Zukunft dazukommen, sofern diese die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Kriterien erfüllen.

Für Beschaffer*innen ist zu empfehlen, zunächst zu hinterfragen, ob ein Brandschutz für die zu beschaffenden Produkte überhaupt notwendig ist. Dann ist zu prüfen, ob ein Brandschutz über inhärenten Flammschutz oder über einen alternativen Flammschutz zu realisieren ist. Zuletzt ist der Einsatz von FSM zu prüfen. Hierbei sollten, wenn erforderlich und notwendig, die 10 hier aufgeführten FSM ausgewählt werden (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Gebräuchliche additive FSM für die fünf adressierten Produktgruppen.

FSM Gruppe	FSM	Verwendet in Produktgruppe				
		PSA	Haus- und Heimtextilien	Möbel	Matratzen	Bodenbeläge
anorganische phosphor-basiert	Ammoniumpolyphosphat (APP)		x	x	x	x
	Ammoniumphosphat			x		
organische phosphorba-siert	Resorcinolbisdiphenylphosphat (RDP)		x	x	x	x
stickstoffhaltig	Melaminpolyphosphat (MPP)		x	x	x	x
sonstige anorganische	Ammoniumbromid		x	x		
	Aluminiumhydroxid (ATH)		x	x	x	x
	Ammoniumsulfamat		x	x	x	x
	Expandierbarer Graphit (Blähgraphit) ⁶		x	x	x	x
sonstige	Zirkoniumacetat					x

⁶ Expandierbarer Graphit mit den CAS-Nr.: 12777-87-6 und 90387-90-9

Summary

When equipping inside spaces of public buildings and procuring personal protective equipment (PPE), purchasers often lack current information about the legal requirements for the fire protection of individual products. Whereas there are clear specifications for building materials and building elements in the various regional building codes, the regulations for interior fittings are not so straightforward. In addition, purchasers might not be aware of the means of achieving fire protection, and might not know which more environmentally friendly alternatives are available.

The goals of this research project therefore particularly include a review of the legal fire protection requirements for various products relevant for public procurement and a presentation of the possible ways of meeting these fire protection requirements. We aim to propose environmentally friendly ways for purchasers to achieve flame retardancy so that they can, where possible, request an environmentally friendly alternative as part of the tender process during procurement.

This report therefore looks at the legal bases and recommendations for fire protection requirements in the various public sector areas and presents the standardised test methods for the fire behaviour of the investigated products. The possibilities for meeting fire protection requirements include the use of additive, inherent, or alternative flame retardancy. These options are described in a product-group-specific way using examples. In addition to extensive literature research, various experts were consulted and the preliminary results were presented and debated in technical discussions.

For additive flame retardants (FRs), a rating system was also developed. On the one hand, this is based on the excluded hazard codes in the Blue Angel award criteria. On the other hand, the criteria of persistence, bioaccumulation, wash resistance, combustion products, and costs are used to further assess the remaining FRs.

Fire protection in the public sector in general and for specific public sector areas

According to the standardised vocabulary (DIN EN ISO 13943), the term fire protection encompasses methods used to reduce or prevent the spread and effects of fire, heat, or smoke. This includes active fire protection, so the detection and/or suppression of fire, and passive fire protection, which refers to design features and/or appropriate use of materials. Flame retardants (FRs) are substances added, or treatments applied, to a material in order to suppress or delay the appearance of a flame and/or reduce the flame spread rate (DIN EN ISO 13943 (2018)). Building law as per the German Standard Building Regulations (MBO 2019) applies for permanently installed building materials, building elements, and construction products, and the fire protection requirements that are relevant for construction refer to this. Of the products investigated as part of this study, only floorings are considered to be construction products. House and home textiles and furniture are interior fittings and furnishings, which do not fall under building law.

In Germany, fire protection requirements in buildings are governed by the MBO (2019), supplemented by the various regional building codes. Further provisions include the fire brigade/fire protection laws of the individual federal states. The local fire brigade and building authorities along with specialist planners and other fire and occupational safety experts act as contact partners for matters pertaining to fire protection. In relation to buildings, fire protection means all measures that prevent or impede incipient fire and fire spread. A distinction is made between structural, technical, and organisational fire protection. Defensive fire protection includes rescuing people and animals as well as effective firefighting. If necessary, further measures are defined in fire protection concepts, fire protection regulations, fire control plans, and fire brigade

plans.

The fire protection requirements of a particular building depend on the building class. The five building classes are defined in Art. 2 Para. 3 of MBO 2019.

Particularly with regard to rescuing people and animals, requirements for fire protection increase as the building class increases. The buildings investigated in more detail in this report mainly belong, according to the MBO (2019), to the category of "Special buildings", which are described as facilities and spaces with a special type or usage.

The fire protection requirements research performed as part of this research project focuses on five product groups (see Figure 1) in nine different public sector areas (see Figure 2).

Figure 1: Product groups for fire protection requirements research.



Source: own work, Fraunhofer WKI.

Figure 2: Public sector areas for fire protection requirements research.



Source: own work, Fraunhofer WKI.

For all nine public sector areas, the legal bases and recommendations for fire protection requirements for these five product groups were analysed. For the areas "Fire brigade" and "Police and customs", the fire protection requirements for personal protective equipment (PPE), protective work clothing, and shoes were extremely important, and therefore these were investigated in more detail.

To enable a comparison, the requirements for the structural fire protection of the various areas are also described.

Requirements for structural fire protection of the individual areas

According to the German Standard Building Regulations (MBO) and various regional building codes, day care centres are unregulated special buildings for which requirements are defined by means of an individual fire protection concept. According to the MBO, **schools** are special build-

ings; building legislation for schools includes the regional building codes, the Standard Guidelines for Building Approval Requirements for Schools (Standard School Guidelines – MSchulbauR), and, in Saarland, the Directive for Fire Protection in Existing Schools.

There are different rules and regulations for structural fire protection in **hospitals** depending on the federal state, and the provisions are not uniform at present. According to the German Standard Building Regulations, hospitals are generally considered to be special buildings due to their usual height and the number and size of the utilisation units (Art. 2 Para. 4 No. 9, 10 of MBO 2019). The federal states of Brandenburg, Mecklenburg-Western Pomerania, Saarland, Schleswig-Holstein, and Berlin have published information relating to the construction and operation of hospitals.

For **office and administrative buildings**, the requirements for structural fire protection depend on the size of the building, as defined in the MBO.

The MBO (2019) classifies **places of assembly** as regulated special buildings. In particular, their structural fire protection requirements are defined by the Standard Venue Regulations (Art. 1 Para. 1 of MVStättVO 2005).

The requirements for the structural fire protection of **correctional facilities** are stipulated by the individual federal states in their regional building codes. Due to the lack of special building regulations, correctional facilities are defined as unregulated special buildings by the MBO. This means that the fire protection of the facility must be considered in a fire protection concept with a view to ensuring adequate protection.

Fire protection requirements for the product groups in the investigated public sector areas

There are different fire protection requirements for the investigated product groups (Figure 1); these depend on the areas in which they are used (Figure 2).

For **PPE, protective work clothing**, and **shoes** in child care centres and schools, there are no special fire protection requirements except for lab coats and footwear for science lessons. The Association of Occupational Accident Insurance Funds (GUV) has compiled a set of guidelines for PPE in hospitals, but fire protection is dealt with only through reference to DIN EN 533, which has since been withdrawn. In contrast, fire protection properties play a major role when it comes to clothing for riot police, certain parts of the armed forces (in particular the air force and navy), and the fire brigade. The minimum fire protection requirements for uniforms for firefighters are governed by the accident prevention regulations and are defined in numerous standards.

We were not able to find any legal fire safety requirements for **furniture** and **house and home textiles** in day care centres, schools, office and administrative buildings, and hospitals outside the (required) escape and rescue routes. Escape and rescue routes must be kept free from fire loads in accordance with the MBO. More stringent requirements may be placed upon building equipment in individual fire protection concepts for hospitals and administrative buildings, for example. The legal provisions for correctional facilities are the responsibility of the individual federal states. There is only extremely restricted access to information relating to fire protection requirements. Thus, only the state of affairs in Bavaria was investigated in this study. In Bavarian correctional facilities, flame-retardant materials must be used for furniture and house and home textiles in the cells of inmates.

There are no legal fire protection requirements in Germany for **mattresses** in hospitals or child care centres. Materials that are flame-retardant are to be used for mattresses in Bavarian correctional facilities.

The fire protection requirements upon equipment, props, and decorations in places of assembly are described comprehensively in the Standard Venue Regulations. Equipment and decorations

must at least be flame-retardant; in contrast, for props there is merely a requirement that they be normally flammable.

Floorings are classified as building materials and must meet the requirements of the "Normally flammable" building material class as per DIN 4102-1 or DIN EN 13501-1. According to the MBO, floorings in required stairwells etc. must be made from at least building materials that are flame-retardant. Some regional building codes extend the requirement that floorings be flame-retardant to required hallways in the investigated areas. In office and administrative buildings, the fire protection requirements for floorings also depend on the building class. The Standard Venue Regulations place more stringent requirements upon floorings; in this case, floorings in required stairwells etc. must be non-combustible and, in required hallways etc., they must be at least flame-retardant.

Finally, extensive research shows that there are far fewer legal regulations relating to fire protection requirements for the investigated product groups than was assumed at the start of the research.

Test methods for product fire behaviour

"Fire behaviour" is defined as the response of a test specimen when it is exposed to fire under specified conditions in a fire test (DIN EN ISO 13943). The relevant test methods below apply to the fire behaviour of the products or product groups listed in Figure 2.

► Upholstered composites (for furniture)

The fire behaviour of upholstered composites is tested and assessed as per DIN 66084 (paper cushion test). Class P-a imposes the strictest fire protection requirements. As well as DIN 66084, another relevant standard is DIN 50050-2 (large burning cabinet). Class P-b is tested as per DIN EN 1021-1 and assessed as per DIN EN 1021-2; the assessment for Class P-c takes place in accordance with DIN EN 1021-1.

► Mattresses

The ignitability of mattresses, upholstered bed bases, and mattress pads can be assessed with the test method from DIN EN 597-1. The source of ignition is a smouldering cigarette; in accordance with DIN EN 597-2, the test specimen is brought into contact with a gas flame that is comparable to a match.

► House and home textiles

The burning behaviour of textile surfaces is tested on the one hand with DIN EN ISO 6941 through the measurement of the flame spread properties of vertically arranged samples. On the other hand, DIN EN ISO 6940 specifies the method for the determination of the ignitability of vertically arranged samples.

The burning behaviour of **textile curtains** and **drapes** is assessed as per DIN EN ISO 6940, with the method for determining the ignitability of vertically arranged textile samples with a small flame being described in DIN EN 1101.

The method for determining the flame spread properties of textiles for curtains and drapes as vertically arranged samples is defined in DIN EN 1102; the test takes place as per DIN EN ISO 6941.

The method for measuring the flame spread properties of vertically arranged textile test samples with a large ignition source is described in DIN EN 13772. During the test, an electric radiator and a small flame as defined in EN ISO 6941 are used.

DIN EN 13773 defines the classification of textiles for curtains, drapes, and similar, such as blinds and textile wall hangings, for which a classification is required.

The ignitability of **bedding** by a smouldering cigarette can be tested in accordance with DIN EN ISO 12952-1; the test with a small open flame is described in DIN EN ISO 12952-2.

- In Germany, the **British Standard BS 5852** (2006) is also used to test and classify the inflammability of furniture, house and home textiles, and mattresses.
- The testing of flammable materials such as plastic, wood, and paper through exposure to the flame of a burner is governed by DIN 53438 Parts 1 to 3. A burning cabinet as per DIN 50050 is used for the tests.

► Personal protective equipment (PPE)⁷

Special requirements are placed upon special clothing to protect against heat and flames.

The minimum requirements for brief contact with a small ignition flame are described in DIN EN ISO 14116. Protective clothing as per this standard must achieve limited flame spread index 1, 2, or 3 in accordance with a test as defined in ISO 15025. Protective clothing with index 3 offers the best protection.

DIN EN ISO 11612 describes the minimum performance requirements for the properties of protective clothing with an extensive range of use for end applications in which clothing with limited flame spread is required and in which the wearer is exposed to radiant heat, convective or contact heat, or splashes of molten metal. For many of the hazards listed in the standard, three performance levels are defined; there is also a fourth performance level for high-performance materials for protection against intense radiated heat.

► Protective clothing for the fire brigade

The minimum requirements for fire brigade uniforms are described in the following standards:

- Jackets and trousers for firefighters as per DIN EN 469
- Firefighter's safety helmet as per DIN EN 443
- Firefighter's safety hood as per DIN EN 13911
- Firefighter's safety boots as per DIN EN 15090
- Protective gloves for firefighters as per DIN EN 659

► Floorings

For the building material classification of floorings, DIN EN 13501-1 defines seven classes, summarised in Table 1. The criteria for classification into each building material class are also specified in DIN EN 13501-1.

⁷ Personal protective equipment: Equipment that is worn to protect against health and safety risks at the workplace (e.g. protective clothing, breathing protection, safety gloves, protection against piercing and cutting injuries, goggles and visors, helmets, hearing protectors) (as per DGUV 2006).

Table 1 Overview of building classes for floorings as per DIN EN 13501-1.

Building material class	Description	Test method	Test standard
A1 _{fl}	Non-combustible building materials	Non-combustibility test Gross heat of combustion	DIN EN ISO 1182 DIN EN ISO 1716
A2 _{fl}	Non-combustible building materials	Non-combustibility test Gross heat of combustion Exposure to radiant heat source	DIN EN ISO 1182 DIN EN ISO 1716 DIN EN ISO 9239-1
B _{fl}	Flame-retardant building materials	Exposure to radiant heat source Single-flame source test	DIN EN ISO 9239-1 DIN EN ISO 11925-2
C _{fl}	Flame-retardant building materials	Exposure to radiant heat source Single-flame source test	DIN EN ISO 9239-1 DIN EN ISO 11925-2
D _{fl}	Normally flammable building materials	Exposure to radiant heat source Single-flame source test	DIN EN ISO 9239-1 DIN EN ISO 11925-2
E _{fl}	Normally flammable building materials	Single-flame source test	DIN EN ISO 11925-2
F _{fl}	Highly flammable building materials	None	

Possibilities for meeting fire protection requirements

In order to meet fire protection requirements, it might be necessary to strengthen the properties of the used materials using FRs. Three methods can be used to reduce the inflammability of products: Additive flame retardancy, inherent flame retardancy, and alternative flame retardancy (so the use of materials that are not readily ignitable or not combustible in themselves).

- **Additive flame retardancy:** FRs are added to combustible materials (mixed with the materials) as additives or are applied to the materials from the outside as a flame-retardant coating. The FRs investigated here include halogenated, inorganic phosphorous, organophosphorous, nitrogenous, other inorganic FRs, and other FRs. These are used differently in the five product groups investigated here (Figure 2). Flame retardancy solutions prohibited as per the REACH Regulation (No 1907/2006) or EU POP Regulation ((EU) 2019/1021) were not taken into consideration. In total, 31 FRs used in the investigated product groups were identified.

In the case of **occupational safety textiles**, the commonly used additive FRs come from the group of organophosphorous FRs. A large number of FRs from all six categories are used for **house and home textiles** and **carpets**. The situation is similar for **furniture upholstered with textiles** and **mattress and upholstery foam** (FRs from five categories are commonly used here). In the case of **leather upholstered furniture**, **mattress materials**, and **carpet**

fibres, four categories are used: All except halogenated FRs and "others". For **wood and wooden materials**, FRs from the categories of inorganic phosphorous-based FRs, nitrogenous FRs, and other inorganic FRs are typical.

Table 2 below shows the six groups of FRs, the individual FRs, and which FRs are relevant for which product group.

Table 2: Commonly used additive FRs for the five investigated product groups.

FR group	FR	Used in product group				
		PPE	House and home textiles	Furniture	Mattresses	Floorings
Organic halogenated	Decabromodiphenyl ethane (DBDPE)		x	x		x
	Tetrabromobisphenol A (TBBPA)			x		
	Tris(2-chloro-1-methylethyl) phosphate (TCPP)			x	x	
	Tris(1,3-dichloroisopropyl)phosphate (TDCPP)			x	x	
Inorganic phosphorous-based	Ammonium polyphosphate (APP)		x	x	x	x
	Ammonium phosphate			x		
	Di-Ammonium hydrogen phosphate		x	x		x
	Red phosphorous		x	x	x	x
Organophosphorous	Methylphosphonic acid		x	x	x	x
	Mixture of cyclical phosphonates		x	x	x	x
	Resorcinol bis(diphenyl phosphate) (RDP)		x	x	x	x
	N-hydroxymethyl(3-dimethyl phosphono)propionamide (DMPPA)	x	x	x	x	x
	Tetrakis(hydroxymethyl)phosphonium chloride (THPC)	x	x	x	x	
	Tricresyl phosphate (TCP)		x	x		x
	Triethyl phosphate (TEP)				x	x
Nitrogenous	Melamine		x	x		x
	Melamine cyanurate (MC)		x	x	x	x
	Melamine phosphate (MP)		x	x	x	x
	Melamine polyphosphate (MPP)			x	x	x
	Thiourea		x			x

FR group	FR	Used in product group				
		PPE	House and home textiles	Furniture	Mattresses	Floorings
Other organic	Ammonium bromide		x	x		
	Aluminium hydroxide (ATH)		x	x	x	x
	Ammonium sulphate		x	x	x	
	Ammonium sulphamate		x	x	x	x
	Antimony trioxide (ATO)		x	x		x
	Dipotassium hexafluorotitanate		x			x
	Sodium tetraborate decahydrate (Borax)			x		
	Expandable graphite		x	x	x	x
	Dipotassium hexafluorozirconate			x		
	Magnesium hydroxide (MDH)			x	x	x
Other	Zirconium acetate					x

- **Inherent flame retardancy:** Substances (in this case, fibres) acquire a permanently flame-retardant property, making the material produced from them flame-resistant, through a chemical reaction with an FR or through an inherently flame-retardant polymer structure. The following materials are investigated in more detail and their possible usage in the various product groups is stated: Wool, cellulose and viscose, polyester, polyamides/aramids, polymelamine fibres, polyetherimides, and other fibre/material variants. Particularly in the area of **protective work clothing**, it can be seen that almost all of these investigated inherent fibres are used. Practically one in two of the inherent fibres is also used in **house and home textiles**, **fabric upholstered furniture**, and in **mattress materials**. In contrast, inherently flame-retardant materials are used only rarely for **mattress foam** and **foam for upholstered furniture** and for **carpets**. Table 3 below shows inherently flame-retardant materials for the specific product groups.

Table 3: Possible uses of inherently flame-retardant materials by product group.

Material	Products/product names	Product group					
		Protective work clothing	House and home textiles	Upholstered furniture (fabric)	Mattress materials	Foams (mattresses and upholstery)	Carpets
Wool	-		x	x	x		x
Cellulose and viscose	Visil®				x ⁸		
	Lenzing™FR	x		x	x	x	
Polyester	Trevira CS		x	x	x		
	Zeroxy™	x	x	x			
Polyamides/aramids	Nomex®	x					
	Twaron®	x					
	Kevlar®	x					
	Kermel®	x					
Polymelamine fibres	Basofil®	x		x	x		
Polyetherimides	Ultem™ 9011	x	x	x	x		
Other	Modacrylic (MAC) fibres	x	x				x
	PyroTex®	x		x ⁹			
	Diofort®		x	x			
	Proban®	x	x	x	x		
	Melamine resin foam					x	

- **Alternative flame retardancy:** This includes materials and products whose flame retardancy is ensured even without the use of FRs because they are non-combustible, e.g. plaster and concrete materials, use of glass or basalt fibres in products. The possible usage of alternative flame retardancy was investigated for the product groups occupational safety textiles, house and home textiles, furniture, mattresses, and floorings. Basalt fibres can be used to create fire-resistant fabric and for **occupational safety textiles**, for example. Non-combus-

⁸ E.g. as covers for mattresses (see e.g. <https://patents.google.com/patent/US7484256B2/en>).

⁹ Used for seats in e.g. trains, aeroplanes, cinemas, theatres.

tible glass filaments, glass fabric and basalt fibres are used to produce **house and home textiles**. Diverse possibilities relating to alternative flame retardancy can also be found in the **furniture** area: For instance, concrete furniture, gypsum fibreboard (as a carrier material), or even substrates and substructures made from non-combustible metals. In the case of **upholstered furniture**, the glass fibres already mentioned for house and home textiles can be added. In the case of **laminated**, a non-combustible material such as a glass fibre mat could be used.

The choice of the most suitable solution is always dependent on the usage area of the materials and the method-dependent costs. In the case of additive flame retardancy, there is generally a risk that the FRs will be washed out of the products during cleaning. This danger exists for protective work clothing and some house and home textiles. As a rule, inherent FRs or alternative fire retardancy solutions are therefore used in such cases. To sum up, we should stress that there is no solution that can be used for all materials; instead, each flame retardancy solution has been developed for a special application area.

Evaluation of additive flame retardants

A rating system was developed for the 31 additive FRs identified. Initially, the evaluation of the FRs takes place on the basis of the excluded hazard codes (HS codes) in accordance with the CLP Regulation in all product groups here relevant for the Blue Angel award criteria (see Table 4). The relevant product groups are Low-Emission Panel-Shaped Materials (Construction and Furnishing Panels for Interior Construction) (DE-UZ 76 (2016)), Low-Emission Upholstered Furniture (DE-UZ 117 (2018)), Mattresses (DE-UZ 119 (2018)), Elastic Floor Coverings (DE-UZ 120 (2011)), Low-Emission Textile Floor Coverings (DE-UZ 128 (2016)), Leather (DE-UZ 148 (2015)), Textiles (DE-UZ 154 (2017)), and Shoes (DE-UZ 155 (2018))¹⁰. In addition, more individual HS codes may lead to substance exclusion in the above mentioned product groups.

The classification of a substance or mixture is regulated by the CLP Regulation (2021), which ensures a high level of protection for human health and for the environment and for the free circulation of substances, mixtures, and articles. This EU regulation harmonises the criteria for the classification of substances and mixtures along with the provisions for the labelling and packaging of hazardous substances and mixtures. It also governs the HS codes that must be used to identify a substance or mixture. To simplify the evaluation, all substances with HS codes that are excluded as per the Blue Angel award criteria are excluded from the evaluation here.

Table 4: HS codes that lead to an exclusion from the Blue Angel award¹¹ in accordance with the current award criteria.

HS code	Meaning
H300	Fatal if swallowed
H301	Toxic if swallowed
H310	Fatal in contact with skin

¹⁰ See also <https://www.blauer-engel.de/en/certification/basic-award-criteria>.

¹¹ DE-UZ 76 (2016): Low-Emission Panel-Shaped Materials (Construction and Furnishing Panels for Interior Construction); DE-UZ 117 (2018): Low-Emission Upholstered Furniture; DE-UZ 119 (2018): Mattresses; DE-UZ 120 (2011): Elastic Floor Coverings; DE-UZ 128 (2016): Low-Emission Textile Floor Coverings; DE-UZ 148 (2015): Leather; DE-UZ 154 (2017): Textiles; DE-UZ 155 (2018): Shoes (see also <https://www.blauer-engel.de/en/certification/basic-award-criteria>).

HS code	Meaning
H311	Toxic in contact with skin
H330	Fatal if inhaled
H331	Toxic if inhaled
H340	May cause genetic defects
H350	May cause cancer
H350i	May cause cancer by inhalation
H360D	May damage the unborn child
H360Df	May damage the unborn child; suspected of damaging fertility
H360F	May damage fertility
H360FD	May damage fertility; may damage the unborn child
H360Fd	May damage fertility; suspected of damaging the unborn child
H370	Causes damage to organs
H372	Causes damage to organs through prolonged or repeated exposure

As a result, 14 FRs are identified that may be used in the products or product groups investigated. There are the following:

- ▶ Phosphoric acid, ammonium phosphate (CAS RN 10124-31-9)
- ▶ Polyphosphoric acids, ammonium polyphosphate (CAS RN 68333-79-9)
- ▶ 1,3,5-triazine-2,4,6-triamine phosphate, melamine phosphate (CAS RN 41583-09-9)
- ▶ 1,3,5-triazine-2,4,6-triamine monophosphate, melamine polyphosphate (CAS RN 218768-84-4)
- ▶ Ammonium sulphamate (CAS RN 13765-36-1)
- ▶ Sulphuric acid, compound with graphite, expandable graphite (CAS RN 12777-87-6)
- ▶ Graphite, acid-treated, expandable graphite (CAS RN 90387-90-9)
- ▶ Zirconium acetate (CAS RN 7585-20-8)
- ▶ 2,2',6,6'-tetrabromo-4,4'-isopropylidenediphenol, tetrabromobisphenol A (TBBPA, CAS RN 79-94-7) in upholstered furniture
- ▶ 1,1'-(ethane-1,2-diyl)bis[pentabromobenzene], decabromodiphenyl ethane (DBDPE, CAS RN 84852-53-9) in upholstered furniture and in carpet back coatings

- ▶ Tetraphenyl m-phenylene bis(phosphate), resorcinol bis(diphenyl phosphate) (RDP, CAS RN 57583-54-7) in upholstered furniture, mattresses, and textile floors
- ▶ 1,3,5-triazine-2,4,6(1H,3H,5H)-trione, compound with 1,3,5-triazine-2,4,6-triamine (1:1), melamine cyanurate (MC, CAS RN 37640-57-6) in floorings and textiles
- ▶ Aluminium hydroxide (ATH; CAS RN 21645-51-2) in textile floorings
- ▶ Ammonium bromide (CAS RN 12124-97-9) in textiles

The following assessment criteria were used for a further evaluation of these 14 FRs deserving further investigation:

- ▶ Persistence, so the amount of time that a chemical substance can exist in the environment before it is destroyed (transformed) by natural processes (US EPA 2011)
- ▶ Bioaccumulation, so the potential of a substance or certain substances of a mixture to accumulate in the environment and thus enter the food chain (Employer's Liability Insurance Association for the Construction Industry (BG BAU) 2021)
- ▶ Wash resistance of additive FRs: Classification as non-durable (i.e. FR is not wash-resistant), semi-durable (FR can withstand a limited number of washing cycles), and durable (FR withstands at least 50 washing cycles with boiling water)
- ▶ Combustion products: The thermal combustion of burning materials can result in toxic or irritant gases or vapours, e.g. carbon monoxide, hydrogen halides (hydrogen chloride, hydrogen fluoride, or hydrogen bromide), acrolein, sulphur dioxide, nitrogen oxides, and hydrogen cyanide (condensed: prussic acid).
- ▶ Costs of the necessary procurement of products with flame retardancy (e.g. per unit of weight, per unit of area)

These criteria were selected because they represent important aspects for the usage area of the products. For example, washing resistance, which should be considered only for materials that are intended to be washed, provides lifecycle and environmental impact information. The combustion products provide information on hazards in the event of a fire. Costs are important in order to enable the planning of budgets in procurement. The bioaccumulation and persistence criteria look at degradability and the accumulation of the substances in the environment. Both are to be avoided.

During the course of this study, we were able to demonstrate that the FRs TBBPA and DBDPE do not meet the requirements for bioaccumulation and persistence, and thus both must be excluded. The FRs melamine phosphate and melamine cyanurate do not meet the persistence requirements and are unsuitable for this reason. The remaining 10 FRs are not wash-resistant, and can therefore not be used in products that need to be cleaned, e.g. textiles and many products from the house and home textiles group and mattress covers. This does not apply to upholstery with a fixed cover: This does not need to be wash-resistant and therefore these flame retardants could be used as long as legal prerequisites are met. On this basis, if other solutions are not feasible, these 10 flame retardants are to be recommended to purchasers for products that do not need to be washed. Possible usage areas include shoes, furniture, floorings, and house and home textiles that do not need to be washed.

The assessment criteria "Combustion products" and "Costs" could not be used in a meaningful manner. For the assessment criteria "Combustion products", this is because it is impossible to

make a general statement for any one FR; instead, the products are always dependent on the textile that requires fire protection. For the criteria "Costs", we attempted to investigate various costs but it became clear that without extremely specific references to a concrete (potential) contract item, a cost comparison is ineffective, since the variation in costs is so high that it is not possible to derive any recommendation.

In the future, further FRs might be added if they meet the criteria developed in this study.

Purchasers are recommended to first ask themselves whether fire protection is at all necessary for the products to be acquired. Then, they should check whether fire protection can be realized via inherent flame retardancy or via alternative flame retardancy. Finally, the use of FRs should be checked. Here, the 10 FRs listed here should be selected if required (see Table 5).

Table 5: Commonly used additive FRs for the five investigated product groups.

FR group	FR	Used in product group				
		PPE	House and home textiles	Furniture	Mattresses	Floorings
Inorganic phosphorous-based	Ammonium polyphosphate (APP)		x	x	x	x
	Ammonium phosphate			x		
Organophosphorous	Resorcinol bis(diphenyl phosphate) (RDP)		x	x	x	x
Nitrogenous	Melamine polyphosphate (MPP)		x	x	x	x
Other organic	Ammonium bromide		x	x		
	Aluminium hydroxide (ATH)		x	x	x	x
	Ammonium sulphamate		x	x	x	x
	Expandable graphite ¹²		x	x	x	x
Other	Zirconium acetate					x

¹² Expandable graphite with CAS RNs 12777-87-6 and 90387-90-9.

1 Einleitung

Bei der Ausstattung von Innenräumen in öffentlichen Gebäuden und der Anschaffung von persönlicher Schutzausrüstung (PSA)¹³ sind diverse Aspekte zu beachten. Beschafferinnen und Beschaffer stehen vor der Frage, wie sich die Anforderungen hinsichtlich des Umweltschutzes, der Gesundheitsverträglichkeit, des Brandschutzes und der Wirtschaftlichkeit in Einklang bringen lassen. Einige Flammenschutzmittel (FSM) können sich negativ auf die Umwelt und die Gesundheit auswirken. Außerdem schlägt sich die Ausrüstung von Produkten mit FSM oftmals in einem höheren Kaufpreis nieder. Alternative Lösungen sind mitunter nicht jedem Beschaffenden bekannt. Zudem erfordert es oftmals zeitaufwendige Recherchen um festzustellen, welche Brandschutzanforderungen für eine konkrete Ausstattungssituation gelten. Während es für Baustoffe und Bauteile klare Vorgaben in den jeweiligen Landesbauordnungen gibt, sind die Regelungen hinsichtlich der Innenausstattung weniger eindeutig. Ob und in welchem Ausmaß die Entflammbarkeit der Produkte eine Rolle spielt, hängt u. a. von der Art des Produkts und vom Einsatzbereich ab. So unterliegen bspw. Rettungswege wie Flure anderen Brandschutzanforderungen als Büroräume, in denen sich im Vergleich zu den Fluren im Brandfall wenige Personen aufhalten. Darüber hinaus unterscheiden sich die Anforderungen an den Brandschutz von Bundesland zu Bundesland, da diese in den jeweiligen Landesbauordnungen niedergelegt sind.

Daher soll mit diesem Forschungsvorhabens erstens erreicht werden, die gesetzlichen Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene für die öffentliche Beschaffung relevante Produkte aufzuzeigen. Zweitens sollen die Möglichkeiten diese Brandschutzanforderungen zu erfüllen, aufgezeigt werden. Ein drittes Ziel ist, Beschaffer*innen umweltfreundliche Wege zur Erreichung eines Brandschutzes vorzuschlagen, damit diese in Ihrer Beschaffungspraxis, wenn nötig und möglich, eine umweltfreundliche Alternative im Rahmen des Ausschreibungsprozesses einfordern. Damit gewinnen Beschafferinnen und Beschaffer mehr Sicherheit und größere Gestaltungsspielräume in ihrer praktischen Arbeit.

Zur Erreichung dieser Ziele wurden umfangreiche Literaturrecherchen durchgeführt, insbesondere eine Vielzahl an Verordnungen, Richtlinien und DIN-Normen gesichtet. Des Weiteren wurden verschiedene Fachexpert*innen aus Industrie und Wissenschaft, konsultiert. Die Zwischenstände wurden in Form von Fachgesprächen Fachexpert*innen vorgestellt und mit diesen diskutiert.

Für additive Flammenschutzmittel (FSM) wurde außerdem ein Bewertungssystem entwickelt. Dieses basiert zum einen auf den ausgeschlossenen H-Sätzen bei den Vergabekriterien des Blauen Engel. Zum anderen wurden die Kriterien Persistenz, Bioakkumulation, Waschbeständigkeit, Brandfolgeprodukte und Kosten herangezogen, um die verbleibenden FSM weiter zu bewerten.

¹³ Definitionen nach DGUV (2006):

Persönliche Schutzausrüstung: Ausrüstungen, die getragen werden, um sich gegen Gefährdungen der Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz zu schützen (z. B. Schutzkleidung, Atemschutz, Handschutz, Schnitt- und Stechschutz, Augen- und Gesichtsschutz, Kopfschutz, Gehörschutz).

Arbeitskleidung: Kleidung, die bei der Arbeit getragen wird, jedoch keine besondere Schutzfunktion aufweist (z. B. Laborkittel zum Fernhalten von Verschmutzungen).

2 Allgemeines zum Brandschutz

Unter dem Begriff **Brandschutz** sind nach DIN EN ISO 13943 (2018) Methoden zu verstehen, die der Eindämmung oder Verhinderung der Ausbreitung von Feuer, Wärme oder Rauch dienen. Diese Methoden beinhalten sowohl die Erkennung und/oder Bekämpfung des Feuers (aktiver Brandschutz) als auch konstruktive Eigenschaften und/oder die Verwendung angemessener Materialien (passiver Brandschutz).

Als **Brand** wird gemäß DIN EN ISO 13943 (2018) eine unkontrollierte selbstständige Verbrennung bezeichnet, die ohne Absicht in Gang gesetzt worden ist. Der **Brandverlauf** wird in den vier Phasen

1. Brandentstehung
2. Flash-over (Feuerübersprung)
3. voll entwickelter Brand
4. abklingender Brand

dargestellt. Die Voraussetzungen für die Entstehung eines Brandes ist das Vorhandensein brennbaren Materials, einer ausreichenden Menge an Sauerstoff und einer externen Wärmezufuhr zur Initiierung der Verbrennung (**Zündenergie**). Die Zündquelle entzündet einen brennbaren Stoff und leitet damit die Verbrennung ein (Entstehungsbrand). Dabei entsteht ausreichend Wärme, wodurch weiteres Material gezündet wird und sich eine verstärkte Wärmeabgabe an die Umgebung einstellt. Die entstehenden brennbaren Gase vermischen sich mit der Umgebungsluft zu einem entflammbaren Luft-Gas-Gemisch, welches bspw. durch eine plötzliche Sauerstoffzufuhr schlagartig zünden kann (**Flash-over**) und zu einer explosionsartigen Flammenausbreitung, einhergehend mit rasant steigenden Temperaturen, führt. Der so zustande kommende voll entwickelte Brand klingt erst ab, sobald ein Löschangriff erfolgt oder ein Großteil des brennbaren Materials thermisch zersetzt ist (Novak 2001; Jeske 2012). Die freigesetzte Wärmemenge bei der vollständigen Verbrennung brennbarer Stoffe wird dabei als **Brandlast** bezeichnet (DIN EN ISO 13943 (2018)) und steigt mit dem Eintrag von brennbaren Materialien oder Produkten in einen Raum bzw. in ein Gebäude. Nichtbrennbare Materialien und Produkte erhöhen die Brandlast eines Raumes bzw. eines Gebäudes nicht.

Die Fähigkeit eines Werkstoffs oder Materials unter definierten Bedingungen mit Flammenbildung zu brennen, wird unter dem Begriff **Brennbarkeit** (Entflammbarkeit) verstanden. Die **Entzündbarkeit** (Entzündlichkeit) ist dabei ein Maß dafür, wie leicht ein Probekörper unter festgelegten Prüfbedingungen entzündet werden kann. Als **FSM** werden Substanzen bezeichnet, die Materialien zugegeben oder mit denen Materialien behandelt werden, um deren Entflammung zu verzögern oder bestenfalls zu verhindern und/oder die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flammen zu reduzieren (DIN EN ISO 13943 (2018)).

Die im folgenden Bericht beschriebenen Brandschutzanforderungen beziehen sich größtenteils auf Arbeitskleidung, PSA, Textilien, Möbel und Matratzen, deren Bestandteile (z. B. Kunstfasern, Schaum) ganzheitlich betrachtet als **Material** bezeichnet werden.

Für das Bauwesen relevante Brandschutzanforderungen beziehen sich auf Baustoffe, Bauteile und Bauprodukte. Als **Baustoffe** werden nach DIN EN 13501-1 (2019) Materialien bezeichnet, die lediglich aus einem einzigen Stoff oder einem fein verteilten Gemisch bestehen (z. B. Holz, Beton). Die Beurteilung des Brandverhaltens von Baustoffen erfolgt auf nationaler Ebene nach DIN 4102-1 (1998) und auf europäischer Ebene nach DIN EN 13501-1 (2019). Unter **Bauteilen** sind funktionale Komponenten eines Bauwerks zu verstehen, die nach DIN EN ISO 10209 (2012)

„nicht weiter zerlegt werden können, ohne ihre grundlegenden Eigenschaften zu verlieren“. Bauteile und Baustoffe sind als **Bauprodukte** zu verstehen, sofern diese für den dauerhaften Einbau in bauliche Anlagen bestimmt sind (MBO 2019).

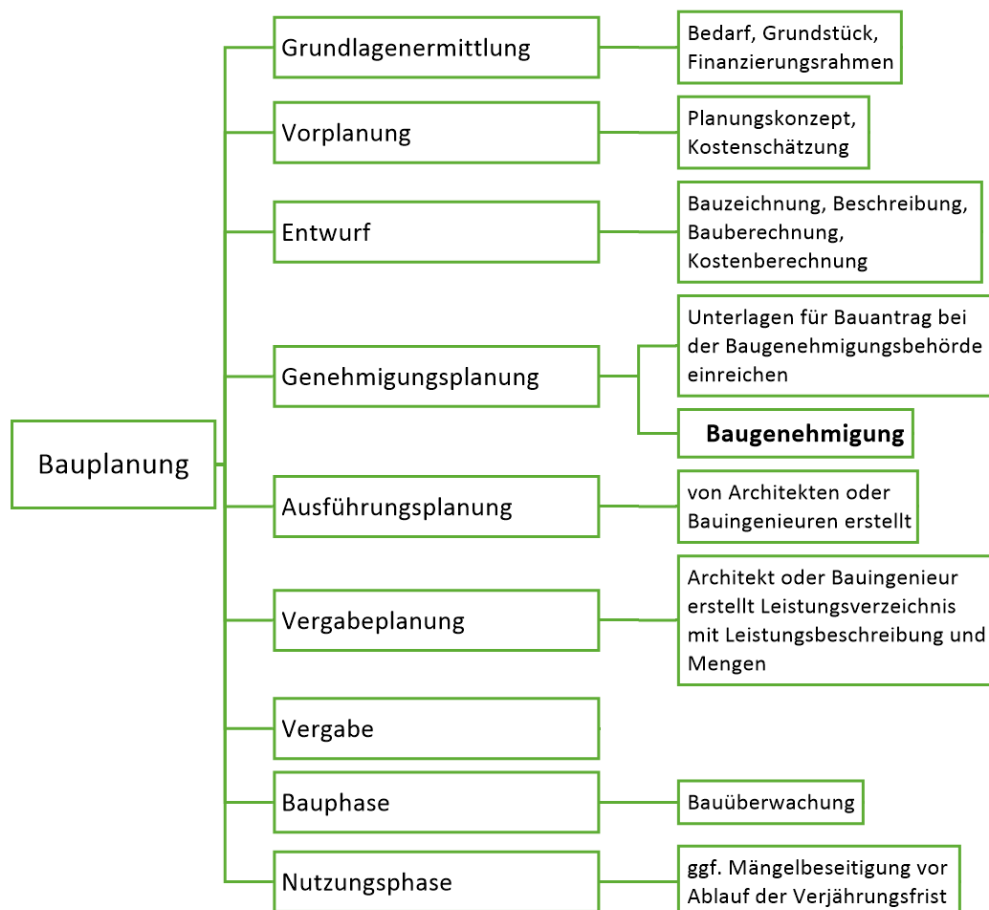
3 Brandschutz im öffentlichen Raum: Konzepte, Akteure

Mit dem Begriff Brandschutz im öffentlichen Raum verbindet man zumeist den Brandschutz von Gebäuden. Um die verschiedenen Bereiche und Begrifflichkeiten voneinander abzugrenzen, wird im Folgenden der bauliche Brandschutz dargestellt. Das Baurecht nach der MBO 2019 gilt nur für fest verbaute Baustoffe, Bauteile und Bauprodukte. Bei den betrachteten textilen Produkten gehören lediglich die textilen Bodenbeläge zu den Bauprodukten nach MBO. Bei den Haus- und Heimtextilien sowie Möbeln handelt es sich dagegen um Ausstattungs- und Einrichtungsgegenstände, die nicht unter das Baurecht fallen.

3.1 Allgemeines zur Bauplanung

Bei der Errichtung eines Gebäudes durchläuft der Bauherr, egal ob Privatperson oder öffentliche Hand, eine Vielzahl von Bauphasen, deren gesetzliche Grundlagen u. a. in den Landesbauordnungen verankert sind. In die einzelnen Planungsabschnitte sind Bauherr, Planer und Unternehmer einbezogen. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die verschiedenen Stufen während der Bauplanung.

Abbildung 3: Ablaufschema zur Bauplanung.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

Die Bauaufsicht wird entsprechend dem öffentlichen Recht von den Bauaufsichtsbehörden wahrgenommen. Diesen obliegt der Vollzug des Bauordnungs- und Bauplanungsrechts. In Deutschland wird das Bauordnungsrecht von jedem Bundesland in den jeweiligen Landesbauordnungen geregelt. Die insgesamt 16 Landesbauordnungen bestimmen, welche Behörden für die Bauaufsicht zuständig sind. Die Bauaufsichtsbehörden werden wiederum unterteilt in die untere Bauaufsichtsbehörde, deren Aufgaben meist die Landkreise, die kreisfreien Städte und die großen selbstständigen Städte wahrnehmen, und in die obere Bauaufsichtsbehörde, das Fachministerium (als Beispiel aus der Niedersächsischen Landesbauordnung (LBO) 2018). Die Landesbauordnungen regeln die Planung, Bemessung und Ausführung von Bauwerken und die Verwendung von Bauprodukten. Dort sind allgemeine und materielle Anforderungen und Verfahrensregeln sowie Verweise auf die Technischen Baubestimmungen dokumentiert (DIBt 2020).

3.2 Allgemeines zum Brandschutz von Gebäuden

Die Anforderungen an den Brandschutz in Gebäuden sind in Deutschland durch die MBO 2019 geregelt und durch die jeweiligen Landesbauordnungen ergänzt. Zu den weiteren Rechtsvorschriften gehören z. B. die Feuerwehr-/Brandschutzgesetze der einzelnen Bundesländer. Die örtliche Feuerwehr und Baubehörde sowie Fachplaner und weitere Brand- und Arbeitsschutzfachleute sind Ansprechpartner, wenn es um den Brandschutz geht. Die verschiedenen Schritte und Institutionen bei der Brandschutzsicherung am Beispiel eines Krankenhauses sind in Abbildung 4 zusammengefasst.

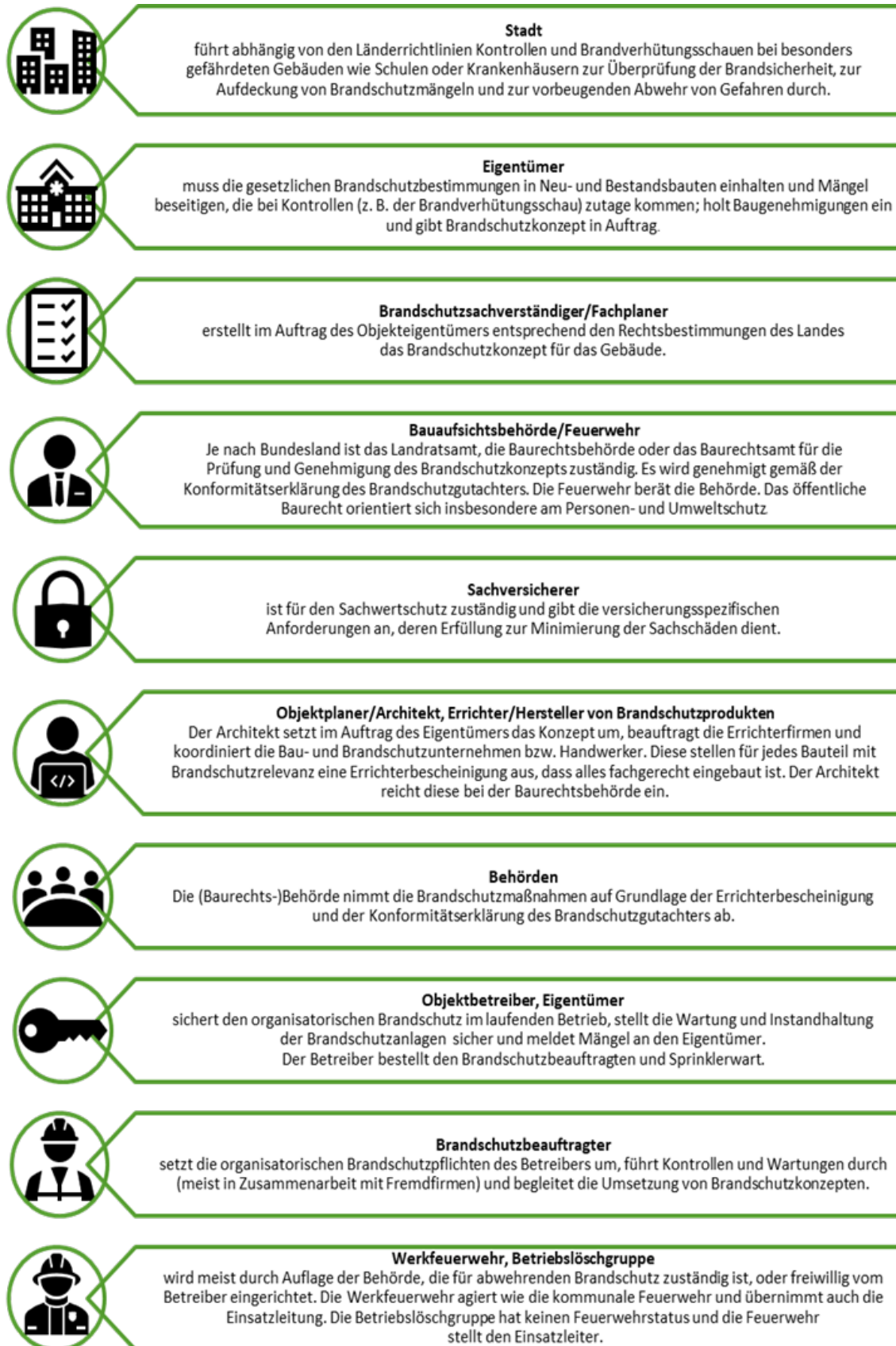
Der Begriff **Brandschutz** umfasst alle Maßnahmen, die der Entstehung und Ausbreitung eines Brandes vorbeugen oder diesen verhüten. Hierbei wird zwischen baulichem, technischem und organisatorischem Brandschutz unterschieden. Zum abwehrenden Brandschutz gehören die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten.

Ein **Brandschutzkonzept** beinhaltet alle erforderlichen baulichen, technischen und organisatorischen Maßnahmen, die einen Brandausbruch und dessen Ausbreitung verhindern und eine rechtzeitige Rettung ermöglichen (z. B. BGW/BuS-I-12/13, 2015). Für ein Gebäude ist die Erstellung eines Brandschutzkonzepts dann erforderlich, wenn es sich um Sonderbauten (MBO 2019) handelt (z. B. Krankenhaus, Schule) und hierfür keine Sonderbauvorschriften bauaufsichtlich eingeführt sind oder von den baurechtlichen Anforderungen abgewichen werden soll. Das Brandschutzkonzept wird von einem Fachplaner erstellt. Ein Geschäftsführer, Betreiber oder Verantwortlicher einer Einrichtung hat zu prüfen, ob ein Brandschutzkonzept für das Gebäude vorliegt. Wenn dies der Fall ist, dann sollte das Konzept gegebenenfalls entsprechend der Nutzung aktualisiert bzw. angepasst werden. Durch ein Brandschutzkonzept für das jeweilige Gebäude können an die unterschiedlichen Produktgruppen höhere Brandanforderungen gestellt werden als gesetzlich vorgeschrieben sind. Weitere Informationen zu Brandschutzkonzepten und Brandschutznachweisen sind z. B. der VdS- Broschüre 3547 (2014) zu entnehmen.

Die **Brandschutzordnung** umfasst Regelungen für das Verhalten von Personen innerhalb eines Gebäudes oder Betriebs im Brandfall sowie Maßnahmen zur Verhütung von Bränden. Sie ist an die jeweiligen Bedingungen im Gebäude oder Betrieb anzupassen und muss stets auf dem aktuellen Stand gehalten werden. Alle zwei Jahre muss die Brandschutzordnung von einer fachkundigen Person geprüft werden. Eine Brandschutzordnung umfasst die Teile A, B und C, die sich an verschiedene Personengruppen im Gebäude richten (z. B. Mitarbeiter*innen, Besucher*innen, Mitarbeiter*innen mit Brandschutzaufgaben) (FeuerTrutz 2017). Der **Brandschutzplan** ist die zeichnerische Umsetzung der Brandschutzanforderungen. Dieser umfasst den Grundrissplan

von Gebäuden und beinhaltet die Brandschutzeinrichtungen und Fluchtwege. Der **Feuerwehrplan** für bauliche Anlagen ist wiederum ein Plan für die Brandbekämpfung und für Rettungsmaßnahmen an besonderen Orten oder Objekten. Die Anforderungen an seine Bestandteile, an den Planinhalt und dessen Ausführung sind in DIN 14095 festgelegt. Die Pflicht zum Erstellen einer Brandschutzordnung oder eines Feuerwehrplanes ist abhängig von der Gebäudegröße und Gebäudeart und wird in den jeweiligen Bauordnungen geregelt.

Abbildung 4: Aufgabenverteilung bei der Brandschutzsicherung.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI, in Anlehnung an BVFA 2019a.

3.2.1 Gebäudeklassifizierung

Wie oben erwähnt, sind die Anforderungen an den Brandschutz in Gebäuden durch die MBO 2019 geregelt. Dort werden Gebäude nach § 2 Abs. 2 definiert als:

„selbstständig benutzbare, überdeckte bauliche Anlagen, die von Menschen betreten werden können und geeignet oder bestimmt sind, dem Schutz von Menschen, Tieren oder Sachen zu dienen“.

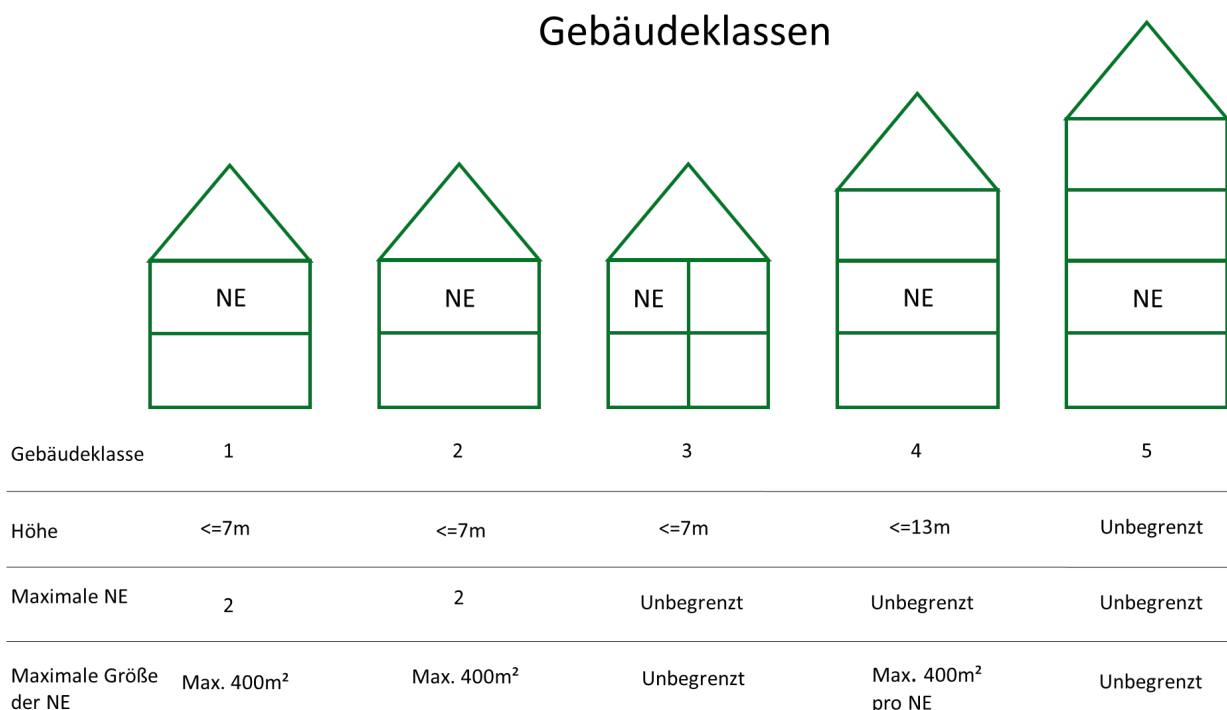
Die Brandschutzanforderungen der jeweiligen Gebäude sind von der Gebäudeklasse (GK) abhängig, die nach § 2 Abs. 3 in fünf Klassen eingestuft werden:

Tabelle 6: Gebäudeklassen nach MBO 2019.

Gebäudeklasse	
1	a) freistehende Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m ² und b) freistehende land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude
2	Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m ²
3	sonstige Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m
4	Gebäude mit einer Höhe bis zu 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m ²
5	sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude

Die Höhenangaben in Tabelle 6 beziehen sich dabei auf die Fußbodenoberkante des obersten Geschosses, in dem ein Aufenthaltsraum möglich ist, gemessen über dem Mittel der Geländeoberfläche. Bei den Nutzungsflächen handelt es sich um Brutto-Grundflächen ohne die Flächen im Kellergeschoss. Die GK sind übersichtlich in Abbildung 5 dargestellt.

Abbildung 5: Übersicht der Gebäudeklassen nach MBO 2019 (NE=Nutzungseinheit).



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

Zum Brandschutz fordert die MBO 2019 in § 14, dass *„Bauliche Anlagen ... so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten sind, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.“*

Besonders vor dem Hintergrund der Menschen- und Tierrettung erhöhen sich die Anforderungen an den Brandschutz mit steigender GK, was am Beispiel der Anforderungen an tragende Wände oder Stützen (§ 27 MBO 2019) erläutert werden soll:

- ▶ GK 5: feuerbeständige Bauteile (Feuerwiderstand von 90 Minuten)
- ▶ GK 4: hochfeuerhemmende Bauteile (Feuerwiderstand von 60 Minuten)
- ▶ GK 3 und 2: feuerhemmende Bauteile (Feuerwiderstand von 30 Minuten)
- ▶ GK 1: keine Anforderungen an den Feuerwiderstand, alle verwendeten Baustoffe müssen als normalentflammbar (MBO 2019, § 26 Abs. 1 Satz 2) klassifiziert sein.

Neben den GK 1 bis 5 definiert die MBO (2019) auch Sonderbauten, die nach § 2 Abs. 4 als Anlagen und Räume besonderer Art oder Nutzung beschrieben sind, und in die folgenden Kategorien eingeteilt werden:

1. *„Hochhäuser (Gebäude mit einer Höhe von mehr als 22 m),*
2. *bauliche Anlagen mit einer Höhe von mehr als 30 m,*
3. *Gebäude mit mehr als 1 600 m² Grundfläche des Geschosses mit der größten Ausdehnung, ausgenommen Wohngebäude und Garagen,*
4. *Verkaufsstätten, deren Verkaufsräume und Ladenstraßen eine Grundfläche von insgesamt mehr als 800 m² haben,*
5. *Gebäude mit Räumen, die einer Büro- oder Verwaltungsnutzung dienen und einzeln eine Grundfläche von mehr als 400 m² haben,*
6. *Gebäude mit Räumen, die einzeln für die Nutzung durch mehr als 100 Personen bestimmt sind,*
7. *Versammlungsstätten*
 - a) *mit Versammlungsräumen, die insgesamt mehr als 200 Besucher fassen, wenn diese Versammlungsräume gemeinsame Rettungswege haben,*
 - b) *im Freien mit Szenenflächen sowie Freisportanlagen jeweils mit Tribünen, die keine Fliegenden Bauten sind und insgesamt mehr als 1000 Besucher fassen,*
8. *Schank- und Speisegaststätten mit mehr als 40 Gastplätzen in Gebäuden oder mehr als 1000 Gastplätzen im Freien, Beherbergungsstätten mit mehr als 12 Betten und Spielhallen mit mehr als 150 m² Grundfläche,*
9. *Gebäude mit Nutzungseinheiten zum Zwecke der Pflege oder Betreuung von Personen mit Pflegebedürftigkeit oder Behinderung, deren Selbstrettungsfähigkeit eingeschränkt ist, wenn die Nutzungseinheiten*
 - a) *einzeln für mehr als 6 Personen oder*
 - b) *für Personen mit Intensivpflegebedarf bestimmt sind, oder*
 - c) *einen gemeinsamen Rettungsweg haben und für insgesamt mehr als 12 Personen bestimmt sind,*
10. *Krankenhäuser,*
11. *sonstige Einrichtungen zur Unterbringung von Personen sowie Wohnheime,*

12. *Tageseinrichtungen für Kinder, Menschen mit Behinderung und alte Menschen, ausgenommen Tageseinrichtungen einschließlich Tagespflege für nicht mehr als zehn Kinder,*
13. *Schulen, Hochschulen und ähnliche Einrichtungen,*
14. *Justizvollzugsanstalten und bauliche Anlagen für den Maßregelvollzug,*
15. *Camping- und Wochenendplätze,*
16. *Freizeit- und Vergnügungsparks,*
17. *Fliegende Bauten, soweit sie einer Ausführungsgenehmigung bedürfen,*
18. *Regallager mit einer Oberkante Lagerguthöhe von mehr als 7,50 m,*
19. *bauliche Anlagen, deren Nutzung durch Umgang oder Lagerung von Stoffen mit Explosions- oder erhöhter Brandgefahr verbunden sind,*
20. *Anlagen und Räume, die in den Nr. 1 bis 19 nicht aufgeführt und deren Art oder Nutzung mit vergleichbaren Gefahren verbunden sind.“*

Die Gebäude, auf deren Brandschutzbelange in den folgenden Kapiteln näher eingegangen wird, gehören nach MBO (2019) hauptsächlich zur Kategorie der Sonderbauten. Büro- und Verwaltungsgebäude können hier eine Ausnahme darstellen. Sie fallen je nach Größe in die GK 1 bis 5 oder zählen auch zu den Sonderbauten.

4 Brandschutzanforderungen in spezifischen Bereichen

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführte Recherche zu den Brandschutzanforderungen für bestimmte Produktgruppen bezieht sich auf die folgenden öffentlichen Bereiche:

- ▶ Kindertagesstätten
- ▶ Schulen
- ▶ Krankenhäuser
- ▶ Büro- und Verwaltungsgebäude
- ▶ Bundeswehr
- ▶ Justizvollzugsanstalten
- ▶ Versammlungsstätten
- ▶ Feuerwehr
- ▶ Polizei/Zoll

Für die jeweiligen Bereiche wurden im Rahmen dieser Arbeit die Anforderungen an den Brandschutz für folgende Produktgruppen analysiert:

- PSA und Arbeitskleidung
- Schuhe
- Haus- und Heimtextilien¹⁴
- Möbel
- Matratzen
- Bodenbeläge¹⁵

Für die Bereiche Feuerwehr sowie Polizei und Zoll wurden nur die Brandschutzanforderungen an die PSA und die Arbeitskleidung dargestellt.

Die untersuchten Bereiche und die dort relevanten Produktgruppen sind in Tabelle 7, Tabelle 8 und Tabelle 9 aufgelistet.

¹⁴ Unter Haus- und Heimtextilien sind Waren, die für die Innenausstattung und Innendekoration verwendet werden, zu verstehen. Darunter fallen Wohndecken, Plaid, Bettwäsche, Tischwäsche, Küchenwäsche, Badtextilien, Wäsche zur Körperpflege, Gardinen, Vorhänge, Schabracken und Posamente sowie Bezugstoffe für Möbel.

¹⁵ Bodenbelag nach EN 13501-1: Die „oberste(n) Lage(n) eines Bodens einschließlich einer etwaigen Oberflächenbeschichtung, mit oder ohne angebrachtem Rücken und mit einer etwaigen dazugehörigen Unterlage, Zwischenlage und Kleber“.

Tabelle 7: Matrixdarstellung der analysierten Brandschutzanforderungen für verschiedene Produktgruppen in den Bereichen Kindertagesstätten, Schulen und Krankenhäuser.

Produktgruppe	Kindertagesstätten	Schulen	Krankenhäuser
PSA und Arbeitskleidung	Bekleidung für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal	Bekleidung für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal Laborkittel für Lehrer*innen, Schüler*innen	Bekleidung für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal →Medizinisches Personal
Schuhe	Schuhe für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal	Schuhe für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal	Schuhe für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal →Medizinisches Personal
Haus- und Heimtextilien	Vorhänge Bettwaren (Bettdecken/Kissen) Bettwäsche Polstermöbelstoffe Dekorationsstoffe Gardinen Bettdecken Spielteppich	Vorhänge Gardinen Polstermöbelstoffe Dekorationsstoffe	Bettwäsche Bettwaren (Bettdecken/Kissen) Handtücher Vorhänge Gardinen Tischdecken Polstermöbelstoffe Dekorationsstoffe
Möbel	Polstermöbel Betten Schränke Tische Stühle Regale Garderobe Spielgeräte (z. B. Spielküchen, Klettergerüste etc.) →In Gruppenräumen →In Fluchtwegen	Tische Stühle Schränke Schul tafeln Vitrinen/Regale Polstermöbel Garderobe Spinte →In Klassenzimmern →In Lehrerzimmern →In Fluchtwegen →In der Aula	Krankenbetten Schreibtisch Schreibtischstuhl Stuhl/Tisch Polstermöbel Schränke Garderobe →Im Patientenzimmer →Im Schwestern-/Arztzimmer →In Fluchtwegen →In Pausenbereichen →In Besprechungszimmern
Matratzen	Relevant für den Bereich	Nicht relevant	Relevant für den Bereich
Bodenbeläge	Relevant für den Bereich	Relevant für den Bereich	Relevant für den Bereich

Tabelle 8: Matrixdarstellung der analysierten Brandschutzanforderungen für verschiedene Produktgruppen in den Bereichen Büro- und Verwaltungsgebäude, Bundeswehr sowie Justizvollzugsanstalten.

Produktgruppe	Büro- und Verwaltungsgebäude	Bundeswehr	Justizvollzugsanstalten
PSA und Arbeitskleidung	Bekleidung für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal	Bekleidung für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal →Soldat*innen	Bekleidung für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal →Wachpersonal →Häftlinge
Schuhe	Schuhe für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal	Schuhe für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal →Soldat*innen	Schuhe für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal →Wachpersonal →Häftlinge
Haus- und Heimtextilien	Vorhänge Gardinen Polstermöbelstoffe Dekorationsstoffe	Bettwaren (Bettdecken / Kissen) Bettwäsche Handtücher Decken Vorhänge Polstermöbelstoffe Dekorationsstoffe Gardinen	Bettwaren (Bettdecken / Kissen) Bettwäsche Handtücher Decken Vorhänge Polstermöbelstoffe Dekorationsstoffe Gardinen
Möbel	Schreibtische Schreibtischstühle Sofa Stühle Schränke Garderobe →Im Büro →In Fluchtwegen →In Besprechungsräumen →In Pausenbereichen	Betten Polstermöbel Stühle Tische Schränke Garderobe →Auf den Stuben →In Fluchtwegen →In Besprechungsräumen →In Pausenräumen	Betten Polstermöbel Stühle Tische Schränke Garderobe →In den Zellen →In Fluchtwegen →In Besprechungsräumen →In Pausenräumen
Matratzen	Nicht Relevant	Wurden nicht betrachtet	Relevant für den Bereich
Bodenbeläge	Relevant für den Bereich	Relevant für den Bereich	Relevant für den Bereich

Tabelle 9: Matrixdarstellung der analysierten Brandschutzanforderungen für verschiedene Produktgruppen in den Bereichen Versammlungsstätten, Feuerwehr sowie Polizei und Zoll.

Produktgruppe	Versammlungsstätten	Feuerwehr	Polizei/Zoll
PSA und Arbeitskleidung	Bekleidung für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal	Bekleidung für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal → Feuerwehrjacke → Feuerwehrhose → Feuerwehrhelm → Feuerwehrschtzhand- schuhe → Feuerwehrschtzhaube	Bekleidung für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal →Polizei-/Zollbediens- tete →Bedienstete in ge- schlossenen Einheiten
Schuhe	Schuhe für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal	Schuhe für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal →Feuerwehrmänner und -frauen	Schuhe für: →Hausmeister*innen →Reinigungspersonal →Polizei-/Zollbediens- tete →Bedienstete in ge- schlossenen Einheiten
Haus- und Heimtextilien	Vorhänge Polstermöbelstoffe Dekorationsstoffe Gardinen	Wurden nicht betrachtet	Wurden nicht betrachtet
Möbel	Schreibtische Schreibtischstühle Bühnendekoration Sofa Stühle Schränke Garderobe	Wurden nicht betrachtet	Wurden nicht betrachtet
Matratzen	Nicht Relevant	Wurden nicht betrachtet	Wurden nicht betrachtet
Bodenbeläge	Relevant für den Bereich	Wurden nicht betrachtet	Wurden nicht betrachtet

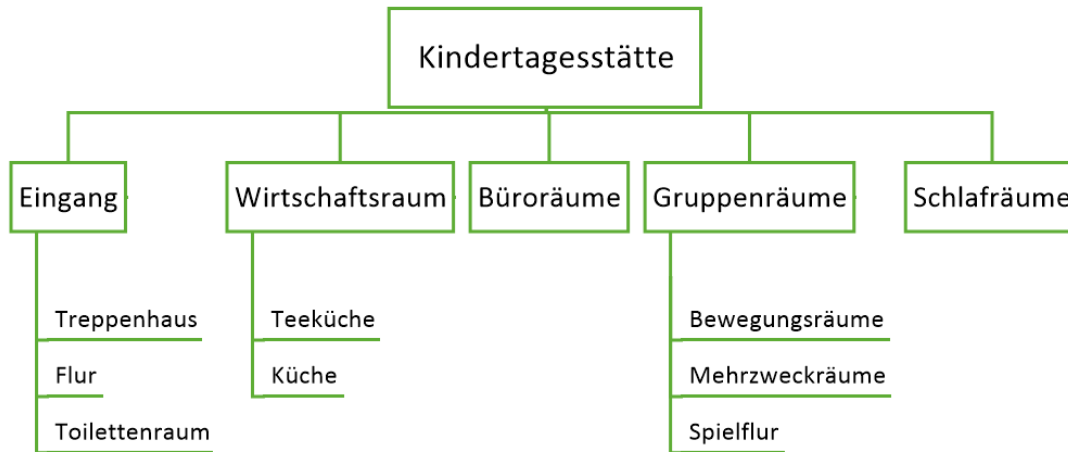
In den folgenden Unterkapiteln sind, basierend auf gesetzlichen Grundlagen und Empfehlungen, die Brandschutzanforderungen an die einzelnen Produktgruppen bereichsspezifisch beschrieben.

4.1 Kindertagesstätten

Als Kindertagesstätten werden die Betreuungsformen Kinderkrippe (bis 3 Jahre) und Kindergarten (3 Jahre bis Einschulung) zur Betreuung und/oder Förderung nicht schulpflichtiger Kinder bezeichnet. Die Aufenthaltsdauer von Kleinkindern und Kindern beträgt dort mehrere Stunden bis zu einem vollen Arbeitstag. Zu den Trägern von Kindertagesstätten gehören z. B. Kirchen,

Wohlfahrtsverbände, Kommunen sowie private oder gewerbliche Anbieter. Eine Kindertagesstätte kann in folgende Bereiche¹⁶ eingeteilt werden (Abbildung 6).

Abbildung 6: Übliche Bereiche in einer Kindertagesstätte.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

4.1.1 Anforderungen an den baulichen Brandschutz

Die Anforderungen an den Bau und die Ausstattung von Kindertageseinrichtungen ergeben sich in Deutschland zum einen aus staatlichen Rechtsvorschriften und zum anderen aus dem Vorschriftenwerk der gesetzlichen Unfallversicherung (z. B. UVV). Nach § 2 Abs. 4 Nr. 12 MBO und den jeweiligen Landesbauordnungen zählen Kindertagesstätten zu den unregulierten Sonderbauten, bei denen die Anforderungen durch ein individuelles Brandschutzkonzept geregelt werden. Entsprechend § 14 MBO sind bauliche Anlagen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird. Zu den allgemeinen Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen führt die MBO aus, dass Baustoffe, die nicht mindestens normalentflammbar sind (leichtentflammbare Baustoffe), nicht verwendet werden dürfen (§ 26 MBO); dies gilt jedoch nicht, wenn sie in Verbindung mit anderen Baustoffen nicht leichtentflammbar sind. Zu den hier betrachteten Bauprodukten nach MBO zählen jedoch nur die Bodenbeläge, die in Kapitel 4.1.2.6 behandelt werden.

Für Kindertageseinrichtungen gibt es in Deutschland keine Sonderbauvorschriften (Anwander 2011). Aufgrund der artverwandten Nutzerstruktur kann davon ausgegangen werden, dass die Mindestanforderungen der Muster-Schulbau-Richtlinie einzuhalten sind (siehe auch Kapitel 4.2).

In den gesetzlichen Regelungen zur Kinderbetreuung der einzelnen Bundesländer sind brandschutzrelevante Themen nicht erwähnt. Das Niedersächsische Gesetz über Tageseinrichtungen für Kinder (KiTaG) (2002) gibt bspw. in § 6 Abs. 1 an: „Die Räume und die Ausstattung von Kindertagesstätten müssen kindgemäß, dem Alter der betreuten Kinder entsprechend sicher und im Übrigen so gestaltet sein, dass eine angemessene Erziehungs-, Bildungs- und Betreuungsarbeit geleistet werden kann.“ Allgemeine Anforderungen finden sich auch jeweils auf Länderebene z. B. in

¹⁶ Ein Spielflur ist z. B. im Sinne der Bauordnung Nordrhein-Westfalen „ein notwendiger Flur, über den Rettungswege geführt werden können. Hierbei handelt es sich um einen Raum (Flur) mit Brandlasten, der neben seiner Funktion als Verkehrsfläche auch als Spielfläche genutzt wird. Dabei sollte eine Fluchtwegbreite von mindestens 1,20 m sichergestellt sein. Brandlasten in diesem Sinne sind eine nutzungsbedingte Möblierung, einschließlich Spielsachen und Dekorationen.“ (zitiert aus VdF NRW, 2016)

der Niedersächsischen Verordnung über Mindestanforderungen an Kindertagesstätten (DVO-KiTaG 2002). Auch hier werden keine Angaben zum Brandschutz gemacht. Die Kita-Gesetze der einzelnen Bundesländer sind z. B. auf der Webseite der BAGE e. V. (2020) zusammengestellt. In einzelnen Bundesländern wurden von Fachverbänden bzw. der Obersten Bauaufsicht brandschutztechnische Leitfäden erarbeitet, die jedoch nicht bauaufsichtlich eingeführt sind (Anwander 2011). Der Leitfaden - Brandschutz in Tageseinrichtungen für Kinder des Landesfeuerwehrverbands Brandenburg e. V. (2018) gibt bspw. an, dass Kindertagesstätten unregelmäßige Sonderbauten darstellen, da es keine verbindliche anzuwendende Sonderbauverordnung gibt. Aus brandschutztechnischer Sicht sind die notwendigen Brandschutzmaßnahmen in einem individuellen Brandschutzkonzept entsprechend der Brandenburgischen Bauvorschriftenverordnung (Bbg-BauVorlV 2016, § 11 Abs. 2) festzulegen. So können Erleichterungen gestattet bzw. höhere Anforderungen an die baulichen Anlagen gestellt werden.

Aufgrund der Alters- und Mobilitätsunterschiede der betreuten Kinder ist bei Gefahr von einer verlängerten Evakuierungszeit auszugehen (Anwander 2009). Dies bedeutet, dass Kinder bei einer Evakuierung auf die Hilfe des Betreuungspersonals angewiesen sind. Die Anforderungen an Rettungswege sind in § 33 Abs. 1 bis 3 MBO definiert, wobei für Sonderbauten gilt: *„Der zweite Rettungsweg über Rettungsgeräte der Feuerwehr ist nur zulässig, wenn keine Bedenken wegen der Personenrettung bestehen“*. Als Randbedingungen für ein Rettungswegkonzept im Bereich Kita sind die Anzahl der Personen, der Betreuungsschlüssel, die Länge der Rettungswege und die Lage der Krippe im Gebäude zu beachten. Entsprechend dem Leitfaden - Brandschutz in Tageseinrichtungen für Kinder des Landesfeuerwehrverbands Brandenburg e. V. (2018) sollten Kitas über zwei unabhängige bauliche Rettungswege (bei Mehrgeschossigkeit zwei notwendige Treppenträume) verfügen. Sofern erforderlich, ist zum Erreichen der Ausgänge/Treppenträume ein notwendiger Flur auszubilden, der brandlastfrei zu halten ist.

Spielfläure werden nicht nur als Verkehrsfläche¹⁷ angesehen, sondern auch als Gruppen- oder Spielraum mitbenutzt. Im Gegensatz zu den notwendigen Fluren enthält ein Spielflur Brandlasten und Brandentstehungsgefahren. Nach dem obengenannten Leitfaden braucht jeder Aufenthaltsraum für Kinder einen direkten Ausgang ins Freie bzw. einen zweiten unabhängigen Rettungsweg. Der erste Rettungsweg darf nicht über einen Spielflur führen, der zweite Rettungsweg kann den Spielflur queren.

Weiterhin regeln DGUV-Vorschriften (DGUV Vorschrift 82 2007) die *„bauliche Gestaltung und Ausstattungen in Kindertageseinrichtungen, soweit dies zur Verhütung von Gefahren für Leben und Gesundheit der Kinder erforderlich ist und die den Kindern bestimmungsgemäß zugänglich sind“*. Die DGUV Regel 102-002 (2009) listet im Anhang zusätzlich Vorschriften, Regeln und Informationen auf. In der Broschüre „Sichere Kita“ der Unfallkasse Nordrhein-Westfalen (UK NRW 2017a) sind die grundlegenden Anforderungen zu Bau und Ausstattung von Kindertageseinrichtungen sowie Rechtsgrundlagen für den Bau und die Ausstattung von Kindertageseinrichtungen zusammengestellt. Zum Thema „Notwendige Flure“ wird in der Brandschutzbroschüre des Rheinischen Gemeindeunfallversicherungsverbands (GUVV 2006) folgendes angegeben: *„Haben die Gruppenräume keine eigenen Notausgänge, so bleibt der erreichbare Flur ein notwendiger Flucht- und Rettungsweg. Dadurch bedingt ist dieser nur sehr eingeschränkt als Spielbereich nutzbar und möglichst frei von Brandlasten zu halten. Er darf auch nicht durch Einbauten wie Spielgeräte eingeengt werden. Dieser Flur ist unabdingbar für die Sicherstellung des ersten baulichen Flucht- und Rettungsweges. Auch hier muss die Funktionsfähigkeit von vorhandenen Brand-/Rauchschutztüren sichergestellt sein.“*

¹⁷ Verkehrsflächen sind Bereiche, die der Erschließung des Bauwerks dienen, z. B. Flure und Treppen (siehe DIN 277-1, 2016).

Da nachts und zu arbeitsfreien Zeiten eine Brandfrüherkennung nur durch automatische Brandmeldeanlagen möglich ist, gibt die HE-Kita (2012) hierzu unter Abschnitt 4.1 an, dass alle Räume von Tageseinrichtungen für Kinder mit Rauchwarnmeldern auszustatten sind.

4.1.2 Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen

Im Folgenden werden die Anforderungen an den Brandschutz für die in Tabelle 7 genannten Produkte, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bereiche einer Kindertageseinrichtung, dargestellt. Grundsätzlich gelten für die Beschäftigten in Kindertagesstätten die Vorgaben des Arbeitsschutzgesetzes (ArbSchG) und der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV). Nach § 3a ArbStättV (2004) hat *„der Arbeitgeber dafür zu sorgen, dass Arbeitsstätten so eingerichtet und betrieben werden, dass Gefährdungen für die Sicherheit und die Gesundheit der Beschäftigten möglichst vermieden und verbleibende Gefährdungen möglichst geringgehalten werden“*.

4.1.2.1 PSA und Arbeitskleidung

An die Arbeitsbekleidung für Beschäftigte in Kindertagesstätten bestehen keine Anforderungen bezüglich des Brandschutzes und eine PSA wird in diesem Bereich nicht benötigt.

4.1.2.2 Schuhe

An die Schuhe für Beschäftigte in Kindertagesstätten bestehen keine Anforderungen bezüglich des Brandschutzes.

4.1.2.3 Haus- und Heimtextilien

Zum Thema Brandschutzanforderungen an Haus- und Heimtextilien liegen keine gesetzlichen Regelungen bzw. Mindestanforderungen vor. Einzelne Verbände haben in den vergangenen Jahren Empfehlungen veröffentlicht, die den Betreibern der Einrichtungen als Orientierungshilfe dienen können. Der Arbeitskreis Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV¹⁸ hat in 2014 „Empfehlungen zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen“ herausgegeben. Für Kindertagesstätten mit einer Fläche von mehr als 200 m² gilt demnach folgendes:

- ▶ In notwendigen Treppenräumen sind Vorhänge und Jalousien zur Abdunkelung zulässig; schwerentflammbare Dekorationen und Vorhänge als Wandbekleidung sind nicht zulässig¹⁹.
- ▶ Im notwendigen Flur, der einen von zwei unabhängigen baulichen Rettungswegen darstellt, sind schwerentflammbare Dekorationen und Vorhänge als Wandbekleidung sowie Vorhänge und Jalousien zur Abdunkelung zulässig.
- ▶ In notwendigen Fluren, die erster und zugleich zweiter Rettungsweg oder einziger baulicher Rettungsweg darstellen²⁰, sind schwerentflammbare Dekorationen und Vorhänge als Wandbekleidung sowie Vorhänge und Jalousien zur Abdunkelung zulässig.

In der Brandschutzbroschüre des Rheinischen GUVV (2006) wird darauf hingewiesen, dass bei der Verwendung von Materialien zur Dekoration darauf zu achten ist, dass diese möglichst aus nichtbrennbaren bzw. schwerentflammbaren Materialien bestehen. *„Kunststoffe bzw. Kunstfasern sollten vor allem in Bereichen der Decken nicht verwendet werden (Baldachine etc.), da diese*

¹⁸ Deutscher Feuerwehrverband

¹⁹ Wenn offene Treppe, maximal Erdgeschoss und eine Etage und zweiter baulicher Rettungsweg vorhanden, dann keine Einschränkungen.

²⁰ wenn ständig beaufsichtigt

bei einer Wärmeeinwirkung schnell in Brand geraten, dabei brennend abtropfen und so zu einer schnellen Brandausbreitung beitragen. Gerade bei großflächigen Dekorationen, egal ob an der Decke, der Wand oder auf dem Fußboden, sollten grundsätzlich nur schwerentflammbare Materialien verwendet werden.“

In allen nicht genannten Bereichen von Kindertagesstätten sind keine Mindestanforderungen für Haus- und Heimtextilien gesetzlich vorgeschrieben.

4.1.2.4 Möbel

Die Gruppenräume in Kindertagesstätten sind in der Regel mit Tischen und Stühlen ausgestattet. Hinzukommen, ähnlich wie in Wohnräumen, Polstermöbel, Regale und Schränke. In den Schlaf- räumen befinden sich Betten. Allgemein bestehen für Möbel in Kindertagesstätten keine gesetz- lichen Anforderungen bezüglich des Brandschutzes. Zur Orientierung können die Empfehlungen des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen (2014) herangezogen werden. Einzelhei- ten dazu sind in Tabelle 10 aufgeführt. Die Angaben gelten für Kindertagesstätten mit einer Flä- che von mehr als 200 m². Die sicherheitstechnische Beurteilung von Kindersitzmöbeln erfolgt nach DIN EN 17191. Gefährdungen durch Feuer sind danach nach DIN EN 71-2 zu bestimmen. Dabei muss der Nachweis erbracht werden, dass sämtliche textile Materialien, die an dem Mö- belstück zugänglich sind, kein oberflächiges Abflammen verursachen.

Tabelle 10: Empfehlungen des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen von Kindertagesstätten mit einer Fläche größer 200 m² (2014) im Vergleich zu sons- tigen Bereichen.

	Notwendiger Treppen- raum ²¹	Notwendiger Flur ²² (einer von zwei unabhä- ngigen baulichen Rettungswe- gen)	Notwendiger Flur ²³ (erster und zugleich zweiter Rettungsweg oder einziger bauli- cher RW)	Sonstige Bereiche einer Kita
Brennbare Möbel ²⁴	nicht zulässig	Duldung [wenn Gestell schwerentflammbar und Polster mit Nachweis DIN 66084 (Klasse P-a) oder Um- hüllung mit A-Material]. Keine Einschränkungen, wenn innerhalb der Nut- zungseinheit im Spielflur.	Duldung [wenn Ge- stell schwerent- flammbar und Polster mit Nachweis DIN 66084 (Klasse P-a) oder Umhüllung mit A-Ma- terial]	keine Einschrän- kungen bekannt
Nichtbrenn- bare Möbel (fest- montiert und	zulässig	zulässig	zulässig	keine Einschrän- kungen bekannt

²¹ Wenn offene Treppe, maximal Erdgeschoß und eine Etage sowie zweiter baulicher Rettungsweg vorhanden, dann keine Einschrän- kungen.

²² Wenn offene Treppe, maximal Erdgeschoß und eine Etage sowie zweiter baulicher Rettungsweg vorhanden, dann keine Einschrän- kungen.

²³ Wenn ständig beaufsichtigt (z. B. bei Theatern).

²⁴ Einzelanordnung unter Beachtung der Rettungswegbreite. Unter brennbare Möbel werden alle Möbel betrachtet, die nicht als nichtbrennbar klassifiziert sind.

	Notwendiger Treppenraum ²¹	Notwendiger Flur ²² (einer von zwei unabhängigen baulichen Rettungswegen)	Notwendiger Flur ²³ (erster und zugleich zweiter Rettungsweg oder einziger baulicher RW)	Sonstige Bereiche einer Kita
Rettungswegbreite vorhanden)				
Offene Garderobe	nicht zulässig	Duldung (nur Garderobehaken, keine weiteren Einbauten)	Duldung (nur Garderobehaken, keine weiteren Einbauten)	keine Einschränkungen bekannt
Spinde, Schränke, Schließfächer	nicht zulässig	Duldung (wenn nichtbrennbar und dichtschießend)	Duldung	keine Einschränkungen bekannt

4.1.2.5 Matratzen

An Matratzen für Kindertagesstätten bestehen keine Anforderungen bezüglich des Brandschutzes. Nach § 22 der DGUV Vorschrift 82 sind Schlafräume und ihre Ausstattungen so zu gestalten, dass Kinder bei ihrer Benutzung nicht gefährdet werden. Die Broschüre „Sichere Kita Schlafraum“ (UK NRW 2017b) empfiehlt lediglich, keine weichen Matratzen zu verwenden.

4.1.2.6 Bodenbeläge

Bodenbeläge gelten als Bauprodukt, wodurch die Anforderungen über die MBO bzw. die Bauordnungen der Länder geregelt sind. Daher besteht die Anforderung, dass sie mindestens als normalentflammbar klassifiziert sein müssen. In der harmonisierten DIN EN 14041 sind für Laminatböden, textile und elastische Bodenbeläge Parameter definiert, mit denen ohne eine Prüfung die Baustoffklasse E_{FL} (Siehe Kapitel 5.4) erreicht wird. In dieser Norm wird die DIN EN 13501-1 als Prüf- und Klassifizierungsnorm gefordert. Für Nordrhein-Westfalen fordert die LBO (BauO NRW 2018, § 36 Abs. 6 Nr. 3), dass in notwendigen Fluren sowie in offenen Gängen Fußbodenbeläge mindestens schwerentflammbar sind. In den anderen Bundesländern gilt nur die allgemeine Anforderung, dass Bodenbeläge normalentflammbar sein müssen. Nach § 35 Abs. 5 Nr. 3 MBO müssen in notwendigen Treppenräumen und in Räumen zwischen dem notwendigen Treppenraum und dem Ausgang ins Freie Bodenbeläge, mit Ausnahme der Gleitschutzprofile, aus mindestens schwerentflammbaren Baustoffen bestehen. Die Landesbauordnungen von Niedersachsen (NBauO 2012) und Baden-Württemberg (LBO BW 2010) erlauben normalentflammbare Materialien.

Nach DGUV Regel 102-002 § 8 Abs. 1 sollen Bodenbeläge, entsprechend der kinderspezifischen Nutzung, rutschhemmend ausgeführt und leicht zu reinigen sein. Laut § 24 Abs. 1 sind für Räume und Ausstattungen zur Bewegungserziehung die Fußböden und Wände so zu gestalten, dass Kinder nicht gefährdet werden. Diese Anforderungen beziehen sich jedoch auf eine ausreichende Elastizität des Bodenbelags, um Verletzungen zu vermeiden.

4.2 Schulen

Im gegliederten Schulsystem Deutschlands besuchen die Schüler nach der Grundschule (Primarstufe) verschiedene Schulformen, die in der Sekundarstufe I zusammengefasst werden. Hierzu

zählen Hauptschulen, Realschulen, Gymnasien, Gesamtschulen und Förderschulen. Die Sekundarstufe II umfasst hierzulande die gymnasiale Oberstufe und die berufsbildenden Schulen sowie Abendschulen und Kollegs für Erwachsene. Eine weitere Gliederung unterteilt die Schultypen in allgemeinbildende Schulen (Grundschule, Sekundarstufe I und II, Förderschule) und berufsbildende Schulen. Die Kulturhoheit im Bereich Schule obliegt den Bundesländern und kann demzufolge landesweit variieren. Schulträger sind die natürlichen oder juristischen Personen, die eine Schule betreiben, und für die räumlichen und sachlichen Kosten des Schulbetriebs aufkommen. Das brandschutztechnische Risiko eines Schulgebäudes ist von der Nutzergruppe, der Gebäudegröße und der Ausstattung abhängig (Lichtenauer 2013). Das Brandschutzkonzept für ein Schulgebäude richtet sich daher unter anderem nach der Nutzung, den Nutzer*innen und dem Gebäudetyp. Während bei Neubauten die aktuellen Brandschutzanforderungen im Vorfeld eingeplant werden, kann es in Altgebäuden, insbesondere bei denkmalgeschützten Gebäuden, zu Interessenkonflikten kommen (Bestandsschutz). Ein Schulgebäude kann je nach Brandentstehungsgefahr in die folgenden Bereiche eingeteilt werden (Tabelle 11).

Tabelle 11: Einstufung der Schulräume bezüglich ihrer Brandentstehungsgefahren (in Anlehnung an Lichtenauer 2013).

Räume ohne erhöhte Brandentstehungsgefahren		
Eingangsbereich	Hausmeisterbüro	Treppenhaus
Sekretariat	Lehrerzimmer	Büroräume
Klassenräume	Aula	Toilettenräume
Musikräume	Sporthallen / Umkleideräume	
Räume mit erhöhten Brandentstehungsgefahren		
Naturwissenschaftliche Übungsräume	Räume für Naturwissenschaften	Computerarbeitsräume
Material-/Lehrmittlräume	Kunst-/Werkräume	Bibliothek
Lager- und Abstellräume	(Haustechnik)	Schulküchen
Klassenräume in Grundschulen		

Normale Klassenräume werden als Räume ohne erhöhte Brandentstehungsgefahr eingestuft, ebenso wie Sekretariat, Turnhalle, Umkleideraum, WC, Mensa, Treppenhaus und Aula. Zu den Räumen mit erhöhter Brandentstehungsgefahr oder erhöhter Brandgefahr gehören z. B. naturwissenschaftliche Übungsräume, Computerarbeitsräume, Lehrmittlräume, Lager- und Abstellräume, Werkstätten, Bibliotheken, Schulküchen. In Grundschulen, deren Klassenräume zum Teil eine wohnliche Umgebung mit Mobiliar, Dekorationen aus leicht entflammaren Materialien, Spielsachen etc. bieten, wird das Brandrisiko ebenfalls höher eingeschätzt. Während der arbeitsfreien Zeiten und nachts ist eine Brandfrüherkennung durch automatische Brandmeldeanlagen möglich.

4.2.1 Anforderungen an den baulichen Brandschutz

Zu den baurechtlichen Vorschriften für Schulen gehören

- ▶ die MBO,
- ▶ die Landesbauordnungen (LBO),
- ▶ die Muster-Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen (Muster-Schulbau-richtlinie – MSchulbauR),
- ▶ die Richtlinie über Brandschutz in bestehenden Schulen (Saarland).

Zu den mitgeltenden Vorschriften zählen neben anderen die Muster-Versammlungsstättenverordnung (MVStättVO), die Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie (MLAR) und die Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie (M-LüAR). Die MVStättVO ist dann anzuwenden, wenn z. B. in Aulen oder Hallen Veranstaltungen mit mehr als 200 Besucher*innen stattfinden. Die Unterrichtsräume in allgemein- und berufsbildenden Schulen fallen jedoch nicht unter den Geltungsbereich dieser Verordnung (MVStättVO § 1 Abs. 3 Nr. 2).

Die Schulgesetze der Bundesländer und die UVV „Schulen“ (DGUV Vorschrift 81, 2001) regeln hingegen die Bereiche außerhalb der Bauvorschriften.

In den Arbeitshilfen zum Schulbau (ZNWB 2008), herausgegeben vom Sekretariat der Kultusministerkonferenz, sind Vorschriften, Richtlinien und Normen zu Bau, Betriebstechnik, Sicherheit und Gesundheit erfasst.

Schulen zählen laut MBO 2019 zu den Sonderbauten. Nach der Empfehlung des Sekretariats der Kultusministerkonferenz (zitiert aus Lichtenauer 2013, S. 7) sollten Schulgebäude nicht mehr als vier Geschosse aufweisen und gehören damit zu GK 3 oder 4. Bei Schulgebäuden für Personen mit Körperbehinderung oder geistiger Behinderung werden ein oder zwei Geschosse empfohlen. Die Anforderungen und Erleichterungen von Sonderbauten erstrecken sich auf Brandschutzanlagen, Brandschutzeinrichtungen und Brandschutzvorkehrungen sowie auf Umfang, Inhalt und Zahl besonderer Bauvorlagen, insbesondere eines Brandschutzkonzepts (MBO § 51 Satz 3 Nr. 7, Nr. 19).

Auch im Schulbau greift grundsätzlich die Einteilung der Baustoffe nach den Anforderungen an ihr Brandverhalten in nichtbrennbar, schwerentflammbar und normalentflammbar: *„Baustoffe, die nicht mindestens normalentflammbar sind (leichtentflammbare Baustoffe), dürfen nicht verwendet werden; dies gilt nicht, wenn sie in Verbindung mit anderen Baustoffen nicht leichtentflammbar sind“* (§ 26 MBO Abs. 1).

Die Muster-Schulbau-Richtlinie (MSchulbauR 2009) gilt für die Anforderungen an allgemeinbildende und berufsbildende Schulen, soweit sie nicht ausschließlich der Unterrichtung Erwachsener dienen. Es werden die Anforderungen z. B. an Bauteile, Brandwände, Rettungswege, Treppen und Türen geregelt, die im Folgenden auszugsweise vorgestellt werden.

- ▶ *„Für jeden Unterrichtsraum in demselben Geschoss müssen mindestens zwei voneinander unabhängige Rettungswege zu Ausgängen ins Freie oder zu notwendigen Treppenräumen vorhanden sein. Anstelle eines dieser Rettungswege darf ein Rettungsweg über Außentreppen ohne Treppenräume, Rettungsbalkone, Terrassen und begehbare Dächer auf das Grundstück führen, wenn dieser Rettungsweg im Brandfall nicht gefährdet ist; dieser Rettungsweg gilt als Ausgang ins Freie“* (Ziffer 3.1 MSchulbauR).
- ▶ *„Die nutzbare Breite der Ausgänge von Unterrichtsräumen und sonstigen Aufenthaltsräumen sowie der notwendigen Flure und notwendigen Treppen muss mindestens 1,20 m je 200 darauf*

angewiesener Benutzer betragen (Ziffer 3.4 MSchulbauR). Staffelungen sind nur in Schritten von 0,60 m zulässig. Es muss jedoch mindestens folgende nutzbare Breite vorhanden sein bei

- a) Ausgängen von Unterrichtsräumen und sonstigen Aufenthaltsräumen 0,90 m,*
- b) notwendigen Fluren 1,50 m,*
- c) notwendigen Treppen 1,20 m.*

- *Die erforderliche nutzbare Breite der notwendigen Flure und notwendigen Treppen darf durch offenstehende Türen, Einbauten oder Einrichtungen nicht eingeengt werden. Ausgänge zu notwendigen Fluren dürfen nicht breiter sein als der notwendige Flur. Ausgänge zu notwendigen Treppenträumen dürfen nicht breiter sein als die notwendige Treppe. Ausgänge aus notwendigen Treppenträumen müssen mindestens so breit sein wie die notwendige Treppe. An den Ausgängen zu notwendigen Treppenträumen oder ins Freie müssen Sicherheitszeichen angebracht sein“ (Ziffer 3.4 MSchulbauR).*

Empfehlungen zu Fluchtwegen im Bereich der naturwissenschaftlichen und technischen Fachräume werden außerdem in der Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht der Kultusministerkonferenz (RiSU 2019) gegeben.

4.2.2 Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen

Im Folgenden sind die Anforderungen an den Brandschutz für die in Tabelle 7 genannten Produkte, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bereiche eines Schulgebäudes, dargestellt. Grundsätzlich hat ein Arbeitgeber nach § 3a ArbStättV 2004 dafür zu sorgen, *„dass Arbeitsstätten so eingerichtet und betrieben werden, dass Gefährdungen für die Sicherheit und die Gesundheit der Beschäftigten möglichst vermieden und verbleibende Gefährdungen möglichst geringgehalten werden“*. Dies gilt auch für Klassenräume in Schulen, da diese entsprechend der Leitlinien zur ArbStättV für Lehrer (LASI 2009) Arbeitsplätze darstellen.

4.2.2.1 PSA und Arbeitskleidung

Zur Arbeitskleidung im Bereich Schule zählen Arbeitskittel für Hausmeister*innen sowie für das Reinigungspersonal. Hier bestehen keine Anforderungen bezüglich des Brandschutzes. Hinzu kommen Laborkittel für den Einsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die zumeist knielangen Kittel dienen zum Schutz der Bekleidung oder der davon bedeckten Haut vor Verschmutzung bzw. Gefahrstoffen. Laborkittel (Labormantel) können z. B. aus Baumwolle oder Baumwoll-Polyester-Mischungen hergestellt werden. Nach den Technischen Regeln für Gefahrstoffe - Laboratorien TRGS 526 (2008) ist *„bei Tätigkeiten in Laboratorien geeignete Arbeits- und Schutzkleidung zu tragen. Grundausstattung ist in der Regel ein langer Labormantel mit langen, enganliegenden Ärmeln mit einem Baumwollanteil im Gewebe von mindestens 35 Prozent.“* In der Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU 2019) werden als PSA (I–3.11; I–3.11.1 Handschutz) Handschuhe zum Schutz vor thermischen Einwirkungen aufgeführt. Diese bestehen in der Regel aus speziellen Fasern.

4.2.2.2 Schuhe

An die Schuhe für Hausmeister*innen und Reinigungskräfte bestehen keine Anforderungen bezüglich des Brandschutzes.

Für Tätigkeiten in Laboratorien gelten allgemein die Technischen Regeln für Gefahrstoffe TRGS 526 (2008). Danach darf in Laboratorien nur festes, geschlossenes und trittsicheres Schuhwerk getragen werden.

4.2.2.3 Haus- und Heimtextilien

In Grundschulen sind die Klassenzimmer oftmals wie Wohnräume eingerichtet. So können sich in den Spiel- und Ruhebereichen Dekorationen aus Stoffen, Teppiche, Kissen oder Decken befinden, die eine potentielle Brandlast darstellen. Außerdem sind Klassenzimmer häufig mit Gardinen, Vorhängen und Verdunklungsrollos ausgestattet.

Die Anforderung für den Einsatz von Textilien in öffentlichen Gebäuden mit mehr als 200 Besucher*innen (z. B. die Aula) regelt in Deutschland die Muster-Versammlungsstättenverordnung²⁵ (MVStättVO):

- ▶ *„Vorhänge von Bühnen und Szenenflächen müssen aus mindestens schwerentflammbarem Material bestehen“ (§ 33 Abs. 1 MVStättVO).*
- ▶ *„Ausstattungen müssen aus mindestens schwerentflammbarem Material bestehen. Bei Bühnen oder Szenenflächen mit automatischen Feuerlöschanlagen genügen Ausstattungen aus normalentflammbarem Material“ (§ 33 Abs. 3 MVStättVO).*
- ▶ *„Ausschmückungen müssen aus mindestens schwerentflammbarem Material bestehen. Ausschmückungen in notwendigen Fluren und notwendigen Treppenräumen müssen aus nichtbrennbarem Material bestehen“ (§ 33 Abs. 5 MVStättVO).*

Der Arbeitskreis Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV hat „Empfehlungen zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen“ (2014) veröffentlicht. Für Schulgebäude werden folgende Empfehlungen gegeben:

- ▶ In notwendigen Treppenräumen von Schulen sind schwerentflammbare Dekorationen und Vorhänge als Wandbekleidung nicht zulässig.
- ▶ In notwendigen Treppenräumen sind Vorhänge und Jalousien zur Abdunkelung zulässig.
- ▶ In notwendigen Fluren sind schwerentflammbare Dekorationen und Vorhänge als Wandbekleidung sowie Vorhänge und Jalousien zur Abdunkelung zulässig.

An den Brandschutz für Haus- und Heimtextilien für Schulen sind neben den obenerwähnten keine weiteren Anforderungen bekannt.

4.2.2.4 Möbel

Zur Möblierung eines üblichen Klassenraums zählen hauptsächlich Tische und Stühle, die zu meist aus Stahlrohrgestellen und Hartholzflächen hergestellt sind und aus Sicht des Brandschutzes als unbedenklich angesehen werden (Lichtenauer 2013, S. 4). Hinzu kommen Regale und Schränke. In Grundschulen weisen die Klassenzimmer häufig einen Spiel-/Ruhebereich auf und sind daher ähnlich wie Wohnräume mit Polstermöbeln, Regalen und Schränken eingerichtet. Nach MBO 2019 § 36 Abs. 2 müssen notwendige Flure so breit sein, dass sie für den größten zu erwartenden Verkehr ausreichen; Möbel dürfen in Fluchtwegen demnach kein Hindernis darstellen. In der Muster-Schulbau-Richtlinie (MSchulbauR) wird unter Ziffer 3.4 darauf hingewiesen, dass die erforderliche nutzbare Breite der notwendigen Flure und notwendigen Treppen durch offenstehende Türen, Einbauten oder Einrichtungen nicht eingeengt werden darf. Auch die ArbStättV gibt in § 4 Abs. 4 vor, dass der Arbeitgeber dafür zu sorgen hat, dass Verkehrswege, Fluchtwege und Notausgänge ständig freigehalten werden, damit sie jederzeit benutzbar

²⁵ Die Versammlungsstättenverordnung wird in einigen Bundesländern als Sonderbauverordnung bezeichnet.

sind.

In der Abhandlung Vorbeugender Brandschutz an Schulen in Baden-Württemberg (Gammerl 2008) sind die Anforderungen an Rettungswege in Bestandsbauten erläutert. Entsprechend dem AVBG²⁶ Merkblatt - BVS Schulen (2007) sind Brandlasten aus Fluren, die als erster Rettungswege gelten, zu entfernen. In Fluren mit einer Mindestbreite von 1,25 Metern werden Metallschränke (geschlossene Oberfläche), Ausstellungsvitrinen (verschlossen und unverrückbar), Möbel aus nicht brennbaren (A), schwerentflammbar (B1) oder klassifizierten Materialien (DIN EN 1021 oder DIN 66084, P-b) toleriert. Nicht toleriert werden Kopierer und leichtentflammbare Ausstellungsstücke in großen Mengen (zitiert aus Kolb 2017a).

Für Schulen gibt außerdem der Arbeitskreis Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen (2014) die in Tabelle 12 aufgeführten Empfehlungen.

Tabelle 12: Empfehlungen des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen von Schulen (2014) im Vergleich zu sonstigen Bereichen eines Schulgebäudes.

	Sonstige Bereiche eines Schulgebäudes	Notwendiger Treppenraum	Notwendiger Flur (einer von zwei unabhängigen baulichen Rettungswegen)	Notwendiger Flur (erster und zugleich zweiter Rettungsweg oder einziger baulicher RW)
Brennbare Möbel ²⁷	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung [wenn Gestell schwerentflammbar und Polster mit Nachweis DIN 66084 (Klasse P-a) oder Umhüllung mit A-Material]	
Nichtbrennbare Möbel (festmontiert und Rettungswegbreite vorhanden)	keine Einschränkungen bekannt	zulässig	zulässig	zulässig
Offene Garderobe	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung (nur Garderobehaken, keine weiteren Einbauten)	nicht zulässig
Spinde, Schränke, Schließfächer	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung (Schließfächer sind bei allen Schultypen möglich.)	Duldung (Schließfächer sind bei allen Schultypen möglich.) (Nur bei Grundschulen, wenn nichtbrennbar und dichtschießend)

Weitere Anforderungen an den Brandschutz von Möbeln für Schulen außerhalb der Rettungswege sind bisher nicht bekannt.

²⁶ Arbeitskreis Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der Feuerwehren von Baden-Württemberg

²⁷ Einzelanordnung unter Beachtung der Rettungswegbreite.

4.2.2.5 Matratzen

Für Matratzen, sofern im Schulbereich notwendig, sind keine Anforderungen bezüglich des Brandschutzes bekannt.

4.2.2.6 Bodenbeläge

Bodenbeläge gelten als Bauprodukt, wodurch die Anforderungen über die MBO bzw. die Bauordnungen der Länder geregelt sind. Daher besteht die Anforderung, dass sie mindestens als normalentflammbar klassifiziert sein müssen. In der harmonisierten DIN EN 14041 sind für Laminatböden, textile und elastische Bodenbeläge Parameter definiert, mit denen ohne eine Prüfung die Baustoffklasse E_{FL} (Siehe Kapitel 5.4) erreicht wird. In dieser Norm wird die DIN EN 13501-1 als Prüf- und Klassifizierungsnorm gefordert. Aber in notwendigen Treppenräumen und in Räumen zwischen dem notwendigen Treppenraum und dem Ausgang ins Freie müssen Bodenbeläge, ausgenommen Gleitschutzprofile, aus mindestens schwerentflammbaren Baustoffen bestehen (§ 35 MBO Abs. 5 Nr. 3). Die Landesbauordnungen von Niedersachsen (NBauO 2012) und Baden-Württemberg (LBO BW 2010) erlauben dort normalentflammbare Materialien. Für Nordrhein-Westfalen fordert die LBO (BauO NRW 2018, § 36 Abs. 6 Nr. 3), dass in notwendigen Fluren sowie in offenen Gängen Fußbodenbeläge mindestens schwerentflammbar sein müssen. In den anderen Bundesländern gilt nur die allgemeine Anforderung, dass Bodenbeläge normalentflammbar sein müssen.

In Versammlungsstätten sind die Anforderungen an die Bodenbeläge in Flucht- und Rettungswegen zum Teil höher. Die MVStättVO gibt in § 5 Abs. 7 vor: *„In notwendigen Treppenräumen, Räumen zwischen notwendigen Treppenräumen und Ausgängen ins Freie müssen Bodenbeläge nicht-brennbar sein. In notwendigen Fluren sowie in Foyers, durch die Rettungswege aus anderen Versammlungsräumen führen, müssen Bodenbeläge mindestens schwerentflammbar sein.“*

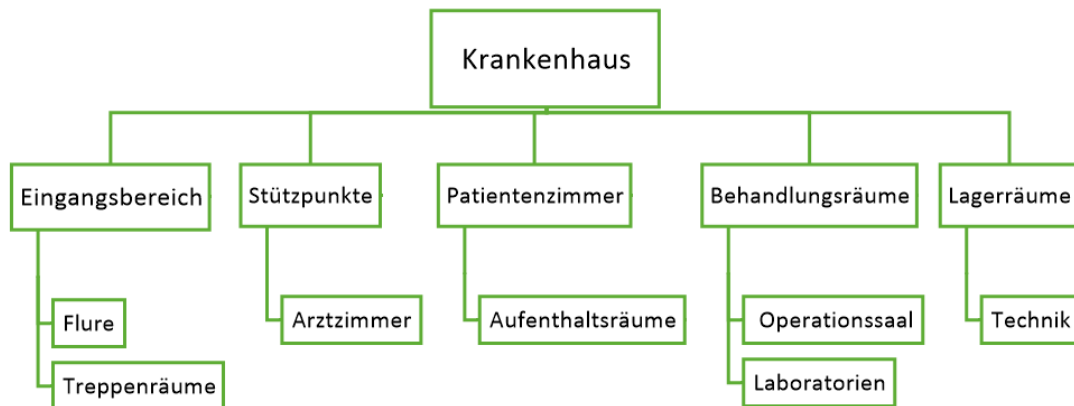
In den Technischen Regeln für Arbeitsstätten ASR A1.5/1,2 (2013) wird unter Ziffer 4 Abs. 7 vermerkt: *„Können Flüssigkeiten oder Gefahrstoffe auf den Fußboden gelangen, darf er diese Stoffe nicht so aufnehmen und speichern, dass sich hierdurch Gefährdungen für die Beschäftigten ergeben, z. B. durch Emissionen, Schimmelpilze oder Brandgefahren.“*

Nach RiSU (2019) müssen Fußböden in naturwissenschaftlichen und technischen Unterrichtsräumen *„rutschhemmend, flüssigkeitsundurchlässig, fugendicht und den jeweils anfallenden aggressiven Stoffen gegenüber weitgehend unempfindlich sein.“*

4.3 Krankenhäuser

Krankenhäuser sind je nach Art und Größe mit unterschiedlichen Funktionseinheiten ausgestattete bauliche Anlagen, *„in denen durch ärztliche und pflegerische Hilfeleistung Krankheiten, Leiden oder Körperschäden festgestellt, geheilt oder gelindert werden sollen, Geburtshilfe geleistet wird und in denen die zu versorgenden Personen untergebracht und gepflegt werden können“* (z. B. Definition Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2007). Aufgrund der unterschiedlichen Gebäudegrößen, Nutzung und technischen Ausstattung sind die Anforderungen an den Brandschutz vielfältig. So müssen im Brandfall z. B. die Evakuierung immobiler Menschen aus oberen Stockwerken sichergestellt sein und ein Ausfall medizinisch-technischer Geräte verhindert werden. Die Statistik der Krankenhausbrände in den vergangenen Jahren zeigt, dass die Brände zu nicht unerheblichen Schäden führen (BVFA 2019b). Ein vorbeugender Brandschutz soll die Wahrscheinlichkeit der Entstehung eines Brandes reduzieren und die Folgeschäden minimieren (Al-Kass 2011). Verantwortlich für den Brandschutz in Krankenhäusern ist der Betreiber (siehe z. B. BVFA 2019c). Allgemein lassen sich Krankenhäuser in folgende Bereiche einteilen (Abbildung 7).

Abbildung 7: Übliche Bereiche eines Krankenhauses.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

4.3.1 Anforderungen an den baulichen Brandschutz

Je nach Bundesland bilden verschiedene Vorschriften und Richtlinien den Rahmen für den baulichen Brandschutz in Krankenhäusern, wobei die Vorgaben zurzeit keinen einheitlichen Stand haben. Nach der MBO zählen Krankenhäuser aufgrund ihrer üblichen Gebäudehöhe sowie Anzahl und Größe der Nutzungseinheiten in der Regel zu den Sonderbauten (MBO 2019 § 2 Abs. 4 Nr. 9, 10).

Die Krankenhausbauverordnung (KhBauVO), als Muster einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern, im Dezember 1976 veröffentlicht, wurde mittlerweile zurückgezogen. Die Vorschriften in den einzelnen Bundesländern basieren bzw. basierten zum Teil auf der KhBauVO. Nur wenige Bundesländer haben Schriften speziell für Krankenhäuser herausgegeben.

- ▶ In **Berlin** wurde die Verordnung über Errichtung und Betrieb von Krankenhäusern, Krankenhausaufnahme, Führung von Krankengeschichten und Pflegedokumentationen und Katastrophenschutz in Krankenhäusern (Krankenhaus-Verordnung - KhsVO 2006) veröffentlicht.
- ▶ Die Verordnung über bauaufsichtliche Anforderungen an Krankenhäuser und Pflegeheime im Land **Brandenburg** (BbgKPBauV 2003) regelt unter Ziffer 1 Bauteile und Baustoffe sowie unter Ziffer 2 die Rettungswege.
- ▶ Für **Mecklenburg-Vorpommern** wurden die Handlungsempfehlungen zum vorbeugenden Brandschutz für den Bau und Betrieb von vollstationären Pflegeeinrichtungen der 4. Generation herausgegeben (Ministerium für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung MV 2009).
- ▶ Im **Saarland** ist die Richtlinie über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern (Krankenhausbaurichtlinie - KhBauR) in 2003 bekanntgemacht worden. Unter Ziffer 2 sind die baulichen Anforderungen und unter Ziffer 3 die Anforderungen an Räume und Raumgruppen geregelt.
- ▶ Das Standardprogramm für Krankenhäuser in **Schleswig-Holstein** wurde 2012 vom Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie und Gleichstellung des Landes Schleswig-Holstein veröffentlicht.

Die Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO BW) in der Fassung vom 5. März 2010 gibt in § 38 Sonderbauten Abs. 1 an, dass an Sonderbauten zur Verwirklichung der allgemeinen Anforderungen nach § 3 Abs. 1 im Einzelfall besondere Anforderungen gestellt werden können. Dies betrifft auch den Brandschutz. In **Baden-Württemberg** sollen die „Hinweise des Wirtschaftsministeriums über den baulichen Brandschutz in Krankenhäusern und baulichen Anlagen entsprechender Zweckbestimmung“ (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2007) als ergänzende Planungshilfe dienen.

Als weiteres Beispiel landesbaulicher Vorgaben sei hier **Bayern** erwähnt. In Artikel 62b Abs. 2 Nr. 1 Bayerische Bauordnung (BayBO 2007) muss der Brandschutznachweis durch einen Sachverständigen für Brandschutz bei Sonderbauten bescheinigt sein oder wird bauaufsichtlich geprüft.

Bauliche Maßnahmen stehen bezüglich des Brandschutzes von Krankenhäusern im Vordergrund. Wichtige Grundlage der Brandschutzmaßnahmen bei der architektonischen Konzeption ist die integrierende Planung von Brandabschnitten sowie die Sicherung der Flucht- und Rettungswege. Zur Minimierung des Brandrisikos werden technische Anlagen wie Brandmeldeanlagen, Sprinkler-, Wasser- oder Gaslöschanlagen etc. empfohlen. Ergänzend zum baulichen und anlagentechnischen Brandschutz ist der betriebliche/organisatorische Brandschutz ebenfalls wichtig. Dazu gehören z. B. die Erstellung der notwendigen Pläne, das Anbringen erforderlicher Feuerlöscher, die Brandschau und die praxisgerechte Ausbildung sämtlicher Mitarbeitenden (BVFA 2009).

An die Personenrettung bei einem Brand im Krankenhaus stellen sich aufgrund der möglichen Immobilität der Patienten besondere Anforderungen. Der Betreiber eines Krankenhauses muss daher mit der Feuerwehr eine Notfallplanung (Alarm- und Evakuierungspläne) zur Koordination der erforderlichen Maßnahmen und der Aufgabenverteilung erstellen (Al-Kass 2011).

4.3.2 Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen

Im Folgenden sind die Anforderungen an den Brandschutz für PSA und Arbeitskleidung, Schuhe, Haus- und Heimtextilien, Möbel, Matratzen und Bodenbeläge dargestellt. Die unterschiedlichen Bereiche eines Krankenhausgebäudes werden dabei mitberücksichtigt.

4.3.2.1 PSA und Arbeitskleidung

Medizinisches Personal trägt in der Regel Arbeitskleidung (Hose und Kasack/T-Shirt oder Kittel), die anstelle oder ergänzend zur Privatkleidung bei der Arbeit getragen wird. Die Arbeitskleidung hat keine spezifische Schutzfunktion gegen schädigende Einflüsse, vielmehr dient sie dem Schutz der privaten Kleidung vor Kontamination und unterscheidet auch optisch die Mitarbeitenden von Patienten (siehe z. B. KVB 2019). Es bestehen keine besonderen Brandschutzanforderungen an die Arbeitskleidung.

Gemäß TRBA²⁸ 250 (2014) ist eine Schutzkleidung (PSA) zu tragen, wenn mit einer Kontamination der Arbeitskleidung, Kontakt mit Körperflüssigkeiten und Körperausscheidungen oder einer Gefährdung durch Gefahrstoffe zu rechnen ist. Nach GUV-Regel 189 (2007) ist Schutzkleidung eine PSA, die den Rumpf, die Arme und die Beine vor schädigenden Einwirkungen bei der Arbeit schützen soll. Die verschiedenen Ausführungen der Schutzkleidung können gegen eine oder mehrere Einwirkungen schützen. Nach dieser Regel hat Schutzkleidung im medizinischen Bereich die Aufgabe, zu verhindern, dass die Kleidung (auch Berufs- oder Arbeitskleidung) mit

²⁸ Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe.

Mikroorganismen kontaminiert wird und durch Verschleppen unkontrollierbare Gefahren entstehen. Bezüglich ihrer Brenneigenschaften verweist die GUV-Regel 189 auf die inzwischen zurückgezogene DIN EN 533. Danach ist Schutzkleidung hinsichtlich des Brandschutzes geeignet, wenn sie so bemessen ist, dass ein Weiterbrennen verhindert wird und mindestens der Brennklasse S-b entspricht (DIN EN 533). Nach GUV-Regel 189 können auch Schürzen zum Einsatz kommen, sofern die vorstehend genannten Voraussetzungen erfüllt sind. Hier sind auch Operationstextilien eingeschlossen. DIN EN ISO 14116 (Schutzkleidung – Schutz gegen Flammen – Materialien, Materialkombinationen und Kleidung mit begrenzter Flammenausbreitung) ersetzt die zurückgezogene DIN EN 533 und gibt über Index 1, 2 und 3 die Leistungsanforderungen der begrenzten Flammenausbreitung vor (siehe Kapitel 5.3.1).

Zum Thema Kleidung und Schutzausrüstung für Pflegeberufe aus hygienischer Sicht hat die DGKH (2016) Begriffe und Mindestanforderungen in tabellarischer Form veröffentlicht. Darüber hinaus sind bisher keine weiteren Brandschutzanforderungen an die Arbeitskleidung für Hausmeister*innen und Reinigungskräfte bekannt.

4.3.2.2 Schuhe

Es bestehen keine Brandschutzanforderungen an Schuhe für das medizinische Personal, Reinigungspersonal oder Hausmeister*innen.

4.3.2.3 Haus- und Heimtextilien

Die Anforderungen an den Brandschutz von Haus- und Heimtextilien in Krankenhäusern werden in Deutschland nicht zentral geregelt, sondern gehen von der jeweils zuständigen Brandschutzbehörde aus. Die für ein Krankenhaus zuständige Brandschutzbehörde gibt an, ob die verwendeten Textilien (Bettwaren, Bettwäsche, Bettlaken, Tischwäsche, Decken, Funktionstücher, Frottiertwaren) in Patientenzimmern und anderen Bereichen aus schwerentflammbar Materialien bestehen müssen (siehe z. B. Güteausschuss der Gütegemeinschaft sachgemäße Wäschepflege e. V. 2019).

Nach den Richtlinien für den Brandschutz (VdS 2226 2008) sollen *„Vorhänge, Teppiche, Dekorationen usw. aus nichtbrennbaren, zumindest jedoch aus schwerentflammbar Stoffen (Baustoffklasse DIN 4102-A, zumindest DIN 4102-B1) gefertigt sein. Die Eigenschaft der Schwerentflammbarkeit muss auch nach mehrmaligem Waschen oder Reinigen erhalten bleiben.“*

Der Arbeitskreis Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV hat Empfehlungen zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen (2014) herausgegeben. Danach sind in notwendigen Fluren von Krankenhäusern schwerentflammbare Dekorationen und Vorhänge als Wandbekleidung sowie Vorhänge und Jalousien zur Abdunkelung zulässig. In notwendigen Treppenträumen sind diese nicht zulässig.

4.3.2.4 Möbel

Für die Krankenhausbereiche Patientenzimmer, Arztzimmer, Büros oder Behandlungsräume sind keine gesetzlichen Vorgaben an den Brandschutz von Möbeln, wie z. B. Bett, Schreibtisch, Schreibtischstuhl, Stuhl/Tisch, Polstermöbel, Schrank, bekannt. Die „Handlungsempfehlungen zum Vorbeugenden Brandschutz für den Bau und Betrieb von vollstationären Pflegeeinrichtungen der 4. Generation“ (Ministerium für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung MV 2009) verweisen darauf, dass innerhalb einer Nutzungseinheit in den Gemeinschaftsbereichen Einbauten und Möblierungen mindestens schwerentflammbar sein müssen; davon ausgenommen sind Massivholzmöbel.

Für den im Brandfall kritischen Bereich der Rettungswege gibt die MBO grundsätzlich vor, dass notwendige Flure so angeordnet und ausgebildet sein müssen, dass die Nutzung im Brandfall ausreichend lang möglich ist (§ 36 Abs. 1 MBO).

Auch die Technischen Regeln für Arbeitsstätten ASR A2.3 (2007) geben an, dass Fluchtwege, Notausgänge und Notausstiege ständig freigehalten werden müssen, damit sie jederzeit benutzt werden können. Die Forderung nach einer Brandlastfreiheit von Rettungswegen, entsprechend der Bauordnung, schließt nach Plum (2016) jedoch nicht aus, „dass in Einzelfällen die geplante Brandlast (z. B. Möbel, Monitore) und/oder das System der Rettungswege selbst so beschaffen sein kann, dass Brandlasten nach einer Analyse und Bewertung der Risiken als Erleichterung zugelassen werden können.“ Al-Kass (2011) formuliert im Brandschutzatlas (2018), dass Möblierungen die Rettungswege in Krankenhäusern nicht einschränken dürfen, sie müssen unverschiebbar sein und aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, damit die Ausbreitung von Entstehungsbränden vermieden wird.

Die Empfehlungen des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen (2014) sind in Tabelle 13 aufgeführt.

Tabelle 13: Empfehlungen des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen von Krankenhäusern (2014) im Vergleich zu sonstigen Bereichen eines Krankenhauses.

	Sonstige Bereiche wie z. B. Krankenzimmer, Aufenthaltsbereiche	Notwendiger Treppenraum	Notwendiger Flur (einer von zwei unabhängigen baulichen Rettungswegen)	Notwendiger Flur (erster und zugleich zweiter Rettungsweg oder einziger baulicher RW)
Brennbare Möbel ²⁹	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung [wenn Gestell schwerentflammbar und Polster mit Nachweis DIN 66084 (Klasse P-a) oder Umhüllung mit A-Material]	
Nichtbrennbare Möbel (festmontiert und Rettungswegbreite vorhanden)	keine Einschränkungen bekannt	zulässig	zulässig	zulässig
Offene Garderobe	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung (nur Garderobenhaken, keine weiteren Einbauten)	nicht zulässig
Empfangstheken (Einbau horizontal schwerentflammbar, vertikal nichtbrennbar, Nutzung mit geringer Brandlast)	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung	Duldung
Spinde, Schränke, Schließfächer	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung (wenn nichtbrennbar und dichtschließend)	nicht zulässig

²⁹ Einzelanordnung unter Beachtung der Rettungswegbreite.

In modernen Krankenhäusern werden Stützpunkte zunehmend offen zum notwendigen Flur gestaltet (Al-Kass 2011). Dabei darf die Funktion der Flure als Rettungswege nicht eingeschränkt werden. Entsprechend der obengenannten Empfehlungen (Tabelle 13) sind Empfangstheken (Einbau horizontal schwerentflammbar, vertikal nichtbrennbar und Nutzung mit geringer Brandlast) in notwendigen Fluren geduldet.

4.3.2.5 Matratzen

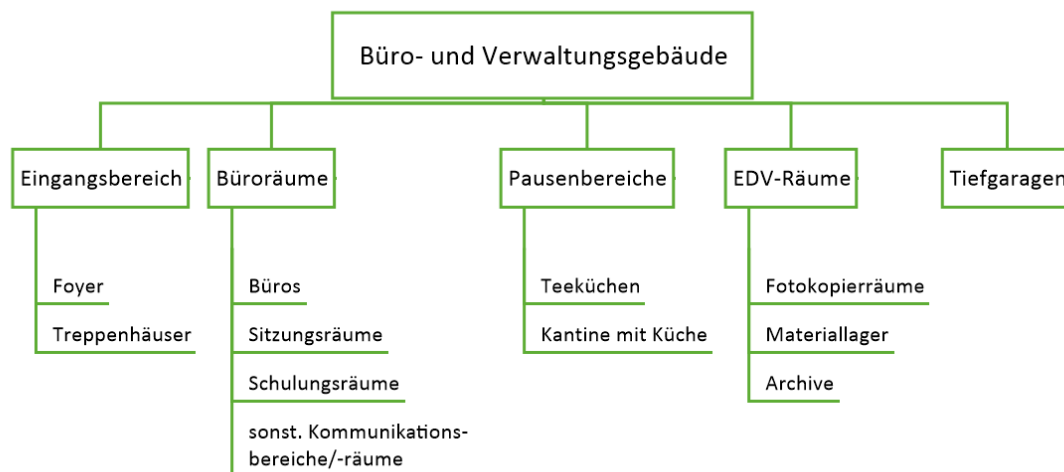
In Deutschland bestehen zurzeit keine gesetzlichen Vorgaben an den Brandschutz von Matratzen in Krankenhäusern.

4.3.2.6 Bodenbeläge

Nach § 35 Abs. 5 MBO müssen in notwendigen Treppenräumen und in Räumen zwischen dem notwendigen Treppenraum und dem Ausgang ins Freie (Abs. 3 Satz 2) Bodenbeläge, ausgenommen Gleitschutzprofile, aus mindestens schwerentflammbaren Baustoffen bestehen. Die Muster-Beherbergungsstättenverordnung (MBeVO 2000) gibt in § 6 Abs. 2 an, dass Bodenbeläge in notwendigen Fluren aus mindestens schwerentflammbaren Baustoffen bestehen müssen. Im Saarland müssen nach KhBauR (2003) Ziffer 2.11.2 Bodenbeläge in allgemein zugänglichen Fluren mindestens schwerentflammbar, in Treppenräumen, Laboratoriumsräumen und ähnlichen Räumen nichtbrennbar sein. In allen anderen Bereichen besteht die Anforderung aus der MBO, dass die Bodenbeläge normalentflammbar sein müssen. In der harmonisierten DIN EN 14041 sind für Laminatböden, textile und elastische Bodenbeläge Parameter definiert, mit denen ohne eine Prüfung die Baustoffklasse E_{FL} (Siehe Kapitel 5.4) erreicht wird. In dieser Norm wird die DIN EN 13501-1 als Prüf- und Klassifizierungsnorm gefordert.

4.4 Büro- und Verwaltungsgebäude

Abbildung 8: Übliche Bereiche in Büro- und Verwaltungsgebäuden.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

In Büro- und Verwaltungsgebäuden ist die Nutzung anders als in Wohngebäuden. So kann tagsüber zu den üblichen Arbeitszeiten mit einer größeren Belegungsdichte gerechnet werden, dagegen ist nachts und zu arbeitsfreien Zeiten wie dem Wochenende das Gebäude leer. Dadurch

können tagsüber Brände leichter bemerkt und gemeldet werden. Dagegen ist in abgelegenen Räumen wie Technik- und Installationsräumen oder Lagerräumen im Keller usw. sowie nachts und zu arbeitsfreien Zeiten eine Brandfrüherkennung nur durch automatische Brandmeldeanlagen möglich. Ein Büro- oder Verwaltungsgebäude kann aus den in Abbildung 8 dargestellten Bereichen bestehen.

4.4.1 Anforderungen an den baulichen Brandschutz

Die Anforderungen an den Brandschutz sind abhängig von der Gebäudegröße, daher gelten entweder die Brandschutzanforderungen für die GK 1 bis 5, die Sonderbauten oder für sehr hohe Gebäude (Gebäude, bei denen die Fußbodenoberkante des höchst gelegenen Geschosses höher als 22 m über der Geländeoberfläche liegt).

Für Flucht und Rettungswege fordert die MBO 2019 in jedem Geschoss mindestens zwei voneinander unabhängig erreichbare Rettungswege (§ 33), dabei muss von jeder Stelle eines Aufenthaltsraums der Treppenraum oder der Ausgang ins Freie nach höchstens 35 m Entfernung erreicht werden. Die Breite der Fluchtwege ist nur allgemein definiert, sie muss für den größten zu erwartenden Verkehr ausreichen (MBO 2019 § 36 Abs. 2) und darf nicht durch Möbel oder Ähnliches eingengt sein. Die Flucht aus Aufenthaltsräumen oder Nutzungseinheiten mit Aufenthaltsräumen zu Ausgängen in notwendige Treppenräume³⁰ oder ins Freie erfolgt über notwendige Flure (2012). In Büro- und Verwaltungsgebäuden dienen diese zur Erschließung der einzelnen Büros, sie sind nach MBO 2019 ab Gebäuden der Klasse 3 und innerhalb von Nutzungseinheiten mit mehr als 400 m² erforderlich. Die Wände der notwendigen Flure³¹ müssen mit feuerhemmenden (Feuerwiderstand von 30 Minuten) Bauteilen ausgestattet sein.

4.4.2 Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen

Im folgenden Unterkapitel werden die Anforderungen an den Brandschutz für die in Tabelle 8 genannten Produktgruppen dargestellt. Dabei werden die unterschiedlichen Bereiche eines Verwaltungs- oder Bürogebäudes in die Ausführungen mit einbezogen. Anforderungen, die unter die Versammlungsstättenverordnung fallen, werden in Kapitel 4.5 beschrieben.

4.4.2.1 PSA und Arbeitskleidung

An die Arbeitskleidung für Hausmeister*innen und Reinigungskräfte bestehen keine Anforderungen bezüglich des Brandschutzes. Eine PSA wird in Büro- und Verwaltungsgebäuden nicht benötigt.

4.4.2.2 Schuhe

An die Schuhe für Hausmeister*innen und Reinigungskräfte bestehen keine Anforderungen bezüglich des Brandschutzes.

4.4.2.3 Haus- und Heimtextilien

Notwendige Treppenräume müssen für den Schutz von Leben und Gesundheit sowie der Ermöglichung von Löscharbeiten frei von Brandlasten sein. Daher sind dort nur nichtbrennbare Materialien erlaubt.

In nicht notwendigen Fluren (Flure in den GK 1 und 2 sowie Nutzungseinheiten, die kleiner als

³⁰ Notwendige Treppen stellen den vertikalen Teil des baulichen Rettungsweges dar (§ 35 Absatz 1 MBO).

³¹ Notwendige Flure sind definiert als horizontaler Teil des baulichen Flucht- und Rettungsweges als Bindeglied zwischen den Aufenthaltsräumen bzw. Nutzungseinheiten und dem vertikalen Teil des Flucht- und Rettungsweges oder dem Ausgang ins Freie (§ 36 Absatz 1 MBO 2019).

400 m² sind) und in allen weiteren Gebäudeteilen, die in diesem Absatz nicht weiter beschrieben wurden, bestehen keine besonderen Anforderungen an den Brandschutz von Haus- und Heimtextilien. Daher dürfen dort auch brennbare Materialien verwendet werden. In allen anderen nicht genannten Bereichen gibt es keine Anforderungen an den Brandschutz.

4.4.2.4 Möbel

Möbel aus brennbaren Materialien sind in notwendigen Fluren grundsätzlich verboten, da die Flure sonst nicht frei von Brandlasten sind (Battran 2010). Eine Duldung ist in notwendigen Fluren aber möglich, wenn sie nicht die eingeplante Fluchtbreite einengen. Siehe dazu die Empfehlung des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen (2014) in Tabelle 14.

Wird die Bestuhlung in räumlich abgesetzte Wartezonen verlegt, sind brennbare Möblierungen erlaubt. Dann müssen die Wand, die Tür zum Flur und die wandhohe großflächige Verglasung einen Feuerwiderstand von 30 Minuten erfüllen. Wird im Wartebereich die Brandlast beschränkt, so müssen Verglasungen zum Flur mit G30³² (Feuerwiderstand von 30 Minuten) verbaut werden. Eine Verringerung der Brandlast kann nach Battran (2010) erreicht werden durch:

- Schwerentflammbare Polster auf nichtbrennbaren Gestellen,
- Tische und Stühle aus Hartholz,
- keine Schränke und Elektrogeräte.

In Empfangsbereichen sind die Anforderungen ähnlich denen der Wartezonen. Befindet sich der Empfangsbereich im Fluchtweg, so darf dadurch keine zusätzliche Brandlast entstehen. Notwendige Treppenhäuser müssen für den Schutz von Leben und Gesundheit sowie die Ermöglichung von Löscharbeiten frei von Brandlasten sein. Daher sind dort nur nichtbrennbare Materialien erlaubt.

In nicht notwendigen Fluren (Flure in den GK 1 und 2 sowie Nutzungseinheiten, die kleiner als 400 m² sind) und in allen weiteren Gebäudeteilen, die in diesem Absatz nicht weiter beschrieben wurden, bestehen keine besonderen Anforderungen an den Brandschutz der Möbel. Daher dürfen dort auch brennbare Materialien verwendet werden.

Tabelle 14: Empfehlungen des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen von Büro- und Verwaltungsgebäuden (2014) im Vergleich zu sonstigen Bereichen.

	Sonstige Bereiche eines Büro- und Verwaltungsgebäudes	Notwendiger Treppenraum	Notwendiger Flur (einer von zwei unabhängigen baulichen Rettungswegen)	Notwendiger Flur (erster und zugleich zweiter Rettungsweg oder einziger baulicher RW)
Brennbare Möbel ³³	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung [wenn Gestell schwerentflammbar und Polster mit Nachweis DIN 66084 (Klasse P-a) oder Umhüllung mit A-Material]	

³² Als G-Verglasungen gelten lichtdurchlässige Bauteile in senkrechter, geneigter oder waagerechter Anordnung, die dazu bestimmt sind, entsprechend ihrer Feuerwiderstandsdauer nur die Ausbreitung von Feuer und Rauch zu verhindern. Der Durchtritt der Wärmestrahlung wird lediglich behindert (DIN 4102-13 (1990)).

³³ Einzelanordnung unter Beachtung der Rettungswegbreite.

	Sonstige Bereiche eines Büro- und Verwaltungsgebäudes	Notwendiger Treppenraum	Notwendiger Flur (einer von zwei unabhängigen baulichen Rettungswegen)	Notwendiger Flur (erster und zugleich zweiter Rettungsweg oder einziger baulicher RW)
Nichtbrennbare Möbel (festmontiert und Rettungswegbreite vorhanden)	keine Einschränkungen bekannt	zulässig	zulässig	zulässig
Offene Garderobe	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung (nur Garderobenhaken, keine weiteren Einbauten)	nicht zulässig
Spinde, Schränke, Schließfächer	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung (Wenn nicht brennbar und dichtschießend.)	Duldung (Wenn nicht brennbar und dichtschießend.)

4.4.2.5 Matratzen

Matratzen sind nicht relevant für diesen Bereich.

4.4.2.6 Bodenbeläge

In notwendigen Treppenräumen müssen nach § 35 Abs. 5 der MBO 2019 alle Bodenbeläge mit Ausnahme der Gleitschutzprofile aus schwerentflammenden Baustoffen bestehen. Diese Anforderungen gelten nur ab der GK 3. Die Landesbauordnungen von Niedersachsen (NBauO 2012) und Baden-Württemberg (LBO BW 2010) erlauben in den Bereichen normalentflammbare Materialien. Für Nordrhein-Westfalen fordert die LBO (BauO NRW 2018, § 36 Abs. 6 Nr. 3), dass in notwendigen Fluren sowie in offenen Gängen Fußbodenbeläge mindestens schwerentflammbar sein müssen. In den anderen Bundesländern gilt nur die allgemeine Anforderung, dass Bodenbeläge normalentflammbar sein müssen.

Nach MBO 2019 müssen Fußbodenbeläge in den übrigen Gebäudebereichen aus mindestens normalentflammenden Baustoffen bestehen. In der harmonisierten DIN EN 14041 sind für Laminatböden, textile und elastische Bodenbeläge Parameter definiert, mit denen ohne eine Prüfung die Baustoffklasse E_{FL} (Siehe Kapitel 5.4) erreicht wird. In dieser Norm wird die DIN EN 13501-1 als Prüf- und Klassifizierungsnorm gefordert.

Befindet sich der Büro- und Verwaltungsbereich in einem Gebäude, das höher als 22 m ist, so muss die Muster-Hochhaus-Richtlinie (MHHR) von 2008 angewendet werden. Dort wird unter Ziffer 3.6 gefordert, dass Bodenbeläge in

- notwendigen Treppenräumen,
 - Vorräumen von notwendigen Treppenräumen,
 - Vorräumen von Feuerwehraufzugsschächten,
 - Räumen zwischen dem notwendigen Treppenraum und dem Ausgang ins Freie
- nichtbrennbar und in
- notwendigen Fluren

schwerentflammbar sein müssen.

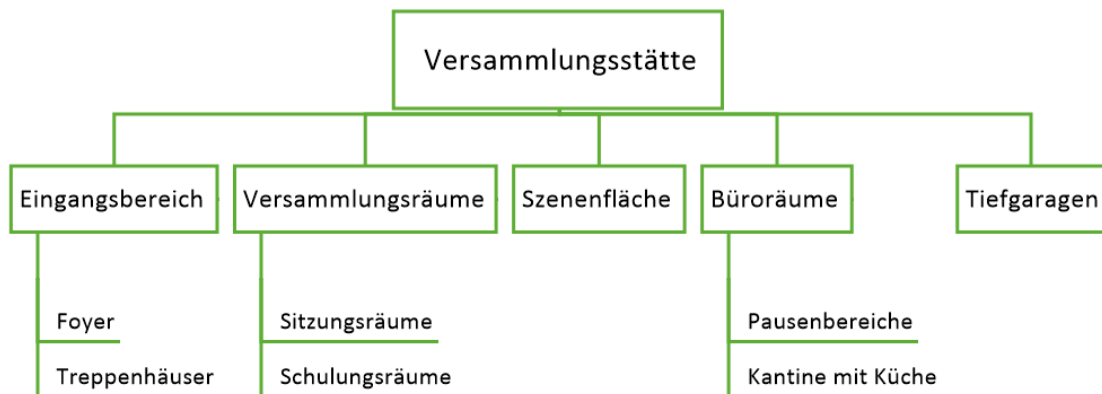
4.5 Versammlungsstätten

Orte, an denen sich aus unterschiedlichen Gründen eine Vielzahl von Personen versammeln, werden als Versammlungsstätten bezeichnet (Gröger 2015), die wie folgt vorliegen können:

- ▶ ein ganzes Gebäude (z. B. eine Mehrzweckhalle),
- ▶ eine Mehrzahl von Gebäuden (z. B. Messegelände),
- ▶ bauliche Anlagen im Freien (z. B. Amphitheater),
- ▶ Räume in sonst anders genutzten Gebäuden (z. B. Hörsaal in einem Krankenhaus).

Eine Versammlungsstätte kann aus den in Abbildung 9 dargestellten Bereichen bestehen.

Abbildung 9: Bereiche einer Versammlungsstätte.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

4.5.1 Anforderungen an den baulichen Brandschutz

Eine Versammlungsstätte ist nach MBO (2019) in den geregelten Sonderbau eingestuft. Die MVStättVO 2005 regelt dabei die Anforderungen an den Brandschutz und wird angewendet, wenn folgendes zutrifft (§1 Abs. 1):

- ▶ Versammlungsstätten mit Versammlungsräumen, die einzeln mehr als 200 Besucher*innen³⁴ fassen,
- ▶ Versammlungsstätten mit mehreren Versammlungsräumen, die insgesamt mehr als 200 Besucher*innen fassen, wenn diese Versammlungsräume gemeinsame Rettungswege haben,
- ▶ Versammlungsstätten im Freien mit Szenenflächen und Tribünen, die keine fliegenden Bauten sind und insgesamt mehr als 1000 Besucher*innen fassen,

³⁴ Besucher*innen sind hier definiert als Zuschauer*innen oder Zuhörer*innen, die passiv an der Veranstaltung beteiligt sind.

- Sportstadien und Freisportanlagen mit Tribünen, die keine fliegenden Bauten sind, und die jeweils insgesamt mehr als 5000 Besucher*innen fassen.

4.5.2 Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen

Im folgenden Unterkapitel werden die Anforderungen an den Brandschutz für die in Tabelle 9 genannten Produktgruppen dargestellt. Dabei werden die unterschiedlichen Bereiche einer Versammlungsstätte in die Ausführungen mit einbezogen.

4.5.2.1 Haus- und Heimtextilien

Notwendige Treppenhäuser müssen nach MBO 2019 für den Schutz von Leben und Gesundheit sowie zur Ermöglichung von Löscharbeiten frei von Brandlasten sein. Daher sind dort nur nicht-brennbare Materialien erlaubt.

Haus- und Heimtextilien aus brennbaren Materialien sind in notwendigen Fluren verboten, da sie sonst nicht frei von Brandlasten nach MBO 2019 sind.

In nicht notwendigen Fluren (Flure in den GK 1 und 2 sowie Nutzungseinheiten, die kleiner als 400 m² sind) und in allen weiteren Gebäudeteilen, die in diesem Abs. nicht weiter beschrieben wurden, bestehen keine besonderen Anforderungen an den Brandschutz von Haus- und Heimtextilien. Daher dürfen dort brennbare Materialien verwendet werden.

Vorhänge von Bühnen und Szenenflächen müssen nach § 33 MVStättVO aus mindestens schwerentflammbarem Material bestehen. Da diese mit der Versammlungsstätte fest verbunden sind, gelten Vorhänge von Bühnen und Szenenflächen als Bauprodukte (Klode 2016).

4.5.2.2 Möbel

Möbel aus brennbaren Materialien sind in notwendigen Fluren grundsätzlich verboten, da sie sonst nicht frei von Brandlasten nach MBO 2019 sind (Battran 2010). Stühle sind in notwendigen Fluren erlaubt, wenn sie nicht die eingeplante Fluchtbreite einengen. Siehe dazu die Empfehlung des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen (2014) in Tabelle 15.

Notwendige Treppenhäuser müssen für den Schutz von Leben und Gesundheit sowie die Ermöglichung von Löscharbeiten frei von Brandlasten sein. Daher sind dort nur nichtbrennbare Materialien erlaubt.

In nicht notwendigen Fluren (Flure in den GK 1 und 2 sowie Nutzungseinheiten die kleiner als 400 m² sind) und in allen weiteren Gebäudeteilen, die in diesem Absatz nicht weiter beschrieben wurden, bestehen keine besonderen Anforderungen an den Brandschutz der Möbel. Daher dürfen dort auch normalentflammbare und schwerentflammbare Materialien verwendet werden.

In Räumen mit mehr als 5000 Besucherplätzen müssen die Sitze aus mindestens schwerentflammbarem Material und die Unterkonstruktion aus nicht brennbarem Material bestehen (§ 33 Abs. 2 MVStättVO 2005).

Tabelle 15: Empfehlungen des Arbeitskreises Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der AGBF Bund und des DFV zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen von Versammlungsstätten (2014) im Vergleich zu sonstigen Bereichen einer Versammlungsstätte.

	Sonstige Bereiche einer Versammlungsstätte	Notwendiger Treppenraum	Notwendiger Flur (einer von zwei unabhängigen baulichen Rettungswegen)	Notwendiger Flur (erster und zugleich zweiter Rettungsweg oder einziger baulicher RW)
Brennbare Möbel ³⁵	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung [wenn Gestell schwerentflammbar und Polster mit Nachweis DIN 66084 (Klasse P-a) oder Umhüllung mit A-Material oder bei Sprinklerung]	Duldung [wenn Gestell schwerentflammbar und Polster mit Nachweis DIN 66084 (Klasse P-a) oder Umhüllung mit A-Material]
Nichtbrennbare Möbel (festmontiert und Rettungswegbreite vorhanden)	keine Einschränkungen bekannt	zulässig	zulässig	zulässig
Offene Garderobe	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung (nur Garderobenhaken, keine weiteren Einbauten oder bei Sprinklerung)	Duldung (nur Garderobenhaken, keine Einbauten und ständig beaufsichtigt)
Spinde, Schränke, Schließfächer	keine Einschränkungen bekannt	nicht zulässig	Duldung (wenn nicht brennbar und dichtschließend)	Duldung (wenn nicht brennbar und dichtschließend)

4.5.2.3 Ausstattungen, Requisiten und Ausschmückungen

Die Brandschutzanforderungen an solche Gegenstände sind in § 33 der MVStättVO geregelt. Ausstattungen müssen aus mindestens schwerentflammbarem Material bestehen, dazu gehören alle Bestandteile eines Bühnen- oder Szenenbildes (z. B. Wand-, Boden, Deckenelemente). Besitzt die Bühne eine automatische Feuerlöschanlage können die Ausstattungen auch aus normalentflammbarem Material bestehen. Alle beweglichen Einrichtungsgegenstände von Bühnen- und Szenenbildern fallen unter die Kategorie Requisite (z. B. Geschirr, Möbel, Lampen) und müssen aus mindestens normalentflammbarem Material hergestellt sein. Eine Requisite ist an Bühnen- und Szenenbilder gekoppelt, daher gibt es für diese Produkte keine Anforderungen an den Brandschutz.

Unter Ausschmückungen werden vorübergehend in eine Versammlungsstätte eingebrachte Gegenstände (z. B. Girlanden, Fahnen, künstliche Pflanzen) definiert (Klode 2016), die aus mindestens schwerentflammbarem Material bestehen müssen. Ausschmückungen in notwendigen Fluren und notwendigen Treppenräumen müssen aus nichtbrennbarem Material bestehen. Des Weiteren dürfen sich Ausschmückungen aus natürlichem Pflanzenschmuck nur so lange sie frisch sind in den Räumen befinden.

³⁵ Einzelanordnung unter Beachtung der Rettungswegbreite.

4.5.2.4 Matratzen

Matratzen sind nicht relevant für den Bereich.

4.5.2.5 Bodenbeläge

Bodenbeläge gelten als Bauprodukt, wodurch die Anforderungen über die MBO bzw. die Bauordnungen der Länder geregelt sind. Daher besteht die Anforderung, dass sie mindestens als normalentflammbar klassifiziert sein müssen. In der harmonisierten DIN EN 14041 sind für Laminatböden, textile und elastische Bodenbeläge Parameter definiert, mit denen ohne eine Prüfung die Baustoffklasse E_{FL} (Siehe Kapitel 5.4) erreicht wird. In dieser Norm wird die DIN EN 13501-1 als Prüf- und Klassifizierungsnorm gefordert. In § 5 Abs. 7 MVStättVO 2005 wird für Bodenbeläge in notwendigen Treppenräumen gefordert, dass sie in Räumen zwischen notwendigen Treppenräumen und Ausgängen ins Freie nichtbrennbar sein müssen. In notwendigen Fluren sowie in Foyers, durch die Rettungswege aus anderen Versammlungsräumen führen, müssen Bodenbeläge mindestens schwerentflammbar sein.

4.6 Bundeswehr

Die Bundeswehr gliedert sich in drei Bereiche mit unterschiedlichen Anforderungen an den Brandschutz:

- ▶ Marine (Brandschutzanforderungen werden durch die Vorgabe des IMO FTP Codes 2010 geregelt),
- ▶ Heer (Brandschutzanforderungen werden durch die Vorgabe der MBO geregelt),
- ▶ Luftwaffe (Brandschutzanforderungen werden durch die Vorgabe der ICAO geregelt).

Dabei sind die Brandschutzanforderungen im Bereich der Marine sowie der Luftwaffe höher als beim Heer, weil in den beiden erst genannten im Brandfall eine Evakuierung auf hoher See oder in der Luft schwieriger vonstattengeht.

Die Anforderungen an den Brandschutz der Kleidung bei der Bundeswehr ist in den Technischen Lieferbedingungen der Bundeswehr definiert. Für die drei Bereiche der Bundeswehr gelten folgende Anforderungen:

▶ Luftwaffe

Alle Kleidungsstücke müssen nach DIN EN ISO 6941 (2003) geprüft worden sein. Z. B. die Fliegerkombi und Fliegerjacke nach TL 8305-0337 (2010) wird dafür nach 10 Wäschen mit einer 950 °C Flamme für 15 Sekunden beflammt. Dabei dürfen kein Schmelzen und Abtropfen sowie keine Lochbildung beobachtet werden. Die Nachbrennzeit darf max. 2 Sekunden und die Nachglimmzeit 5 Sekunden betragen. Vom Probekörper darf nur max. eine Fläche von 80 x 30 mm² zerstört werden. Neben dem Brandverhalten wird auch das Schrumpfverhalten nach ISO 17493 (2016) bei einer Temperatur von 185 °C untersucht. Nach fünf Prüfminuten darf das Material nur um max. 5 % schrumpfen.

▶ Marine

Die Kleidung in diesem Bereich muss flammenhemmend ausgerüstet sein. Die Prüfungen erfolgen abhängig vom Material nach DIN EN ISO 15025 (2017) oder DIN EN ISO 6941 (2003). Anschließend darf das Material so gut wie nicht nachglimmen und nachbrennen. Dabei dürfen auch

kein Schmelzen und Abtropfen sowie keine Lochbildung beobachtet werden. Neben dem Brandverhalten wird auch das Schrumpfverhalten nach ISO 17493 (2016) bei einer Temperatur von 260 °C untersucht. Nach fünf Prüfminuten darf das Material nur um max. 10 % geschrumpft sein.

► Heer

Beim Heer gibt es nur für Kampfanzüge der Soldat*innen eine Anforderung an den Brandschutz. Dabei wird eine Flammenhemmung an das Material gefordert, das entweder nach DIN 53438 (1984), DIN EN ISO 15025 (2017) oder DIN EN ISO 6941 (2003) geprüft wird. Das Material wird in der Regel für 5 oder 10 Sekunden beflammt und darf anschließend für 0-2 Sekunden nachglimmen oder nachbrennen sowie weder abtropfen noch schmelzen.

Nur für die Fliegerstiefel (Dienst- und Kampfschuh) gibt es in der TL 8430-0065 (2020) Anforderungen an den Brandschutz. Diese müssen nach DIN EN 15090 (2012) auf Flammfestigkeit geprüft werden. Dafür werden die Stiefel wie im Anhang E der TL 8430-0065 an den folgenden drei definierten Punkten für 5 Sekunden beflammt:

1. Übergang Oberleder zum Laschenleder mit Nähten, Öse und Schnürsenkel
2. Ecke Übergang Oberleder – Ledereinsatz mit Nähten
3. Übergang Oberleder zur Zwischensohle

Während oder nach der Prüfung darf das Material weder nachbrennen noch schmelzen oder abtropfen.

In Tabelle 16 sind die einzelnen Prüfverfahren, die bei der Bundeswehr zum Erreichen der Flammenhemmung angewendet werden, gegenübergestellt.

Tabelle 16: Vergleich der Normen für Brandprüfungen von Textilien und brennbaren Werkstoffen.

Norm	Material	Prüfverfahren	Proben- größe [mm²]	Brenner- position	Dauer der Beflammung
DIN EN ISO 6941	Textilien	Verfahren A (Flächenbeflammung)	560 x 170	Horizontal zur Probenoberfläche	10 Sekunden
		Verfahren B (Unterkantenbeflammung)	560 x 170	Im Winkel von 30 ° zur Probenoberfläche	10 Sekunden
DIN EN ISO 15025	Textilien (PSA)	Verfahren A (Oberflächenbeflammung)	200 x 160	Horizontal zur Probenoberfläche	10 Sekunden
		Verfahren B (Beflammung der unteren Kante)	200 x 80	Im Winkel von 30 ° zur Probenoberfläche	10 Sekunden
DIN 53438-2	Brennbare Werkstoffe (z. B. Kunststoffe, Holz, Papier)	Kantenbeflammung	190 x 90	Im Winkel von 45 ° zur Probenoberfläche, Flammenspitze in Mitte der Unterkante	15 Sekunden

Norm	Material	Prüfverfahren	Proben- größe [mm ²]	Brenner- position	Dauer der Beflammung
DIN 53438-3	Brennbare Werkstoffe (z. B. Kunststoffe, Holz, Papier)	Flächen- beflammung	230 x 90	Im Winkel von 45 ° zur Pro- benoberfläche, Flammenspitze in Probenmitte	15 Sekunden

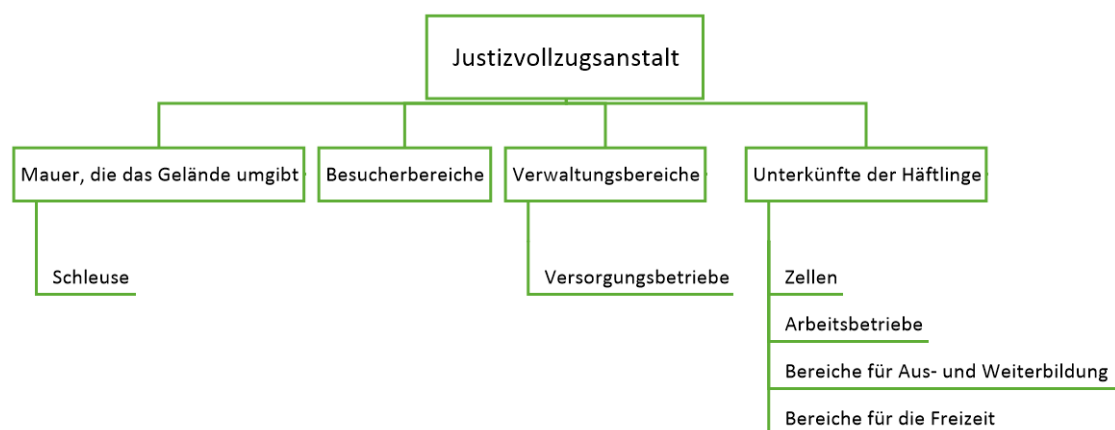
4.7 Polizei und Zoll

Die Gebäude des Zolls und der Polizei fallen in der Regel unter die Kategorie der Büro- und Verwaltungsgebäude. Aus dem Grund sind die Anforderungen an den Brandschutz für die Innenausstattung ähnlich den im Kapitel 4.4 beschriebenen. Für die Kleidung der Zoll- bzw. Polizeibeamt*innen bestehen keine Anforderungen an den Brandschutz. In geschlossenen Einheiten (Bereitschaftspolizei) werden bei der Kleidungsbeschaffung flammenhemmende Materialien verlangt, die nach DIN EN ISO 11612 nachgewiesen werden müssen.

4.8 Justizvollzugsanstalten

Die Justizvollzugsanstalten (JVA) dienen dem Vollzug der gesetzlich verfügten Freiheitsstrafe sowie der Unterbringung in der Sicherungsverwahrung (Otto 2012). Diese Anstalten sind definiert als: „... die unter einer hauptamtlichen Leitung stehenden Vollzugsbehörden als untere selbstständige Verwaltungseinheit im Bereich des Strafvollzuges (Justiz.nrw 2020)“. Dort werden Freiheitsstrafen, Sicherungsverwahrungen, Jugendstrafen, Untersuchungshaft, Zivilhaft, Abschiebehaft und Auslieferungshaft vollzogen. Auf Grund des geschlossenen Charakters solch einer Anstalt gliedert sie sich in die in Abbildung 10 aufgeführten Bereiche (Otto 2012).

Abbildung 10: Bereiche einer Justizvollzugsanstalt.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

4.8.1 Anforderungen an den baulichen Brandschutz

Die Anforderungen an eine JVA werden durch die einzelnen Bundesländer im Rahmen der Landesbauordnungen geregelt. Dabei ist die JVA nach MBO 2019 § 2 Abs. 4 unter Punkt 14 auf Grund der fehlenden Sonderbauvorschriften als nicht geregelter Sonderbau definiert. Dadurch

erfolgt eine schutzzielorientierte Betrachtung des Brandschutzes der Anlage in einem Brandschutzkonzept. Da eine JVA typischerweise aus Nutzungseinheiten von größer als 400 m² besteht und die Oberkante des Fußbodens des obersten Geschosses höher als 13 m über dem Geländeniveau liegt, sind die Gebäude in die GK 5 eingestuft (Otto 2012).

4.8.2 Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen

Im folgenden Unterkapitel werden die Anforderungen an den Brandschutz für die in Tabelle 8 genannten Produktgruppen dargestellt. Da es sich bei einer JVA um einen nicht geregelten Sonderbau handelt, bestehen für viele Bereiche keine gesetzlichen Anforderungen an den Brandschutz von Haus- und Heimtextilien, Möbel sowie Matratzen. Für Bodenbeläge gilt mit Ausnahme der Treppenhäuser die Anforderung, dass diese normalentflammbar sind. Ein individuelles Brandschutzkonzept kann höhere Anforderungen an diese Produktgruppen definieren. Gesetzlich definiert sind für eine JVA folgende Bereiche:

- ▶ In der MBO 2019 werden nach § 36 Abs. 1 Satz 2 notwendige Flure in einer JVA ab Nutzungseinheiten von mehr als 200 m² vorgeschrieben.
- ▶ In notwendigen Treppenträumen müssen nach § 35 Abs. 5 der MBO 2019 alle Bodenbeläge mit Ausnahme der Gleitschutzprofile aus schwerentflammbaren Baustoffen bestehen.

Auch für JVA werden die Anforderungen an den Brandschutz in den einzelnen Bundesländern geregelt. In Bayern gibt es eine Empfehlung für den Bau von JVA, die dort auch umgesetzt wird, (Oberste Baubehörde Bayern 2006). In dieser Empfehlung werden für alle Möbel, Matratzen, Haus- und Heimtextilien schwerentflammbare Materialien gefordert. Die Prüfung erfolgt nach dem Britischen Standard (BS 5852 2006) mittels Feuer 5 (Siehe Kapitel 5.1.3). In der Empfehlung wird für Tische, Stühle und Schränke gefordert, dass Sie aus Vollholz bestehen.

4.9 Feuerwehr

Eine moderne Feuerwehrwache besteht aus einer oder mehreren Hallen für Einsatzfahrzeuge und daneben aus Verwaltungsbereichen, Werkstätten sowie Pausen-, Schulungs- und Saniträumen. Für Feuerwehren, die ständig mit hauptamtlichen Kräften besetzt sind, sind zusätzlich noch Schlafräume vorhanden.

4.9.1 Anforderungen an den Brandschutz für verschiedene Produktgruppen

Für die Feuerwehren wurden im Rahmen dieser Recherche nur die Anforderungen an die PSA und an Schuhe erarbeitet.

Das ArbSchG 1996 bildet eine rechtliche Grundlage für die Arbeitsschutzausrüstungen. Ein Ziel des Gesetzes ist es, „...Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit durch Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu sichern und zu verbessern.“ Die PSA-Benutzungsverordnung (1996) gilt für die Bereitstellung persönlicher Schutzausrüstungen durch den Arbeitgeber sowie deren Benutzung durch Beschäftigte während der Arbeit. Die UVV „Feuerwehren“ (DGUV Vorschrift 49) regelt z. B. in § 14 PSA: „Zum Schutz vor den Gefährdungen bei Ausbildung, Übung und Einsatz müssen geeignete PSAen ausgewählt und zur Verfügung gestellt werden.“ Zur Mindestausrüstung gehören danach: Feuerwehrsutzhkleidung, Feuerwehrhelm mit Nackenschutz, Feuerwehrsutzhhandschuhe und Feuerwehrsutzhschuhe. Die Anforderungen an die Schutzkleidung werden in den jeweiligen UVV von den Unfallkassen der Feuerwehren festgelegt.

4.9.1.1 Arbeitskleidung, PSA und Schuhe

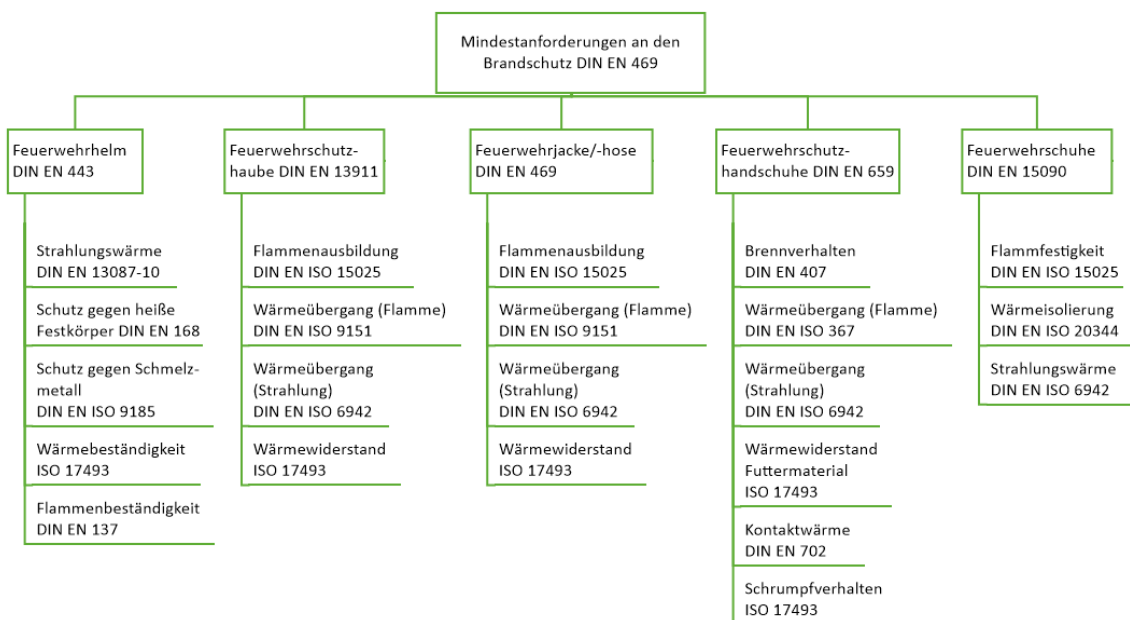
An die Arbeitskleidung und Schuhe für Hausmeister*innen und Reinigungskräfte bestehen keine Anforderungen bezüglich des Brandschutzes.

Für die Einsatzkleidung der Feuerwehrmänner und -frauen bestehen Mindestanforderungen an den Brandschutz, die in den folgenden Normen geregelt sind:

- Feuerweherschutzhelm nach DIN EN 443
- Feuerschutzhaube nach DIN EN 13911
- Feuerweerschuhwerk nach DIN EN 15090
- Feuerweerschutzhandschuhe nach DIN EN 659
- Feuerwehrjacke nach DIN EN 469
- Feuerwehrhose nach DIN EN 469

In Abbildung 11 sind die zugehörigen Normen zusammengestellt.

Abbildung 11: Normen zu den Brandschutzanforderungen von Feuerweerschutzbekleidung.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

Einzelheiten zu den Anforderungen an Feuerweerschutzbekleidung und zu den entsprechenden Normen sind dem Kapitel 5.3.3 zu entnehmen.

4.10 Brandschutzanforderungen der privaten Wirtschaft

In den Kapiteln 4.1 bis 4.9 wurden die Brandschutzanforderungen an die in Tabelle 7 bis Tabelle 9 aufgeführten Produktgruppen für öffentliche Bereiche dargestellt. Im folgenden Kapitel werden nun die Brandschutzanforderungen von Produktgruppen in öffentlichen Sektoren denen der Privatwirtschaft gegenübergestellt. Dies erfolgt am Beispiel von Beherbergungsstätten.

4.10.1 Beherbergungsstätten

Beherbergungsstätten sind nach §2 Abs. 1 der Muster-Beherbergungsstättenverordnung (MBeVO 2000) definiert als: „Gebäude oder Gebäudeteile, die ganz oder teilweise für die Beherbergung von Gästen, ausgenommen die Beherbergung in Ferienwohnungen, bestimmt sind.“

Die Anforderungen an den Brandschutz von Beherbergungsstätten sind neben der MBO 2019 in der MBeVO (2000) beschrieben. Diese Verordnung ist, wie in der MBeVO definiert, ab 12 Beherbergungsbetten anzuwenden. Nur in den Bundesländern Hessen und Nordrhein-Westfalen gelten die länderspezifischen Verordnungen erst ab 30 Beherbergungsbetten. Die Brandschutzanforderungen an die im Rahmen dieser Untersuchung dargestellten Produktgruppen sind dem öffentlichen Bereich sehr ähnlich; die MBeVO fordert zusätzlich zur MBO in §6 für die Verwendung von Bodenbelägen in notwendigen Fluren die Baustoffklassifizierung von mindestens schwerentflammbar. Diese Regel gilt ab GK 3 und abweichend zu MBO (2019) auch für Nutzungseinheiten, die kleiner als 200 m² sind.

Wie auch in den öffentlichen Bereichen dargestellt, gibt es für Möbel, Matratzen und Heimtextilien außerhalb der Flucht- und Rettungswege keine gesetzlichen Anforderungen an den Brandschutz. Der Hotelverband Deutschland hat einen Leitfaden zum Brandschutz in Hotels erstellt (HOTREC 2010) und fordert dort, dass alle Innenausbauten und Dekorationen in Gästezimmern, Fluren, Treppenaufgängen und öffentlichen Bereichen, wie etwa Bodenbeläge, Vorhänge, Lampenschirme, Hängedecken und Leuchtkörper, schwerentflammbar sein sollten. Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass Innenausstattungsgegenstände, wie zum Beispiel Möbel und Betten, schwerentflammbar sein sollten.

4.11 Resümee

Für die untersuchten Produktgruppen (PSA und Arbeitskleidung, Schuhe, Haus- und Heimtextilien, Möbel, Matratzen, Bodenbeläge) bestehen unterschiedliche Anforderungen an den Brandschutz; diese sind abhängig von den Bereichen (Kindertagesstätten, Schulen, Krankenhäuser, Büro- und Verwaltungsgebäude, Bundeswehr, Justizvollzugsanstalten, Versammlungsstätten, Feuerwehr, Polizei/Zoll), in denen sie verwendet werden.

Für **Arbeitskleidung, PSA und Schuhe** in Kitas und Schulen gibt es, abgesehen von Laborkitteln und Handschuhen für den naturwissenschaftlichen Unterricht, keine besonderen Anforderungen an den Brandschutz. Zu PSA im Krankenhaus hat die GUV ein Regelwerk zusammengestellt, wobei nur mit einer Normangabe auf den Brandschutz verwiesen wird. Eine große Rolle spielen dagegen die Brandschutzeigenschaften der Kleidung für die Bereitschaftspolizei, einige Bereiche der Bundeswehr, insbesondere der Luftwaffe und der Marine, sowie für die Feuerwehr. Die Mindestanforderungen an den Brandschutz von Einsatzkleidung der Feuerwehr sind über die UVV geregelt und in zahlreichen Normen festgelegt. Sowohl in Büro- und Verwaltungsgebäuden als auch in den JVA werden hier keine besonderen Anforderungen an den Brandschutz gestellt.

Für **Möbel und Haus- und Heimtextilien** außerhalb der (notwendigen) Flucht- und Rettungswege in Kitas, Schulen, Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie Krankenhäusern konnten keine gesetzlichen Anforderungen an den Brandschutz ausfindig gemacht werden. Flucht- und Rettungswege sind entsprechend der MBO von Brandlasten frei zu halten. In individuellen Brandschutzkonzepten, zum Beispiel für Krankenhäuser oder Verwaltungsgebäude, können höhere Anforderungen an die Ausstattung der Gebäude gestellt werden. Die gesetzlichen Regelungen für JVA sind Ländersache. Es besteht nur sehr begrenzter Zugang zu Informationen, welche die Anforderungen an den Brandschutz betreffen. In dieser Studie konnte daher nur die Sachlage in Bayern betrachtet werden. Danach müssen in bayerischen JVAs schwerentflammbare Materialien für Möbel sowie Haus- und Heimtextilien eingesetzt werden. Die Produktgruppen Möbel sowie Haus- und Heimtextilien wurden bei der Feuerwehr sowie bei Polizei/Zoll nicht betrachtet.

Derzeit bestehen in Deutschland keine gesetzlichen Brandschutzanforderungen an **Matratzen** für Krankenhäuser und Kitas. In bayerischen JVs sind für Matratzen schwerentflammbare Materialien einzusetzen. In Schulen sowie Büro- und Verwaltungsgebäuden sind Matratzen nicht von Relevanz und wurden daher nicht betrachtet. In den Bereichen Feuerwehr, Bundeswehr sowie Polizei/Zoll wurde keine nähere Untersuchung vorgenommen.

Die Brandschutzanforderungen an die **Ausstattung, Requisiten** und **Ausschmückungen** von Versammlungsstätten sind in der Muster-Versammlungsstättenverordnung umfassend dargestellt. Ausstattung und Ausschmückungen müssen mindestens schwerentflammbar ausgerüstet sein, dagegen besteht an Requisiten nur die Anforderung, dass sie normalentflammbar ausgestattet sein müssen.

Bodenbeläge gelten als Baustoffe und müssen der Baustoffklasse normalentflammbar entsprechen. Nach der MBO müssen Bodenbeläge in notwendigen Treppenträumen etc. aus mindestens schwerentflammbaren Baustoffen bestehen. Einige Landesverordnungen sowie die Muster-Berbergungsstättenverordnung erweitern die Schwerentflammbarkeit der Bodenbeläge in den untersuchten Bereichen auch auf notwendige Flure. In Büro- und Verwaltungsgebäuden richten sich die Brandschutzanforderungen an die Bodenbeläge auch nach der GK. Hohe Anforderungen an Bodenbeläge stellt die Muster-Versammlungsstättenverordnung; hier wird für notwendige Treppenträume etc. gefordert, dass die Bodenbeläge nichtbrennbar sind und in notwendigen Fluren etc. müssen sie mindestens schwerentflammbar sein.

Letztendlich lässt sich feststellen, dass bezüglich der Brandschutzanforderungen an die untersuchten Produktgruppen weitaus weniger gesetzliche Regelungen vorliegen, als zu Beginn der Recherche vermutet wurde.

5 Prüfverfahren für das Brandverhalten von Produkten

Das Brandverhalten bezeichnet die Reaktion eines Probekörpers, wenn dieser bei einer Brandprüfung unter festgelegten Bedingungen Feuer ausgesetzt ist (DIN EN ISO 13943). Im Folgenden sind die relevanten Prüfverfahren für die Produktgruppen Polstermöbel, Matratzen, Haus- und Heimtextilien, Arbeitskleidung, PSA, Schuhe sowie Bodenbeläge und andere Bauprodukte beschrieben.

Bei den Nachweisverfahren muss zwischen Baustoffprüfungen und Materialprüfungen unterschieden werden. Bauprodukte werden als Baustoffe und Bauteile, die dauerhaft in baulichen Anlagen des Hoch- und Tiefbaus eingebaut werden, sowie als Baustoffe und Bauteile vorgefertigter Anlagen, die mit dem Erdboden verbunden werden, definiert (z. B. Gabler Wirtschaftslexikon 2019). Bauprodukte sind demnach Produkte, die fest mit dem Gebäude verbunden sind und deren Position im Bauwerk nicht ohne Weiteres verändert werden kann, wie bspw. Mauerziegel (Baustoff), Wände (Bauteil) oder eben auch Vorhänge von Bühnen und Szenenflächen. Diese Produkte werden entweder auf nationaler Ebene nach der DIN 4102 oder auf europäischer Ebene nach der harmonisierten DIN EN 13501 bezüglich ihres Brandverhaltens geprüft und klassifiziert. Die DIN EN 13501 bietet umfangreichere Klassifizierungsmerkmale als die DIN 4102 und erfasst ebenso Brandnebenerscheinungen wie die Rauchentwicklung und brennendes Abtropfen/Abfallen von Materialien. Für Polstermöbel, Matratzen sowie Haus- und Heimtextilien liegen spezifische Prüfnormen vor, die eine Prüfung des Produkts als Ganzes vorsehen (z. B. DIN 66084 Polsterverbünde). Dennoch werden die Textilien, aus denen die Produkte bestehen, oftmals zusätzlich nach DIN 4102 oder DIN EN 13501 geprüft. Ein direkter Vergleich der Eigenschaften eines nach DIN 66084 geprüften Polsterverbunds mit einem nach DIN 4102 bzw. DIN EN 13501 z. B. als schwerentflammbar klassifizierten Bezugstoffs ist nicht möglich.

5.1 Prüfverfahren für Polstermöbel, Matratzen sowie Haus- und Heimtextilien

5.1.1 Klassifizierung des Brandverhaltens von Polsterverbunden und Matratzen

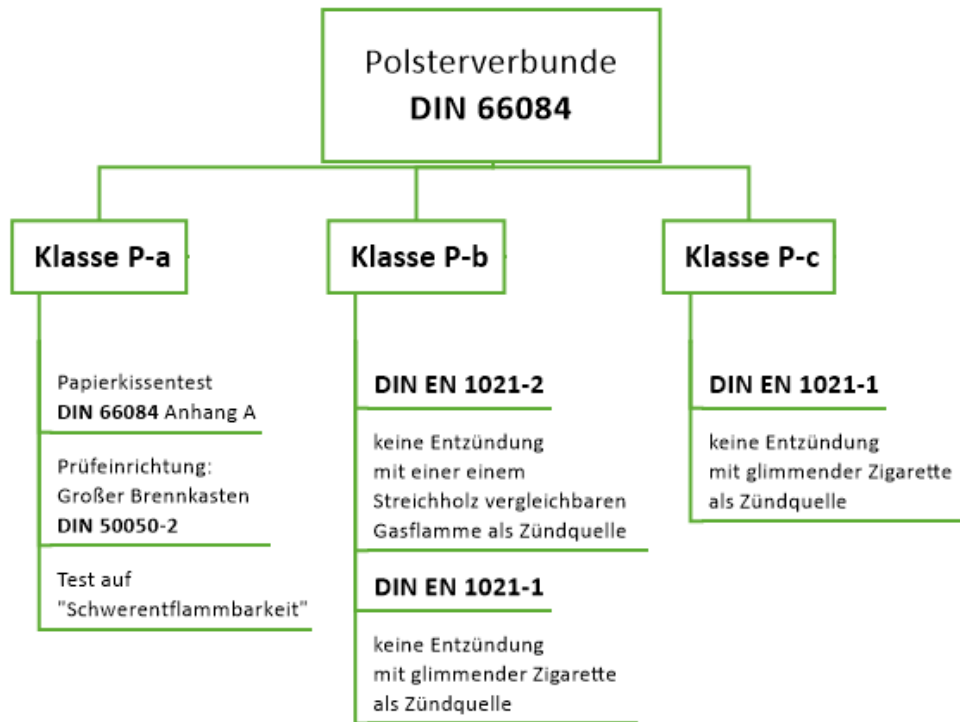
Das Brandverhalten von Polsterverbunden³⁶ wird nach der DIN 66084 bewertet und in die drei folgenden Klassen eingeteilt:

1. Klasse P-a → Material besteht den Papierkissentest
2. Klasse P-b → Material besteht den Test mit einer Streichholzflamme und einer glimmenden Zigarette
3. Klasse P-c → Material besteht den Test mit einer glimmenden Zigarette

Dabei stellt die Klasse P-a die höchsten Anforderungen an den Brandschutz und damit werden die am wenigsten brennbaren Polsterverbünde bezeichnet. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Brandprüfungsverfahren beginnend mit der Klasse P-c kurz beschrieben. Abbildung 12 gibt eine Übersicht über die Klasseneinteilung und die zugehörigen Normen.

³⁶ Polsterverbund nach DIN 66084: Kombination aus verschiedenen Schichten und Materialien (z. B. Polsterbezugstoff mit Zwischenlage und Unterpolsterung), wie sie im Endprodukt verwendet wird.

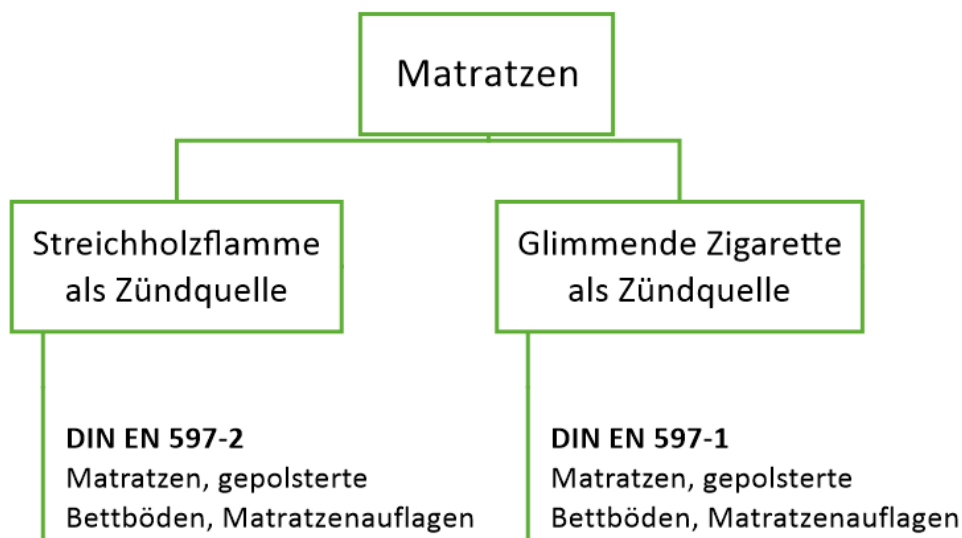
Abbildung 12: Klassifizierung des Brandverhaltens von Polsterverbunden.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

Für Matratzen sind zwei international anerkannte Prüfungen vorgesehen. Diese sind in Abbildung 13 schematisch dargestellt.

Abbildung 13: Bewertung der Entzündbarkeit von Matratzen (-auflagen) und gepolsterten Bettböden.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

5.1.1.1 Bewertung der Entzündbarkeit von Matratzen und Polstermöbeln mit glimmender Zigarette als Zündquelle

Die Entzündbarkeit von Matratzen, gepolsterten Bettböden oder Matratzenauflagen kann mit dem in DIN EN 597-1 beschriebenen Prüfverfahren beurteilt werden. Als Zündquelle dient dabei eine glimmende Zigarette (Abbildung 13)

In DIN EN 1021-1 ist das Prüfverfahren zur Bestimmung der Entzündbarkeit von Werkstoffkombinationen wie Bezügen und Füllungen für gepolsterte Sitzmöbel festgelegt. Auch hier wird eine glimmende Zigarette als Zündquelle verwendet. Mit den Prüfungen nach DIN EN 1021-1 wird jedoch nur die Entzündbarkeit einer Kombination von Werkstoffen bestimmt, nicht die Entzündbarkeit eines bestimmten fertigen Möbelstücks, das aus diesen Werkstoffen besteht.

Eigenschaften der Probekörper

Nach DIN EN 597-1 muss bei Prüfungen im kleinen Maßstab die repräsentative Prüfeinheit von rechteckiger Form sein und eine Mindestgröße von 450 mm x 450 mm x Nenndicke der fertig bearbeiteten Matratze, Matratzenauflage oder des gepolsterten Bettbodens aufweisen. Bei Prüfungen im großen Maßstab wird das tatsächliche Produkt geprüft.

Nach DIN EN 1021-1 gehören zur Prüfeinheit Werkstoffe aus repräsentativen Proben des Bezugs, des inneren Bezugs³⁷, der Füllung und anderer Bestandteile, die in einer realen Sitzkonstruktion verwendet werden können. Die Maße für die Prüfung des äußeren Bezugs³⁸ müssen 800 mm x 650 mm betragen. Bei Prüfung des inneren Bezugs gelten dieselben Maße und Ausrichtung wie bei dem äußeren Bezug, unter dem er am Prüfgestell befestigt wird. Für jede Prüfung der Polsterfüllung sind zwei Stücke notwendig, die die Maße 450 mm x 300 mm x 75 mm (Dicke) und 450 mm x 150 mm x 75 mm (Dicke) aufweisen sollen. Bezüge, die zum Verringern der Entzündbarkeit chemisch behandelt wurden, müssen vor der Konditionierung einer Wässerung und Trocknung unterzogen werden. Alle zu prüfenden Werkstoffe sowie die Zigaretten sind zu konditionieren.

Aufbau der Prüfeinrichtung

Das Prüfgestell für die Bewertung der Entzündbarkeit von Matratzen nach DIN EN 597-1 besteht aus einer Auflage aus Steckgitter oder mit offenen Maschen mit einer Mindestgröße von 450 mm x 450 mm, die mindestens 75 mm über einem festen Untergrund befestigt wird.

Das Prüfgestell für die Bewertung der Entzündbarkeit von Polstermöbeln gemäß DIN EN 1021-1 muss aus zwei rechteckigen, um ein Scharnier klappbaren Rahmen bestehen, die im rechten Winkel zueinander festgestellt werden können.

Durchführung der Prüfung

Für die Prüfung von Matratzen nach DIN EN 597-1 im kleinen Maßstab wird die Prüfeinheit auf das Prüfgestell gelegt. Für Prüfungen im großen Maßstab werden Bettböden³⁹, Matratzen oder Matratzenauflagen auf einer horizontalen Fläche geprüft. Im gegebenen Zeitraum werden zwei Zigaretten⁴⁰ angezündet und Luft wird durchgesaugt, bis die Spitze hell glüht. Die glimmenden Zigaretten werden auf einem ebenen Teil der oberen Fläche der Prüfeinheit angebracht, sodass sie mindestens 50 mm von der nächsten Kante oder von Markierungen, die von früheren Prüfungen stammen, entfernt sind. Der Verbrennungsvorgang wird beobachtet und jedes Anzeichen von Entzündung durch fortschreitendes Schwelen oder von flammender Entzündung etc. der Prüfeinheit wird aufgezeichnet.

³⁷ Werkstoffschicht zwischen dem äußeren Bezug und der Polsterfüllung mit einer Nenndicke kleiner als oder gleich 2 mm.

³⁸ Äußere Schicht des Möbelteils.

³⁹ Die Füße der Bettböden können angebracht werden, wenn sie beim tatsächlichen Erzeugnis vorhanden sind.

⁴⁰ Es werden zylindrische Zigaretten ohne Filter verwendet.

Für die Prüfung von Polstermöbeln nach DIN EN 1021-1 sind der Bezug, der innere Bezug und die Füllungsproben in das Prüfgestell einzuziehen und zu befestigen. Zwei glimmende Zigaretten (Bedingungen entsprechen DIN EN 597-1) sind entlang der Verbindungsstelle zwischen horizontalem und vertikalem Teil so in der Prüfeinheit zu platzieren, dass die Zigaretten mindestens 50 mm von einer der Seitenkanten oder von jeder anderen Markierung, die von früheren Prüfungen stammt, entfernt sind. Der Verbrennungsvorgang wird beobachtet und jedes Anzeichen fortschreitenden Schwelens oder Brennens etc. im Polster/Bezug wird aufgezeichnet.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Die Bewertung der Entzündbarkeit nach DIN EN 597-1 und DIN EN 1021-1 erfolgt anhand der Brenn- und Schwelkriterien. Zu den Schwelkriterien gehören:

- a) gefährliche, eskalierende Verbrennung,
- b) Prüfeinheit aufgezehrt,
- c) Schwelen bis zu den Kanten (gilt für DIN EN 1021-1 – Polstermöbel),
- d) Schwelen durch die gesamte Dicke,
- e) Schwelen über mehr als 1 Stunde,
- f) bei abschließender Untersuchung Anzeichen eines fortschreitenden Schwelbrandes.

Zu den Brennkriterien zählt das Auftreten von Flammen.

Die Prüfung ist bestanden, wenn keines der obengenannten Kriterien erfüllt wird.

5.1.1.2 Bewertung der Entzündbarkeit von Polstermöbeln und Matratzen mit einer einem Streichholz vergleichbaren Gasflamme als Zündquelle

DIN EN 597-2 beschreibt ein Prüfverfahren zur Beurteilung der Entzündbarkeit von Matratzen, gepolsterten Bettböden oder Matratzenauflagen, wobei eine Gasflamme als Zündquelle eingesetzt wird. Dabei werden die gesamte obere Fläche oder typische Stellen der oberen Fläche der Prüfkörper mit einer einem Streichholz vergleichbaren Gasflamme so in Kontakt gebracht, dass sämtliche Bereiche mit unterschiedlichen Eigenschaften geprüft werden.

DIN EN 1021-2 legt ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Entzündbarkeit von Werkstoffkombinationen wie Bezüge und Füllungen für gepolsterte Sitzmöbel fest, wenn diese ebenfalls einer kleinen Gasflamme als Zündquelle ausgesetzt sind. Diese Prüfungen geben einen Anhaltspunkt, jedoch keine Garantie für das Entzündungsverhalten des fertigen Möbelstücks.

Eigenschaften der Probekörper

Die Probekörper entsprechen denen aus DIN EN 597-1 und DIN EN 1021-1 (siehe Kapitel 5.1.1.1).

Aufbau der Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtungen entsprechen denen aus DIN EN 597-1 und DIN EN 1021-1 (siehe Kapitel 5.1.1.1).

Durchführung der Prüfung

Für die Prüfung von Matratzen nach DIN EN 597-2 im kleinen Maßstab wird die Prüfeinheit auf das Prüfgestell gelegt. Für Prüfungen im großen Maßstab werden die Prüfkörper auf einer horizontalen Fläche geprüft. Das Brennerrohr wird gegen einen ebenen Teil der oberen Fläche der Prüfeinheit für 15 Sekunden gerichtet, sodass es mindestens 100 mm vom nächsten Rand oder von den Brandspuren einer früheren Prüfung entfernt ist. Der Verbrennungsvorgang wird beobachtet und jedes Anzeichen von Entzündung durch fortschreitendes Schwelen oder von flammender Entzündung im Polster und/oder Bezug wird aufgezeichnet.

Für die Prüfung von Polstermöbeln nach DIN EN 1021-2 sind der Bezug, der innere Bezug und

die Füllungsproben in das gereinigte Prüfgestell einzuziehen und zu befestigen. Der Polsterverbund wird so aufgebaut, dass er wie bei einem üblichen Sessel, jedoch in stilisierter Form, den Übergang zwischen einer Sitzfläche und einem Rückenteil darstellt. Das Brennerrohr ist entlang der Verbindungsstelle zwischen horizontalem und vertikalem Teil der Prüfeinheit zu platzieren, sodass die Flamme mindestens 50 mm von einer der Seitenkanten entfernt ist. Das Gas ist für die Dauer von 15 Sekunden brennen zu lassen; danach ist der Zündvorgang durch vorsichtiges Entfernen des Brennerrohrs vom Probekörper zu beenden. Der Verbrennungsvorgang ist zu beobachten und jedes Anzeichen fortschreitenden Schwelens oder Brennens im Polster und/oder Bezug zu notieren.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Die Bewertung der Entzündbarkeit nach DIN EN 597-2 und DIN EN 1021-2 erfolgt anhand der Brenn- und Schwelkriterien. Zu den Schwelkriterien gehören:

- a) Gefährliche, eskalierende Verbrennung,
- b) Prüfeinheit aufgezehrt,
- c) Schwelen bis zu den Kanten (gilt für Polstermöbel – DIN EN 1021-2),
- d) Schwelen durch die gesamte Dicke,
- e) Schwelen über mehr als 1 Stunde,
- f) bei abschließender Untersuchung Anzeichen eines fortschreitenden Schwelbrands.

Zu den Brennkriterien zählen:

- a) Gefährliche, eskalierende Verbrennung,
- b) Prüfeinheit aufgezehrt,
- c) Brennen bis zu den Kanten (gilt für DIN EN 1021-2 – Polstermöbel),
- d) Brennen durch die gesamte Dicke,
- e) Flammen länger als 120 Sekunden,
- f) Brennen länger als 120 Sekunden (gilt für DIN EN 1021-2 – Polstermöbel).

Die Prüfung ist bestanden, wenn keines der in dieser Aufzählung genannten Kriterien erfüllt wird.

5.1.1.3 Bestimmung des Brennverhaltens mit einem Papierkissen

Die DIN 66084, Anhang A, beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung des Brennverhaltens von Polsterverbunden. Mit diesem Test wird ein brennendes Stück Papier oder eine brennende Zeitung auf einer Sitzfläche simuliert. Damit kann das Brennverhalten von Sitzen innerhalb der Brandentstehungsphase beurteilt werden.

Eigenschaften der Probekörper

Geprüft werden Polsterbestandteile (Formpolsterteile, Bezugstoff).

Aufbau der Prüfeinrichtung

Die Prüfung wird im Brennkasten nach DIN 50050-2 vorgenommen. Die Probekörper werden auf einem Prüfrahmen (450 mm x 450 mm x 300 mm) angebracht. Die Papierkissen bestehen aus 100 g weißem unbedrucktem Papier (45 bis 50 g/m²).

Durchführung der Prüfung

Die Prüfkörper und die Papierkissen werden vor der Prüfung im Normalklima klimatisiert. Zu prüfen sind drei Prüflinge der gleichen Art. Die Formpolsterteile werden auf die Gitterböden der Prüfraumen gelegt, der Bezugsstoff darüber gespannt und rückseitig angeklammert. Der Prüfkörper ist im Brennkasten mittig aufzustellen. Das Papierkissen wird mittig flach auf den Sitz gelegt, sodass die ungeklammerte Längsseite die Rückenlehne berührt. Das Papierkissen wird an allen vier Ecken gezündet und der Brennkasten geschlossen. Es werden gemessen:

- die max.e Flammenhöhe ab der Sitzoberfläche auf 10 cm gerundet,
- die Zeit bis zum selbständigen Verlöschen der Flammen, in Minuten oder Sekunden,
- die Zeit, bis die Flammenspitze die Oberkante der Rückenlehne erreicht, in Minuten oder Sekunden,
- der Zeitpunkt abnehmender Tendenz des Brandgeschehens, in Minuten oder Sekunden,
- die Zeit, bis die Flammenspitze die Oberkante der Rückenlehne wieder unterschreitet, in Minuten oder Sekunden,
- die Zeit bis zum Ende des Nachglimmens, in Minuten oder Sekunden.

Die Versuchsdauer beträgt höchstens 15 Minuten. Die Ausmaße der zerstörten Polsterbereiche werden gemessen.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

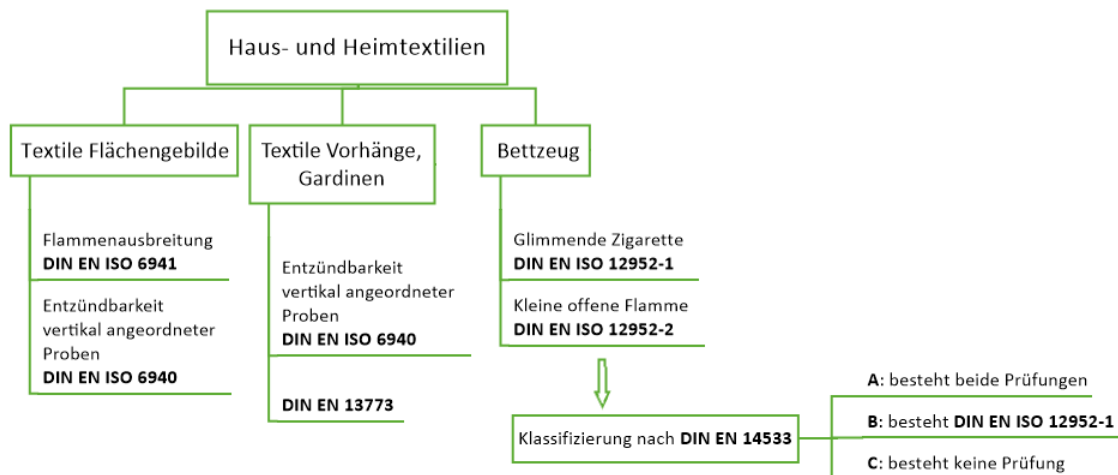
Zum Bestehen der Prüfung darf die Flammenhöhe die Rücklehne des untersuchten Polstermöbelstücks max. 45 cm übersteigen, gleichzeitig darf die Flammenfront die Armlehnen bzw. Kanten der Polsterfläche nicht erreichen und die Flamme muss nach 15 Minuten erlöschen.

5.1.2 Klassifizierung des Brandverhaltens von Haus- und Heimtextilien

Zu den Haus- und Heimtextilien⁴¹ zählen z. B. Gardinen und Vorhänge, Decken, Bettwäsche und Tischwäsche, die für die Innenausstattung und Innendekoration verwendet werden. Das Brandverhalten von Textilien ist gekennzeichnet durch die Entzündlichkeit, Flammenausbreitungsgeschwindigkeit, Wärmeentwicklung, Schrumpfen, Schmelzen, Rauchentwicklung und Bildung toxischer Gase (Meckel 1978). Abbildung 14 gibt eine Übersicht über die relevanten Normen bezüglich der Prüfung des Brandverhaltens und der Klassifizierung von Haus- und Heimtextilien.

⁴¹ Unter Haus- und Heimtextilien sind Waren, die für die Innenausstattung und Innendekoration verwendet werden, zu verstehen. Darunter fallen Wohndecken, Plaids, Bettwäsche, Tischwäsche, Küchenwäsche, Badtextilien, Wäsche zur Körperpflege, Gardinen, Vorhänge, Schabracken und Posamente sowie Bezugsstoffe für Möbel.

Abbildung 14: Normen zur Prüfung des Brennverhaltens und zur Klassifizierung von Haus- und Heimtextilien⁴².



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

5.1.2.1 Prüfung der Entflammbarkeit von textilen Flächengebilden

Das Brennverhalten von textilen Flächengebilden wird zum einen mit DIN EN ISO 6941 (2003) durch die Messung der Flammenausbreitungseigenschaften vertikal angeordneter Proben geprüft. Zum anderen gibt DIN EN ISO 6940 (2004) das Verfahren für die Bestimmung der Entzündbarkeit vertikal angeordneter Proben an.

Die DIN EN ISO 6941 beschreibt ein Verfahren zur Messung der Flammenausbreitungszeit von vertikal angeordneten textilen Flächengebilden und industriellen Erzeugnissen in Form von Einzel- oder Verbundtextilien (beschichtet, gesteppt, mehrlagig, Verbundkonstruktionen und ähnliche Kombinationen). Hierfür wirkt eine kleine definierte Flamme eines festgelegten Brenners für die Dauer von 10 Sekunden auf die Oberfläche oder die Unterkante vertikal angebrachter textiler Messproben ein. Aufgezeichnet wird die Flammenausbreitungsdauer, die von der Flammenfront benötigt wird, um sich zwischen Markierfäden zu bewegen, die sich in drei Abständen von der Zündflamme an der Oberfläche der Messprobe befinden.

Eigenschaften der Probekörper

Eine Prüfung besteht aus sechs Messproben, wobei die Fasern bei dreier dieser Messproben in Längsrichtung und bei den anderen drei in Querrichtung verlaufen müssen. Die Messproben werden mit den Maßen 560 mm x 170 mm ausgeschnitten.

Aufbau der Prüfeinrichtung

Verfahren A (Flächenbeflammung): Die Messprobe wird so auf den Trägernadeln eines Messprobenhalters angebracht, dass sichergestellt ist, dass diese durch die mit der Schablone markierten Punkte hindurchgehen und die Rückseite der Messprobe mindestens 20 mm vom rechteckigen Metallrahmen des Messprobenhalters entfernt ist. Der Messprobenhalter wird so am Befestigungsrahmen befestigt, dass sich die Messprobe in vertikaler Stellung befindet. Der Brenner wird lotrecht zur Messprobenoberfläche so positioniert, dass die Achse des Brennerstabilisators 20 mm oberhalb der Linie der unteren Trägernadeln liegt und an der vertikalen Mittellinie der

⁴² Bettzeug ist ein allgemeiner Ausdruck für alle auf der Matratze oder dem Bett für Komfort und Wärme sowie zur Dekoration verwendeten Artikel (siehe auch Kap 5.1.2.3).

Messprobenvorderseite ausgerichtet ist. Die Brennermündung muss einen Abstand von 17 mm zur Messprobenoberfläche haben. Der Brenner wird in die horizontale Bereitschaftsstellung gebracht und die horizontale Reichweite der Flamme auf 25 mm eingestellt.

Verfahren B (Unterkantenbeflammung): Die Messprobe wird so auf den Trägernadeln des Messprobenhalters befestigt, dass sichergestellt ist, dass diese durch die mit der Schablone markierten Punkte hindurchgehen und die Rückseite der Messprobe mindestens 20 mm vom rechteckigen Metallrahmen des Messprobenhalters entfernt ist. Der Messprobenhalter wird so am Befestigungsrahmen befestigt, dass sich die Messprobe in vertikaler Stellung befindet. Der Brenner wird an der Vorderseite, jedoch unterhalb der Messprobe so positioniert, dass er in einer Ebene ausgerichtet ist, die durch die vertikale Mittellinie der Messprobe geht und vertikal zu ihrer Oberfläche steht und zudem so, dass seine Längsachse von der Unterkante der Messprobe in einem Winkel von 30° schräg aufwärts weist. Die zu messende Entfernung zwischen der Mündung des Brennerstabilisators und der Unterkante der Messprobe muss 20 mm betragen. Der Brenner ist in die vertikale Bereitschaftsstellung zu bringen. Die Flammenhöhe wird auf 40 mm eingestellt.

Durchführung der Prüfung

Für die Flächenbeflammung (Verfahren A) wird die erste Messprobe aus einem Satz frischer Messproben am Messprobenhalter befestigt. Die Markierfäden werden in definierten Positionen angebracht. Die Prüf Flamme wird für die Dauer von 10 Sekunden oder für die als kritische Entflammzeit nach ISO 6940 bestimmte Entflammzeit auf die Messprobe gerichtet. Die Einwirkung ist zu beobachten und nachstehende Punkte sind zu dokumentieren:

- a) die Zeit in Sekunden vom Beginn der Einwirkung der Prüf Flamme bis zum Zerreißen des unteren (ersten) Markierfadens;
- b) die Zeit in Sekunden vom Beginn der Einwirkung der Prüf Flamme bis zum Zerreißen des mittleren (zweiten) Markierfadens;
- c) die Zeit in Sekunden vom Beginn der Einwirkung der Prüf Flamme bis zum Zerreißen des oberen (dritten) Markierfadens.

Für die Unterkantenbeflammung (Verfahren B) ist mit Ausnahme der Flammenstellung entsprechend dem Verfahren A vorzugehen.

5.1.2.2 Prüfung des Brennverhaltens von textilen Vorhängen und Gardinen

DIN EN 1101 beschreibt das Verfahren zur Bestimmung der Entzündbarkeit von vertikal angeordneten Textilproben mit kleiner Flamme, dabei erfolgt die Prüfung nach DIN EN ISO 6940. In DIN EN 1101 werden die Probenahme, Reinigung, Beschaffenheit und Konditionierung der Messproben dargestellt sowie die Durchführung der Prüfung und die Gestaltung des Prüfberichts.

Das detaillierte Verfahren für die Bestimmung der Flammenausbreitungseigenschaften von Textilien für Vorhänge und Gardinen als vertikal angeordnete Proben wird in DIN EN 1102 festgelegt, die Prüfung erfolgt nach DIN EN ISO 6941. In DIN EN 1102 werden die Probenahme, Reinigung, Beschaffenheit und Konditionierung der Messproben dargestellt sowie die Durchführung der Prüfung und die Gestaltung des Prüfberichts.

Das Vorgehen zur Messung der Flammenausbreitungseigenschaften von vertikal angeordneten textilen Messproben mit großer Zündquelle ist in DIN EN 13772 beschrieben. Zum Einsatz kommen bei der Prüfung ein elektrischer Strahler sowie eine in DIN EN ISO 6941 definierte kleine

Flamme. Die Kriterien hierfür sind brennend abfallende Probenteile und die Flammenausbreitung gemessen als Bruch des ersten und des dritten Markierfadens⁴³.

In DIN EN 13773 ist die Klasseneinteilung von Textilien für Vorhänge, Gardinen und Ähnliches, wie Jalousien und textile Wandbehänge, bei denen eine Klassifizierung erforderlich ist, beschrieben. Diese Klasseneinteilung erfolgt über die Bewertung der Entzündbarkeit und der Flammenausbreitung bei Verwendung zweier Zündquellen mit unterschiedlicher Hitzeintensität, entsprechend der Kantenbeflammung nach DIN EN 1101 und DIN EN 1102. Für die Klasseneinteilung ist am wichtigsten, ob eine Zündung eingetreten ist oder nicht.

Tabelle 17: Klassendefinition für das Brennverhalten von Vorhängen und Gardinen nach DIN EN 13773.

Klasse	Entzündbarkeit	Flammenausbreitung
1	Keine Zündung nach DIN EN 1101	Erster Markierfaden nicht gebrochen, keine brennend abfallenden Probenteile nach DIN EN 13772
2	Keine Zündung nach DIN EN 1101	Dritter Markierfaden nicht gebrochen, keine brennend abfallenden Probenteile nach DIN EN 13772
3	Keine Zündung nach DIN EN 1101	Dritter Markierfaden gebrochen und/oder brennend abfallende Probenteile nach DIN EN 13772
4	Zündung nach DIN EN 1101	Dritter Markierfaden nicht gebrochen, keine brennend abfallenden Probenteile nach DIN EN 1102
5	Zündung nach DIN EN 1101	Dritter Markierfaden gebrochen und/oder brennend abfallende Probenteile nach DIN EN 1102

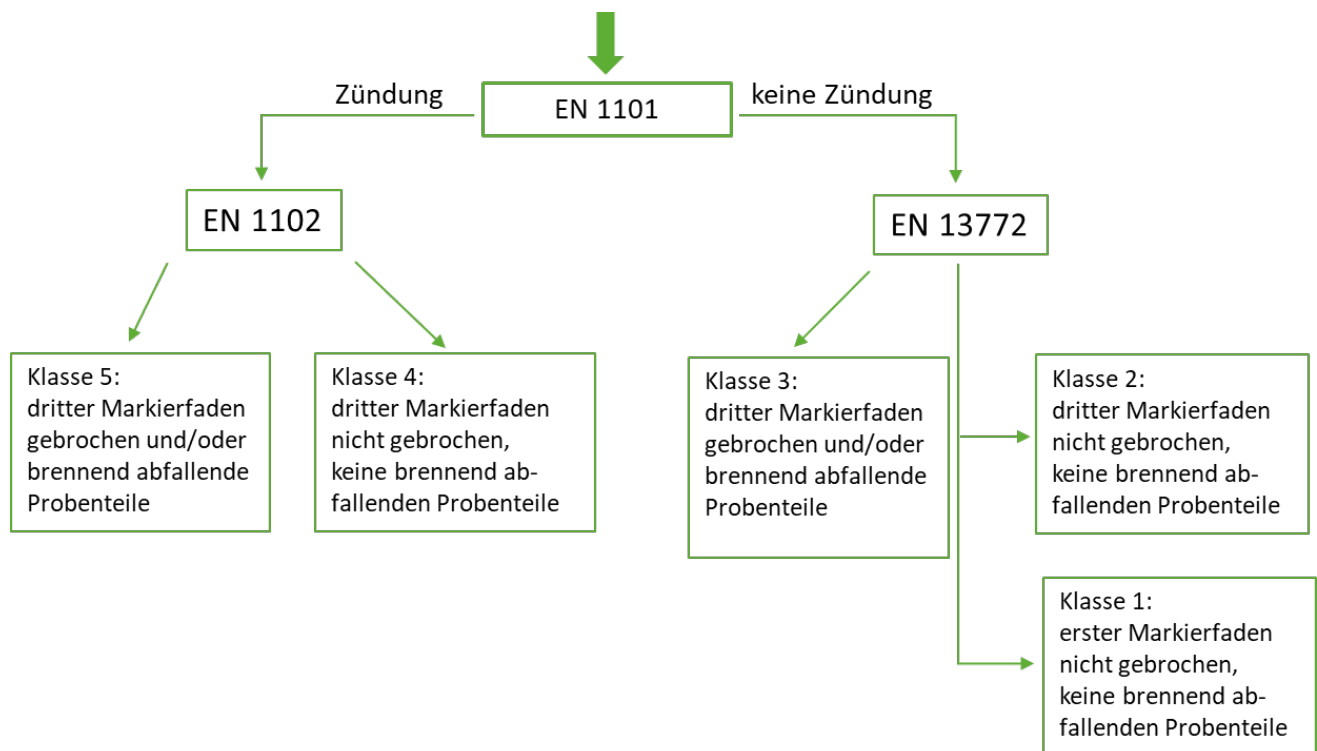
Folgende Kriterien gelten für die Klasseneinteilung nach DIN EN 13773:

- ▶ Wenn mindestens zwei der sechs Messproben ein Brechen des Markierfadens und/oder brennend abfallende Probenteile aufweisen und dies ein Ergebnis einer höheren Klasse darstellt, dann muss das gesamte Material der höheren Klasse zugeordnet werden.
- ▶ Wenn nur eine der sechs Messproben die Zündung des Markierfadens und/oder brennend abfallende Probenteile aufweisen und dies ein Ergebnis einer höheren Klasse darstellt, dann müssen drei neue Messproben geprüft werden.
- ▶ Wenn für keine dieser neuen Messproben ein Ergebnis der höheren Klasse zuzuordnen ist, dann ist das Material der niedrigeren Klasse zuzuordnen.
- ▶ Wenn für eine dieser neuen Messproben ein Ergebnis der niedrigeren Klasse zuzuordnen ist, dann ist das gesamte Material dieser Klasse zuzuordnen.

Die Hauptelemente der Klasseneinteilung sind im Flussdiagramm in Abbildung 15 dargestellt.

⁴³ Markierfäden sind nach DIN EN 13772 aus reiner Baumwolle mit einer Feinheit von 45 (± 5) tex.

Abbildung 15: Brennverhalten von Vorhängen und Gardinen: Hauptelemente der Klasseneinteilung nach DIN EN 13773.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

5.1.2.3 Prüfung des Brennverhaltens von Bettzeug

Brände können durch die Entzündung von Bettzeug mittels Raucherutensilien verursacht werden. Die Entzündbarkeit von Bettzeug durch eine glimmende Zigarette (DIN EN ISO 12952-1) oder durch eine kleine offene Flamme (DIN EN ISO 12952-2) sind daher wichtige Merkmale bei der Abschätzung des Brandrisikos. Es wird in den Normen darauf hingewiesen, dass die jeweiligen Proben beiden Entzündbarkeitsprüfungen unterzogen werden sollten, da der Schutz vor einer glimmenden Zündquelle nicht automatisch vor einer Flammenentzündung schützt. DIN EN ISO 12952 Teil 1 und Teil 2 sind anwendbar für Bettzeug, das üblicherweise auf einer Matratze ausgelegt werden kann, wie zum Beispiel Matratzenbezüge, Unterlagen, Inkontinenzunterlagen, Bettlaken, Decken, elektrische Heizdecken, Steppdecken (Federbetten) und Bezüge, Kopfkissen und Nackenrollen sowie Kopfkissenbezüge. Beide Normen können sowohl zur Bewertung der Entzündbarkeit einzelner Bettzeugartikel als auch der Kombinationen daraus angewendet werden. Diese Normen sind jedoch nicht auf Matratzen, Bettgestelle und Matratzenauflagen anwendbar.

Eigenschaften der Probekörper

Die Messproben müssen in ihren Bestandteilen und ihrem Aufbau repräsentativ für den jeweiligen Artikel sein, da die Ausführung und das Design des Bettzeugs einen wesentlichen Einfluss auf die Gefahr einer Entzündung haben können. So kann die Dichte der Falten bspw. einen wesentlichen Einfluss auf die Prüfergebnisse haben. Vor der Prüfung wird das Bettzeug fünfmal je nach Materialien entsprechend DIN EN ISO 6330, DIN EN ISO 10528 oder ist nach DIN EN ISO 3175-2 chemisch zu reinigen. Die zu prüfenden Materialien müssen vor der Prüfung konditioniert werden.

Aufbau der Prüfeinrichtung

Das Prüfgestell besteht aus einer Plattform von mindestens 450 mm × 450 mm, die sich über einer festen Unterlage befindet. Es muss den Maßen der Messprobe entsprechen, kann aber auch größer sein als die Probe. Als Zündquelle ist nach DIN EN ISO 12952-1 eine zylinderförmige Zigarette ohne Filter zu verwenden, die entsprechend konditioniert wurde, und nach DIN EN ISO 12952-2 eine Butangasflamme. Der Prüfraum muss größer als 20 m³ sein und ausreichend Sauerstoff für die Prüfung enthalten, oder eine kleinere Kammer mit Ein- und Auslasssystemen für die Strömungsluft. Die Strömungsgeschwindigkeit darf an der Messprobe höchstens 0,2 m/s betragen, sodass eine ausreichende Sauerstoffzufuhr sichergestellt ist, ohne das Brennverhalten zu stören. Die Prüfunterlage simuliert eine Matratze, auf der das Bettzeug geprüft wird, und besteht aus einer Mineralwolle-Polsterung mit definierter Wärmeleitfähigkeit; sie muss der Größe des Prüfgestells entsprechen und eine Dicke von 25 mm aufweisen. Die Prüfunterlage kann durch die tatsächlich verwendete Matratze ersetzt werden. Auch die Prüfunterlage und die Zigaretten sind vor der Prüfung zu konditionieren.

Durchführung der Prüfung

Bei der Prüfung muss die Umgebung zugfrei sein und eine Temperatur von 10 °C bis 30 °C sowie eine relative Luftfeuchte von 15 % bis 80 % aufweisen. Die Messprobe wird auf eine Prüfunterlage gelegt und nach DIN EN ISO 12952-1 einer glimmenden Zigarette bzw. nach DIN EN ISO 12952-2 einer kleinen offenen Flamme ausgesetzt, die auf und/oder unter der Messprobe liegt. Der Aufbau der Messproben auf dem Prüfgestell und die Positionen der Zündquellen sind in Abhängigkeit von den zu prüfenden Materialien unterschiedlich. Jede Entzündung durch fortschreitendes Glimmen und/oder eine Flammenentzündung wird vermerkt. Mit einer abschließenden Untersuchung wird die Messprobe nach dem Prüfprogramm zerlegt und im Innern auf Glimmerscheinungen untersucht.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Die Entzündungskriterien zur Bewertung von Bettzeug sind in Tabelle 18 dargestellt. Die in der Tabelle aufgeführten Verhaltensarten werden als Entzündung durch fortschreitendes Glimmen bzw. als Flammenentzündung angesehen.

Tabelle 18: Bettzeug – Entzündungskriterien bei glimmender Zigarette und einer kleinen offenen Flamme als Zündquelle.

DIN EN ISO 12952-1 (glimmende Zigarette)	DIN EN ISO 12952-2 (kleine offene Flamme)
Entzündung durch fortschreitendes Glimmen	
Messprobe, die Anzeichen einer zunehmenden Verbrennung aufweist, sodass ein Fortführen der Prüfung nicht sicher ist und intensives Löschen erforderlich wird.	
Messprobe, die 1 Stunde nach dem Anbringen einer glimmenden Zigarette so lange glimmt, bis sie im Wesentlichen aufgezehrt ist.	Messprobe, die innerhalb von 15 Minuten nach Entfernen der Zündquelle so lange glimmt, bis sie aufgezehrt ist.
Messprobe, die 1 Stunde nach dem Anbringen einer glimmenden Zigarette äußerlich sichtbare Anzeichen von Rauchbildung, Wärmeentwicklung oder Glimmen aufweist.	Messprobe, die innerhalb von 15 Minuten nach Entfernen der Zündquelle äußerlich sichtbare Anzeichen von Rauchbildung, Wärmeentwicklung oder Glimmen aufweist.
Messprobe, die bei der abschließenden Untersuchung Anzeichen von aktivem Glimmen aufweist.	

DIN EN ISO 12952-1 (glimmende Zigarette)	DIN EN ISO 12952-2 (kleine offene Flamme)
Flammenentzündung	
Auftreten von Flammen, die durch eine glimmende Zigarette hervorgerufen wurden.	Messprobe, die Anzeichen einer zunehmenden Verbrennung aufweist, sodass ein Fortführen der Prüfung nicht sicher ist und intensives Löschen erforderlich wird.
	Prüfaufbau, der innerhalb der Prüfzeit so lange brennt, bis er im Wesentlichen aufgezehrt ist.
	Messprobe, die für mehr als 120 Sekunden nach Entfernen der Zündquelle mit Flamme weiter brennt.

Das auf den Kriterien der Entzündung durch eine glimmende Zigarette und eine kleine offene Flamme beruhende Klassifizierungsschema für das Brennverhalten von Bettzeug ist in DIN EN 14533 (2015) dargestellt. Das Material besteht die Prüfung, wenn „Nicht-Entzündung“ aufgezeichnet wird. Folgende Klassen sind in DIN EN 14533 festgelegt:

- Klasse A:** **Besteht** die Prüfung der Entzündbarkeit durch eine glimmende Zigarette
Besteht die Prüfung der Entzündbarkeit durch eine kleine offene Flamme
- Klasse B:** **Besteht** die Prüfung der Entzündbarkeit durch eine glimmende Zigarette
- Klasse C:** **Besteht nicht** die Prüfung der Entzündbarkeit durch eine glimmende Zigarette
Besteht nicht die Prüfung der Entzündbarkeit durch eine kleine offene Flamme

5.1.3 Klassifizierung der Entflammbarkeit von Möbeln, Haus- und Heimtextilien sowie Matratzen in Großbritannien

Die Prüfung erfolgt nach dem Britischen Standard BS 5852 (2006). Dabei können sowohl einzelne Bestandteile (z. B. der Füllstoff einer Matratze, Haus- und Heimtextilien) als auch komplette Elemente (ein komplettes Sofa) untersucht werden. Als Zündquelle wird einerseits eine glimmende Zigarette und andererseits ein offenes Feuer verwendet. Diese Norm gilt für die Einrichtung der JVA.

Aufbau des Prüfstandes

Der Prüfstand besteht aus zwei rechteckigen Rahmen, die in einem Winkel von 90° zueinander positioniert sind. Der vertikale Rahmen hat eine Größe von 450 x 450 mm² und der horizontale Rahmen ist 450 x 300 mm² groß.

Durchführung der Prüfung

Das Probematerial wird in den Prüfstand eingespannt und mit einer der folgenden Zündquellen beansprucht:

1. Zigarette zur Initiierung einer glimmenden Verbrennung
2. Butanflamme
3. Brennende Holzkrippe

Für Zündquelle 1 gibt es nur eine Variante, die Butanflamme kann in drei verschiedenen Längen eingesetzt werden und im Falle der Holzkrippe gibt es vier Größen.

Die Untersuchung des Glimmverhaltens erfolgt nach den Angaben der DIN EN 1021-1.

Die Probekörper werden je nach Zündquelle für unterschiedliche Zeiten mit der jeweiligen Butanflamme beflammt.

Die vier verschiedenen Holzkrippen werden mit 1,4 ml Isopropanol übergossen und durch ein Streichholz oder Feuerzeug entzündet.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Um den Test zu bestehen, darf das Material durch die Zündquelle nicht zum Entflammen gebracht werden. Die Klassifizierung der Materialien ist davon abhängig, welche Tests durchgeführt wurden. Wird z. B. eine Prüfung für die Zündquellen 3 bis 7 durchgeführt und nur bei Prüfung 7 fällt das Material durch, so erfolgt folgende Klassifizierung:

NI (engl. Not ignited; nicht entflammt): 3-6

I (engl. ignited; entflammt): 7

Die Prüfung mit der Krippenzündquelle 5 wird in Deutschland für einige Materialien verwendet, um deren Endzündbarkeit nachzuweisen.

Untersuchung von kompletten Möbeln oder Matratzen

Die Durchführung für komplette Gegenstände erfolgt analog der oben beschriebenen Vorgehensweise.

► Die Zigarette muss sich in der folgenden Position befinden:

- a) Oberfläche, wo sich eine Zigarette befinden könnte,
- b) Furchen, Verbindungen und Winkel, wo sich eine Zigarette befinden kann.

► Prüfung mittels einer Flamme in folgenden Positionen:

- a) In der Sitzebene bzw. auf der Matratze,
- b) Position der Zündquelle in einer Ecke, so dass sie sowohl die Lehne, die Sitzfläche als auch die Arme berührt (Sitz mit Lehne und Armen),
- c) Position der Zündquelle so, dass sie sich am dichtesten an der Lehne und am Sitz befindet (Sitz mit Lehne ohne Arme),
- d) Zündquelle muss mehr als 100 mm von der Zündquelle entfernt sein (Sitz ohne Arme und Lehne),
- e) Test im hochgeklappten Zustand mit geringstem Abstand zur Sitzfläche und zur Lehne (Klappstuhl),
- f) die Zündquelle befindet sich auf dem Fußboden,
- g) Zündquelle wird so am Fußboden positioniert, dass es sich um den gefährdetsten Bereich handelt.

5.2 Prüfung von brennbaren Werkstoffen

Die Prüfung von Werkstoffen (z. B. Kunststoffe, Holz, Papier) durch das Beflammen mit einem Brenner ist in DIN 53438 (1984) in den Teilen 1 bis 3 geregelt. Es wird geprüft, ob und in welcher Zeit die Flammenspitze eine bestimmte Messmarke auf dem Probekörper erreicht. Für die Prüfungen wird ein Brennkasten nach DIN 50050 verwendet.

DIN 53438-2 (1984) beschreibt das Prüfverfahren zur Bestimmung des Verhaltens von Werkstoffen bei der **Kantenbeflammung (Verfahren K)**. Dem zu prüfenden Material werden dazu 10 Probekörper mit den Maßen 190 mm x 90 mm entnommen. Auf jeder Probe wird eine Messmarke im Abstand von 150 mm von der bei der Prüfung unten befindlichen Kante angebracht. Es werden in der Regel fünf Proben geprüft. Die klimatisierten Probekörper werden in den Prüfraum (DIN 53438-1) eingelegt und dieser senkrecht im Brennkasten aufgehängt. Die Brennerflamme trifft die Probe in einem Winkel von 45 °, diese wird 15 Sekunden beflammt. Gemessen wird die Brennzeit vom Beginn der Beflammung bis zum Erlöschen der Flamme am Probekörper oder bis zum Erreichen der Messmarke durch die Flammenspitze des brennenden Probekörpers. Bei einem Weiterglimmen der Probe nach dem Erlöschen der Flamme wird die Glimmzeit zwischen dem Erlöschen der Flamme am Probekörper und dem Ende der Glimmerscheinung gemessen. Im Prüfbericht werden u. a. Rauch- und Rußbildung, Abfallen und Abtropfen von Probekörperteilen oder deren Weiterbrennen vermerkt. Der Probekörper kann den in Tabelle 19 aufgeführten Klassen zugeordnet werden.

Tabelle 19: Klassen entsprechend der Beurteilung des Verhaltens von brennbaren Werkstoffen bei der Kantenbeflammung mit einem Brenner nach DIN 53438-2.

Klasse	Beurteilung
K 1	Die Messmarke wird von der Flammenspitze des brennenden Probekörpers nicht erreicht (der Probekörper erlischt vorher von selbst).
K 2	Die Flammenspitze des brennenden Probekörpers erreicht die Messmarke in 20 oder mehr Sekunden.
K 3	Die Flammenspitze des brennenden Probekörpers erreicht die Messmarke in weniger als 20 Sekunden.

Bei der Angabe der Klasse wird mit einem Schrägstrich der Mittelwert der Dicke der Probekörper auf 0,1 mm gerundet (bei Dicken kleiner 1 mm auf 0,01mm gerundet) angegeben. Für die Auswertung der jeweiligen Prüfung gilt folgendes:

- ▶ Wenn alle Proben in der gleichen Klasse einzuordnen sind, ist für den geprüften Werkstoff diese Klasse anzugeben.
- ▶ Wenn von fünf Proben zwei in eine schlechtere Klasse einzuordnen sind, ist für den geprüften Werkstoff die schlechtere Klasse anzugeben.
- ▶ Wenn von fünf Proben eine in eine schlechtere Klasse einzuordnen ist, wird die Prüfung an fünf neuen Probekörpern wiederholt. Sind bei der Wiederholungsprüfung einer oder mehrere Proben der schlechteren Klasse zuzuordnen, dann ist für den Werkstoff die schlechtere Klasse anzugeben.

Brenn- und Glimmzeiten der geprüften Probekörper sind im Prüfbericht gemittelt und in Sekunden aufzuführen.

DIN 53438-3 (1984) beschreibt das Prüfverfahren zur Bestimmung des Verhaltens von Werkstoffen bei der **Flächenbeflammung (Verfahren F)**. Die jeweils 10 Probekörper sind 230 mm lang und 90 mm breit. Auf den Probekörpern werden von der unteren Kante aus betrachtet im Abstand von 40 mm eine untere Messmarke und von 190 mm eine obere Messmarke ange-

bracht. Die Probe wird so in dem Prüfraum befestigt, dass die untere Probenkante mit der unteren Kante des Rahmens abschließt. Die Flamme muss den Probekörper auf der Mitte der unteren Messmarke treffen. Auch bei diesem Verfahren wird die Probe 15 Sekunden beflammt. Gemessen wird die Brennzeit vom Beginn der Beflammung bis zum Erlöschen der Flamme am Probekörper oder bis zum Erreichen der Messmarke durch die Flammenspitze des brennenden Probekörpers. Bei einem Weiterglimmen der Probe nach dem Erlöschen der Flamme wird die Glimmzeit zwischen dem Erlöschen der Flamme am Probekörper und dem Ende der Glimmerscheinung gemessen. Im Prüfbericht werden u. a. Rauch- und Rußbildung, Abfallen und Abtropfen von Probekörperteilen oder deren Weiterbrennen vermerkt. Der Probekörper kann den in Tabelle 20 aufgeführten Klassen zugeordnet werden.

Tabelle 20: Klassen entsprechend der Beurteilung des Verhaltens von brennbaren Werkstoffen bei der Flächenbeflammung mit einem Brenner nach DIN 53438-3.

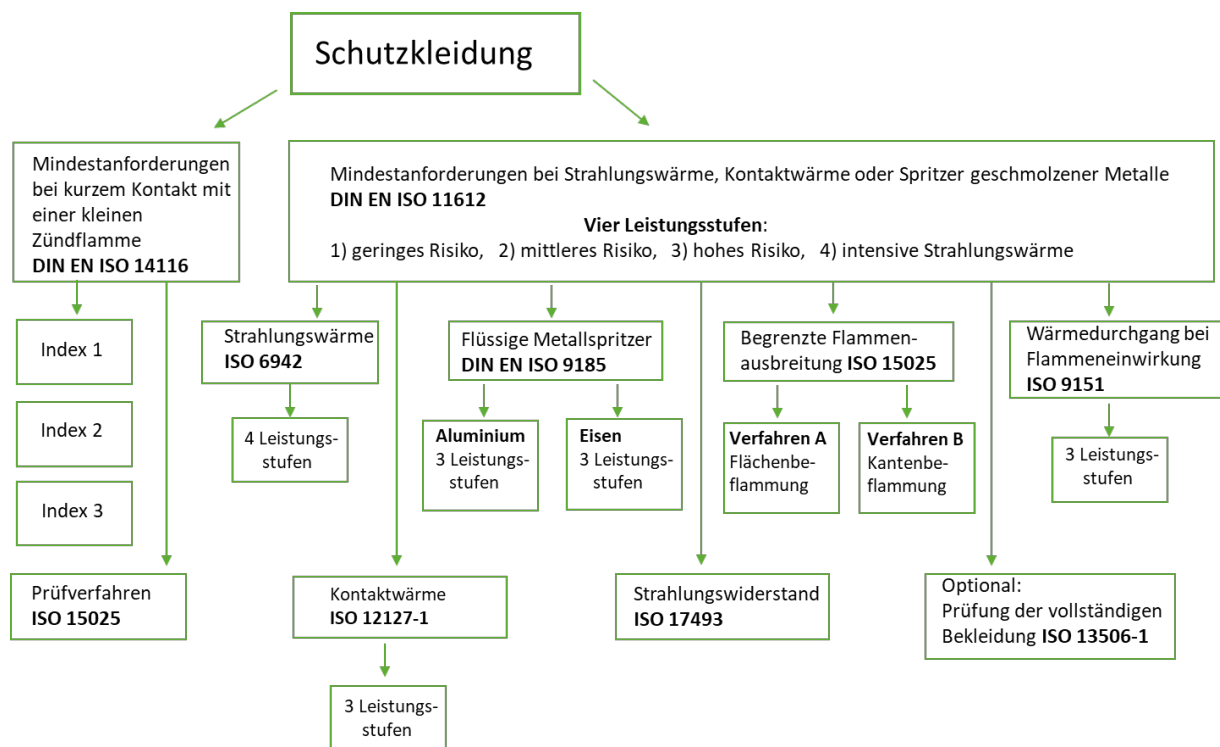
Klasse	Beurteilung
F 1	Die obere Messmarke wird von der Flammenspitze des brennenden Probekörpers nicht erreicht (der Probekörper erlischt vorher von selbst).
F 2	Die Flammenspitze des brennenden Probekörpers erreicht die obere Messmarke in 20 oder mehr Sekunden.
F 3	Die Flammenspitze des brennenden Probekörpers erreicht die obere Messmarke in weniger als 20 Sekunden.

Für die Angabe der Klasse und die Auswertung der jeweiligen Prüfung gelten die Kriterien entsprechend der Kantenbeflammung.

5.3 Prüfverfahren für PSA (Schutzkleidung)

Im folgenden Kapitel werden die Anforderungen und Prüfverfahren für Kleidung zum Schutz gegen Hitze und Flammen dargestellt. Die PSA ist nach DIN EN ISO 11612 Kleidung, die die persönliche Kleidung des Benutzers bedeckt oder ersetzt und die durch ihre Ausführung den Ober- und Unterkörper, den Hals, die Arme und Beine des Trägers schützt. Abbildung 16 gibt eine Übersicht zu den relevanten Normen.

Abbildung 16: Normen zu Mindestanforderungen an PSA.



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer WKI.

5.3.1 Anforderungen an Schutzbekleidung

DIN EN ISO 14116 (2015) gibt Mindestanforderungen an, um die Eigenschaften von Schutzbekleidung und deren Brennbarkeit bei unbeabsichtigtem und kurzem Kontakt mit kleinen Zündflammen einzuschränken. Die Norm ist jedoch nicht geeignet, wenn zusätzlich zum Schutz gegen eine kleine Flamme auch ein Schutz gegen Gefährdungen durch Hitze erforderlich ist. In diesem Fall kann z. B. DIN EN ISO 11612 angewendet werden (Beuth 2020). In ISO 14116 sind außerdem Zusatzanforderungen an die Kleidung aufgeführt sowie Anforderungen an die Ausführung, an mechanische Eigenschaften und an die Kennzeichnung sowie an die vom Hersteller bereitgestellten Informationen.

Die Norm legt z. B. die Zugfestigkeit, Weiterreißfestigkeit, Berstfestigkeit und Festigkeit der Nähte fest sowie die Maßänderung von textilen Materialien und Leistungsanforderungen an Materialien, Materialkombinationen und Schutzbekleidung mit begrenzter Flammenausbreitung. Die Probenahme, ihre Vorbehandlung, Alterung und Konditionierung sind ebenfalls definiert. Schutzbekleidung, die dieser Norm entspricht, muss bei einer Prüfung gemäß ISO 15025 einen Index der begrenzten Flammenausbreitung von 1, 2 oder 3 erzielen (siehe Tabelle 21, Tabelle 22 und Tabelle 23). Schutzbekleidung mit Index 1 bietet den geringsten Schutz und sollte laut Hersteller nur über einem Kleidungsstück mit dem Index 2 oder 3 getragen werden und nicht in Kontakt mit der Haut stehen, wie z. B. am Nacken oder Handgelenk (Blåkläder 2020).

Tabelle 21: Anforderungen an Index 1 der begrenzten Flammenausbreitung

Materialeigenschaften	Anforderungen
Flammenausbreitung	Bei keiner Probe darf ein Teil des untersten Randes einer Flamme oder der Rand eines Loches die Ober- oder die Seitenkante erreichen.
Brennendes Abtropfen	Bei keiner Probe darf brennendes oder schmelzendes Abtropfen auftreten.
Nachglimmen	Die Nachglimmzeit muss ≤ 2 Sekunden betragen. Ein Nachglimmen im verkohlten Bereich wird nach DIN EN ISO 15025 als Nachglimmen ohne Verbrennen bezeichnet und gilt nicht als Nachglimmen.

Tabelle 22: Anforderungen an Index 2 der begrenzten Flammenausbreitung

Materialeigenschaften	Anforderungen
Flammenausbreitung	Bei keiner Probe darf ein Teil des untersten Randes einer Flamme die Ober- oder die Seitenkante erreichen.
Brennendes Abtropfen	Bei keiner Probe darf brennendes oder schmelzendes Abtropfen auftreten.
Nachglimmen	Die Nachglimmzeit muss ≤ 2 Sekunden betragen. Ein Nachglimmen im verkohlten Bereich wird nach DIN EN ISO 15025 als Nachglimmen ohne Verbrennen bezeichnet und gilt nicht als Nachglimmen.
Lochbildung	Bei keiner Probe darf es zur Entstehung von Löchern mit einer Größe von 5 mm oder mehr in jeglicher Richtung kommen, außer bei einem Zwischenfutter, das nicht zum Schutz gegen Flammen, sondern für andere Zwecke vorgesehen ist.

Tabelle 23: Anforderungen an den Index 3 der begrenzten Flammenausbreitung

Materialeigenschaften	Anforderungen
Flammenausbreitung	Bei keiner Probe darf ein Teil des untersten Randes einer Flamme die Ober- oder die Seitenkante erreichen.
Brennendes Abtropfen	Bei keiner Probe darf es zu brennendem oder schmelzendem Abtropfen kommen.
Nachglimmen	Die Nachglimmzeit muss ≤ 2 Sekunden betragen. Ein Nachglimmen im verkohlten Bereich wird nach DIN EN ISO 15025 als Nachglimmen ohne Verbrennen bezeichnet und gilt nicht als Nachglimmen.
Lochbildung	Bei keiner Probe darf es zur Entstehung von Löchern mit einer Größe von 5 mm oder mehr in jeglicher Richtung kommen, außer bei einem Zwischenfutter, das nicht zum Schutz gegen Flammen, sondern für andere Zwecke vorgesehen ist.
Nachbrennen	Die Nachbrennzeit muss ≤ 2 Sekunden betragen.

DIN EN ISO 11612 (2015) beschreibt die Mindestleistungsanforderungen an die Eigenschaften von Schutzkleidung mit einem umfangreichen Einsatzbereich für Endanwendungen, bei denen Kleidung mit begrenzter Flammenausbreitung erforderlich ist und der Träger Strahlungswärme,

konvektiver oder Kontaktwärme oder Spritzern geschmolzenen Metalls ausgesetzt ist. Sie bezieht sich auf Schutzkleidung aus flexiblen Materialien zum Schutz des Körpers, mit Ausnahme der Hände. Es werden für viele der in der Norm aufgeführten Gefährdungen jeweils drei Leistungsstufen festgelegt:

- Stufe 1 zur Angabe der Einwirkung eines geringen Risikos;
- Stufe 2 zur Angabe der Einwirkung eines mittleren Risikos;
- Stufe 3 zur Angabe der Einwirkung eines hohen Risikos.

Eine vierte Leistungsstufe betrifft Hochleistungsmaterialien für den Schutz gegen intensive Strahlungswärme.

Die allgemeinen Leistungsanforderungen betreffen folgende Kriterien:

- Wärmewiderstand bei Temperaturen von 180 °C, geprüft nach ISO 17493; die Proben dürfen sich nicht entzünden oder schmelzen und Gewebe- sowie Lederproben dürfen nicht mehr als 5 % schrumpfen. Optional ist die Anforderung an den Wärmewiderstand bei 260 °C. Die Proben dürfen sich nicht entzünden oder schmelzen und nicht mehr als 10 % schrumpfen.
- Begrenzte Flammenausbreitung (Prüfung nach ISO 15025, Verfahren A und Verfahren B, siehe Kapitel 5.3.2); Tabelle 24 listet die Leistungsanforderungen an die begrenzte Flammenausbreitung bei Verfahren A, Tabelle 25 bei Verfahren B auf.

Tabelle 24: Leistungsanforderungen an die begrenzte Flammenausbreitung bei Prüfung von Proben einlagiger Kleidungsstücke nach ISO 15025, Verfahren A (Codebuchstabe A1).

Eigenschaften	Anforderung
Flammenausbreitung	Bei keiner Probe darf ein Teil des untersten Randes einer Flamme die Ober- oder die Seitenkante erreichen.
Brennendes Abtropfen	Bei keiner Probe darf es zu brennendem oder schmelzendem Abtropfen kommen.
Lochbildung	Bei keiner Probe darf es zur Entstehung von Löchern mit einer Größe von 5 mm oder mehr in jeglicher Richtung kommen, außer bei einem Zwischenfutter, das nicht zum Schutz gegen Hitze und Flammen, sondern für andere Zwecke vorgesehen ist.
Nachglimmen	Die Nachglimmzeit muss ≤ 2 Sekunden betragen. Ein Nachglimmen im verkohlten Bereich wird nach DIN EN ISO 15025 als Nachglimmen ohne Verbrennen bezeichnet und gilt nicht als Nachglimmen.
Nachbrennen	Die Nachbrennzeit muss ≤ 2 Sekunden betragen.

Tabelle 25: Leistungsanforderungen an die begrenzte Flammenausbreitung bei Prüfung von gesäumten Proben einlagiger Kleidungsstücke nach ISO 15025, Verfahren B (Codebuchstabe A2).

Eigenschaften	Anforderung
Flammenausbreitung	Bei keiner Probe darf ein Teil des untersten Randes einer Flamme die Ober- oder die Seitenkante erreichen.
Brennendes Abtropfen	Bei keiner Probe darf es zu brennendem oder schmelzendem Abtropfen kommen.
Nachglimmen	Die Nachglimmzeit muss ≤ 2 Sekunden sein. Ein Nachglimmen im verkohlten Bereich wird nach DIN EN ISO 15025 als Nachglimmen ohne Verbrennen bezeichnet und gilt nicht als Nachglimmen.
Nachbrennen	Die Nachbrennzeit muss ≤ 2 Sekunden sein.

- Maßänderung von textilen Materialien nach ISO 5077.
- Physikalische Anforderungen wie Zugfestigkeit, Weiterreißfestigkeit, Berstfestigkeit von gewirkten Materialien und Nähten, Nahtfestigkeit und Fettgehalt des Leders.

Zusätzlich zu diesen verpflichtenden Mindestleistungsanforderungen muss für alle Endanwendungen die Mindestleistungsanforderung mindestens einer der Codebuchstaben für den Wärmedurchgang sein. Die Anwendung der Leistungsanforderungen richtet sich hierbei nach dem vorgesehenen Einsatzzweck der Kleidung entsprechend den Angaben des Herstellers.

► Konvektive Wärme – Codebuchstabe B

Bei Prüfung nach ISO 9151 müssen ein- oder mehrlagige Kleidungsstücke und/oder Kleidungszusammenstellungen, die gegen konvektive Wärme schützen sollen, mindestens der Leistungsstufe B1 in Tabelle 26 entsprechen. Ist das Kleidungsstück mehrlagig, muss die gesamte Materialzusammenstellung geprüft werden.

Tabelle 26: Leistungsstufen nach DIN EN ISO 11612 für die Prüfung der konvektiven Wärme.

Leistungsstufen	Bereiche der HTI ^a 24-Werte [Sekunden]	
	Minimum	Maximum
B1	4,0	< 10,0
B2	10,0	< 20,0
B3	20,0	

^a Wärmedurchgangsindex, wie in ISO 9151 festgelegt.

► Strahlungswärme – Codebuchstabe C

Bei Prüfung gemäß ISO 6942 (Verfahren B) unter Anwendung einer Wärmestromdichte von 20 kW/m², müssen ein- oder mehrlagige Kleidungsstücke und/oder Kleidungszusammenstellungen, die gegen Strahlungswärme schützen sollen, mindestens der Leistungsstufe C1 (siehe

Tabelle 27) entsprechen. Prüfungen an metallisierten Materialien müssen nach der im Anhang A festgelegten Vorbehandlung durchgeführt werden. Ist das Kleidungsstück mehrlagig, muss die gesamte Materialzusammenstellung geprüft werden.

Tabelle 27: Leistungsstufen nach DIN EN ISO 11612 für die Prüfung der Strahlungswärme.

Leistungsstufen	Wärmedurchgangsfaktor RHTI ^a 24 [Sekunden]	
	Minimum	Maximum
C1	7,0	< 20,0
C2	20,0	< 50,0
C3	50,0	< 95,0
C4	95,0	

^a Übertragungsindex für strahlende Wärme, wie in ISO 6942 festgelegt.

► Flüssige Aluminiumspritzer – Codebuchstabe D

Bei Prüfung nach ISO 9185 mit geschmolzenem Aluminium müssen ein- oder mehrlagige Kleidungsstücke und/oder Kleidungszusammenstellungen, die gegen flüssige Aluminiumspritzer schützen sollen, mindestens der Leistungsstufe D1 (Tabelle 28) entsprechen. Bei Entzünden von Materialien und Materialkombinationen wird die Prüfung nicht erfüllt.

Tabelle 28: Leistungsstufen nach DIN EN ISO 11612 für flüssige Aluminiumspritzer.

Leistungsstufen	Flüssige Aluminiumspritzer [Gramm]	
	Minimum	Maximum
D1	100	< 200
D2	200	< 350
D3	350	

► Flüssige Eisenspritzer – Codebuchstabe E

Bei Prüfung gemäß ISO 9185 mit geschmolzenem Eisen müssen ein- oder mehrlagige Kleidungsstücke und/oder Kleidungszusammenstellungen, die gegen flüssige Eisenspritzer schützen sollen, mindestens der Leistungsstufe E1 (Tabelle 29) entsprechen. Die Prüfung wird nicht von Materialien und Materialkombinationen erfüllt, die sich entzünden.

Tabelle 29: Leistungsstufen nach DIN EN ISO 11612 für flüssige Eisenspritzer.

Leistungsstufen	Flüssige Eisenspritzer [Gramm]	
	Minimum	Maximum
E1	60	< 120
E2	120	< 200
E3	200	

► Kontaktwärme – Codebuchstabe F

Bei Prüfung nach ISO 12127-1 bei einer Temperatur von 250 °C müssen ein- oder mehrlagige Kleidungsstücke und/oder Kleidungszusammenstellungen, die gegen Kontaktwärme schützen sollen, mindestens der Leistungsstufe F1 (Tabelle 30) entsprechen.

Tabelle 30: Leistungsstufen nach DIN EN ISO 11612 für Kontaktwärme.

Leistungsstufen	Schwellenwertzeit [Sekunden]	
	Minimum	Maximum
F1	5,0	< 10,0
F2	10,0	< 15,0
F3	15,0	

Tabelle 31 gibt eine Übersicht über die Prüfverfahren der Wärmedurchgangsleistung für die jeweiligen Codebuchstaben.

Tabelle 31: Verfahren für die Prüfungen des Wärmedurchgangs (aus DIN EN ISO 11612).

Wärmedurchgangsleistung	Codebuchstabe	Prüfverfahren
Begrenzte Flammenausbreitung	A1 oder (A1 und A2)	ISO 15025
Konvektive Wärme	B1 bis B3	ISO 9151
Strahlungswärme	C1 bis C4	ISO 6942
Flüssige Aluminiumspritzer	D1 bis D3	ISO 9185
Flüssige Eisenspritzer	E1 bis E3	ISO 9185
Kontaktwärme	F1 bis F3	ISO 12127-1

Als optionale Prüfung nennt die DIN EN ISO 11612 die Prüfung des vollständigen Kleidungsstücks durch Messung der Wärmeübertragung unter Verwendung einer sensorbestückten Prüfpuppe nach ISO 13506-1 (2017). Weiterhin sind in der DIN EN ISO 11612 die Anforderungen an die Kennzeichnung der Kleidungsstücke sowie an die Informationen des Herstellers festgelegt.

Die **Technische Regel ISO/TR 2801** (2007) gibt allgemeine Empfehlungen für die Auswahl, Pflege und Verwendung von Schutzkleidung gegen Hitze und Flammen.

5.3.2 Prüfverfahren für die begrenzte Flammenausbildung

DIN EN ISO 15025 beschreibt zwei Verfahren, die zur Bestimmung des Ausbreitungsverhaltens einer Flamme auf vertikal ausgerichteten flexiblen Materialien herangezogen werden. Geprüft werden Ein- oder Mehrkomponententextilien (z. B. beschichtet, gesteppt, mehrlagig, Sandwich-Verbindungen). Zu den beiden Prüfverfahren gehören die Oberflächenbeflammung (Verfahren A) und die Beflammung der unteren Kante (Verfahren B). Dabei wird eine definierte Brennerflamme für 10 Sekunden auf die Oberfläche oder die untere Kante der vertikal angeordneten Textilproben gerichtet. Die Prüfnorm gilt jedoch nicht für Situationen mit beschränkter Luftzufuhr oder bei denen große Hitze herrscht; sie ist nicht für Materialien geeignet, die stark schmelzen oder schrumpfen.

Eigenschaften der Probekörper

Für das Verfahren A (Oberflächenbeflammung) werden ausgeschnittene Proben (zwei Reihen von drei Proben senkrecht zueinander) mit den Maßen 200 mm × 160 mm und für das Verfahren B (Beflammung der unteren Kante) von 200 mm × 80 mm verwendet. Bei Proben, die aus mehreren Lagen oder aus Materialien bestehen, die sich nicht über die gesamte Probe erstrecken, sowie bei Nähten, müssen bei der Anbringung des Materials in der Prüfeinrichtung besondere Positionen beachtet werden. Die Proben werden konditioniert.

Aufbau der Prüfeinrichtung

Für beide Verfahren wird die Probe auf den Stiften des Probenhalters angebracht; dabei sollen die Stifte die mittels der Schablone gekennzeichneten Löcher durchdringen und die Rückseite der Probe einen Abstand von mindestens 20 mm von dem rechteckigen Metallrahmen des Probenhalters haben. Der Probenhalter mit der in vertikaler Position befindlichen Probe wird an einem Montagerahmen befestigt. Es dürfen dabei keine Falten, Faltenwurf oder Durchhängen auftreten. Proben mit Faltenwurf oder durchhängende Proben werden gespannt, aber nicht gestreckt, befestigt. Proben mit Naht müssen so befestigt werden, dass die Naht von der Flamme erfasst wird.

Bei der Oberflächenbeflammung (Verfahren A) wird der Brenner senkrecht zur Probenoberfläche ausgerichtet. Dabei muss die Achse des Brenners 20 mm über den unteren Haltestiften liegen und auf die vertikale Mittellinie der Probenfläche weisen.

Bei Verfahren B (Beflammung der unteren Kante) wird der Brenner mittig unterhalb der Probe angebracht, sodass durch die geneigte Position mit der Längsachse ein Winkel von 30° aufwärts zur vertikalen unteren Kante der Probe eingehalten wird.

Durchführung der Prüfung

Zu Beginn der Prüfungen müssen für beide Verfahren eine Temperatur von 23 °C, eine relative Luftfeuchte zwischen 15 % und 80 % und eine Luftbewegung von weniger als 0,2 m/s vorliegen. Die erste einer Reihe von sechs Proben wird wie oben beschrieben an dem Probenhalter angebracht. Bei gewebten oder gestrickten Materialien wird vermerkt, ob die Maschinenrichtung oder die Querrichtung des Gewebes vertikal angeordnet sind. Anschließend wird für 10 Sekunden mit der Prüf Flamme beflammt. Die folgenden Beobachtungen sind aufzuzeichnen:

- Ob ein Bereich der Flamme den oberen Rand oder einen der seitlichen Ränder der Probe erreicht hat;
- die sekundengenau gemessene Nachbrennzeit;

- ▶ ob sich das Nachglimmen über den Flammenbereich (üblicherweise der verkohlte Bereich) hinaus in den unbeschädigten Bereich ausbreitet;
- ▶ sekundengenau gemessene Nachglimmzeit;
- ▶ das Auftreten von Partikelablösungen;
- ▶ ob die Partikelablösungen das Filterpapier entzünden (brennende Partikelablösung) oder schmelzen, falls zutreffend;
- ▶ das Auftreten von Schmelzvorgängen;
- ▶ die Lochbildung wird mit ausreichend Licht von oben oder hinter der Probe erfasst. Vermerkt werden die Anzahl der Löcher, die sich entwickeln, die Größe des größten Loches und die betroffene(n) Schicht(en) bei einer mehrlagigen Probe. Bei der Prüfung mehrlagiger Proben müssen die Bildung eines Loches oder von Löchern in jeder abtrennbaren Schicht sowie die Anzahl der Löcher, die alle Schichten der mehrlagigen Probe durchdringen, angegeben werden.

Dieses Vorgehen gilt für beide Verfahren, mit Ausnahme der Lochbildung, die bei Verfahren B (Beflammung der unteren Kante) nicht anwendbar ist.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Die Kriterien zum Bestehen der Prüfung entsprechend dem Prüfverfahren von DIN EN ISO 15025 sind in DIN EN ISO 14116 beschrieben (siehe Kapitel 5.3.1).

5.3.3 Feuerwehrschutzkleidung

5.3.3.1 Feuerwehrjacke und Feuerwehrhose nach DIN EN 469

Für beide Bekleidungsstücke sieht die DIN EN 469 zwei Leistungsstufen vor, wobei in Stufe eins die geringeren und in Stufe zwei die höheren Anforderungen an das Material gestellt werden.

Eine Forderung an das verwendete Material ist die begrenzte Flammenausbreitung, die nach DIN EN ISO 15025 Teil A geprüft wird. Während der 10 Sekunden Beflammung dürfen folgende Ereignisse nicht eintreten:

- ▶ Flamme darf nicht die Ober- oder Seitenkante der Probe erreichen
- ▶ Brennendes oder schmelzendes Abtropfen
- ▶ Nachglimmzeit kleiner als 2 Sekunden
- ▶ Löcher größer 5 mm in den Außenlagen der Schutzkleidung
- ▶ Nähte dürfen sich nicht öffnen

Für die Schutzkleidung wird als weiterer Parameter der Wärmeübergang durch eine Flamme nach DIN EN ISO 9151 ermittelt. Dafür wird eine waagrecht positionierte Probe von unten mit einem Brenner beflammt. Während der Prüfung wird der Wärmeübergangsindex (HTI) ermittelt, ein Indikator für den relativen Schutz gegenüber Wärmeeinwirkung (DGUV Information 205-020, 2012). Für die Bewertung spielen folgende Werte eine wichtige Rolle:

- HTI 12 → Temperaturerhöhung um 12 Kelvin (Schmerzschwelle der Haut)
- HTI 24 → Temperaturerhöhung um 24 Kelvin (Verbrennung 2. Grades)
- HTI 12-24: Zeit vom ersten Schmerzempfinden zur Verbrennung 2. Grades

In Tabelle 32 sind die Zeiten für die Indices für die jeweiligen Leistungsstufen angegeben.

Tabelle 32: Anforderungen an den Wärmeübergang von Feuerwehrhosen und -jacken während der Beflammung.

Wärmeübergangszahl	Leistungsstufe 1	Leistungsstufe 2
HTI ₂₄	≥ 9,0 Sekunden	≥ 13,0 Sekunden
HTI ₂₄ – HTI ₁₂	≥ 3,0 Sekunden	≥ 4,0 Sekunden

Der Wärmeübergang mittels Strahlungsquelle wird nach DIN EN ISO 6942 ermittelt, indem eine Probe durch ein 40 W Wärmestrahler bestrahlt wird. Bei diesem Verfahren wird auch der HTI-Index ermittelt, deren Grenzwerte in Tabelle 33 dargestellt sind.

Tabelle 33: Anforderungen an den Wärmeübergang von Feuerwehrhosen und -jacken während der Bestrahlung.

Wärmeübergangszahl	Leistungsstufe 1	Leistungsstufe 2
HTI ₂₄	≥ 10,0 Sekunden	≥ 18,0 Sekunden
HTI ₂₄ – HTI ₁₂	≥ 3,0 Sekunden	≥ 4,0 Sekunden

Zur Bestimmung des Wärmewiderstandes nach ISO 17493 wird jedes Material der Bekleidungs-zusammenstellung bei einer Temperatur von 180 °C und einer Expositionszeit von 5 Minuten geprüft und darf sich in der Zeit nicht entzünden, nicht schmelzen oder um mehr als 5 % in Längs- oder Querrichtung schrumpfen.

Die in der DIN EN 469 geforderten Mindestanforderungen werden in Deutschland durch die „Herstellungs- und Prüfungsbeschreibung für eine universelle Feuerweherschutzkleidung“, kurz HuPF geregelt (Bach 2009). Dabei besteht die Ausrüstung aus vier miteinander kombinierbaren Teilen:

- Überjacke (Teil 1)
- Feuerwehrhose (Teil 2)
- Feuerwehrjacke (Teil 3) und
- Überhose (Teil 4)

5.3.3.2 Anforderungen an den Feuerwehrhelm nach DIN EN 443

Der Feuerwehrhelm muss aus Sicht des Brandschutzes folgende Anforderungen erfüllen:

► Strahlungswärme

Im Rahmen der Untersuchung analog zur DIN EN 13087-10 wird der Helm für 480 Sekunden mit einem Wärmestrom von 14 kW/m^2 bestrahlt. Die folgenden Bedingungen müssen zum Bestehen der Prüfung erfüllt werden:

- a) Temperaturerhöhung der Labortemperatur (20°C) um max. 25 K
- b) Kein Erweichen oder Entzünden der Materialien während der Prüfung
- c) Nach der Strahlungswärmebeaufschlagung muss der Helm weiterhin die Anforderungen hinsichtlich Stoßdämpfung und Durchdringungsfestigkeit erfüllen.

Im Rahmen der Prüfungen nach der DIN EN 469 muss mindestens das Leistungsniveau 1 erreicht werden.

► Schutz gegen heiße Festkörper

Bei dieser Prüfung (DIN EN 168) wird das Material mit einer 900°C heißen Stahlkugel belastet. Zum Bestehen der Prüfung gelten die Anforderungen der DIN EN 166. Dort wird gefordert, dass die Kugel nicht innerhalb von 5 bis 7 Sekunden vollständig durch das Material dringt.

► Schutz gegen Schmelzmetalle

Der Schutz des Helmes gegen Schmelzmetalle wird analog zur DIN EN ISO 9185 geprüft. Dafür wird abweichend zu der Norm 150 g flüssiges Eisen (Anforderung der DIN EN 443) auf den Helm gegossen. Innerhalb von 30 Sekunden darf sich das Metall nicht durch den Helm brennen. Die Anforderungen gelten für den Bereich Auge bis Kopfscheitel. Materialien, die unterhalb der Schutzzonen 1a und 1b (DIN EN 443) verwendet werden, werden anstelle mit flüssigem Eisen mit flüssigem Aluminium untersucht.

► Wärmebeständigkeit

Für die Analyse der Wärmebeständigkeit wird der Helm nach ISO 17493 für 20 Minuten bei einer Temperatur von 90°C in einen Ofen gelegt. Die Prüfung des Nackenschutzes erfolgt bei einer Temperatur von 180°C für 5 Minuten. Der Helm darf anschließend folgende Phänomene nicht aufweisen:

- 1. Sich so verformen, dass er an weiteren Punkten den Kopf berührt, die nicht zum guten Sitz des Helmes benötigt werden.
- 2. Trennung, Schmelzen oder Abtropfen (inklusive der Produktbezeichnung)
- 3. Nicht funktionstüchtige Elemente des Helmes (z. B. Kinnriemen)
- 4. Entzündung (inklusive der Produktbezeichnung)

► Flammenbeständigkeit

Zur Ermittlung der Flammenbeständigkeit nach DIN EN 137 wird einem Prüftorso der Feuerwehrhelm zusammen mit einer Feuerwehrüberjacke, einer Feuerschutzhaube und einer Vollmaske für Atemschutz angezogen. Anschließend wird der Probekörper für 10 Sekunden einer 950°C warmen Flamme ausgesetzt. Dieses Szenario simuliert einen Flash-over während der Brandbekämpfung. Der Helm darf während der Prüfung weder abtropfen noch länger als 5 Sekunden nachbrennen bzw. glühen; diese Kriterien sind in der EN 443 festgelegt.

5.3.3.3 Kurzbeschreibungen einzelner Normen zum Feuerwehrhelm

DIN EN 13087-10 (2012) stellt eine Ergänzung zu den spezifischen Produktnormen von Schutzhelmen dar. In dieser Norm wird ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Beständigkeit gegen Strahlungswärme festgelegt. Die Wärmestrahlung einer Infrarot-Strahlungsquelle fällt bei der Prüfung mit einer definierten Intensität für 180 Sekunden auf die Außenfläche eines Helmes, der auf einem Mess-Prüfkopf befestigt ist. Der Helm wird auf dem Prüfkopf so befestigt, wie er auf dem Kopf getragen werden soll. Die Temperatur der Prüfkopf-Oberfläche wird über befestigte Temperaturfühler gemessen und aufgezeichnet.

DIN EN 168 (2001) beschreibt die nichtoptischen Prüfverfahren von Augenschutzgeräten. Zu den Brandschutz-relevanten Prüfvorschriften dieser Norm gehören:

- ▶ Prüfung der Beständigkeit bei erhöhter Temperatur. Die Probe wird in üblicher Gebrauchsstellung für 60 Minuten bei einer Temperatur von 55 °C in einen Wärmeschränk gestellt, anschließend entnommen und vor der Sichtprüfung für mindestens 60 Minuten bei 23 °C zur Temperaturstabilisierung aufbewahrt.
- ▶ Prüfung der Entflammbarkeit. Das Ende eines definierten Stahlstabes wird über eine Länge von mindestens 50 Millimeter auf eine Temperatur von 650 °C erwärmt. Die beheizte Fläche des (in der Längsachse vertikal gehaltenen) Stabes wird für 5 Sekunden gegen die Oberfläche des Probekörpers gepresst und dann entfernt. Während der Prüfung wird beobachtet, ob die Prüfmuster entflammen oder weiterglimmen.
- ▶ Prüfung der Beständigkeit gegen Teilchen hoher Geschwindigkeit bei extremen Temperaturen. Das zu prüfende Augenschutzgerät befindet sich auf einem Prüfkopf. Ein über einem weißen Papierblatt liegendes Kohlepapierblatt wird zwischen Augenschutzgerät und Prüfkopf gelegt. Der Prüfkopf mit dem Augenschutzgerät wird mit definiertem Abstand vor der Schießeinrichtung angeordnet. Die Kugel wird mit einer festgelegten Geschwindigkeit geschossen. Der Aufprall der Kugel erfolgt unter folgenden Bedingungen:
 - a) die Sichtscheibe wird auf 55 °C erwärmt und auf dieser Temperatur für mindestens 1 Stunde gehalten;
 - b) die Sichtscheibe wird auf eine Temperatur von -5 °C abgekühlt und auf dieser Temperatur mindestens 1 Stunde lang gehalten.Für jeden einzelnen Auftreffpunkt und für jede Temperaturbedingung sind neue Sichtscheiben zu verwenden.
- ▶ Prüfung des Schutzes gegen Schmelzmetall. Hierfür wird geschmolzenes Metall auf ein Augenschutzgerät geschleudert. Als Gerät wird ein Auswurfsystem mit einem in der Mitte tellerförmigen Auswerferkopf eingesetzt, der einen Tiegel mit geschmolzenem Metall aufnehmen kann. Das Augenschutzgerät wird über der Öffnung angeordnet, so dass der zu prüfende Bereich sich unmittelbar über der Mitte des Ausstoßkopfes befindet. Der Ausstoßkopf wird mit einem Tiegel beschickt, der Grauguss mit einer Temperatur von 1450 °C enthält. Der Tiegel mit dem geschmolzenen Metall wird gegen das Augenschutzgerät geschleudert. Die Prüfung wird mit einem zweiten Augenschutzgerät wiederholt, dabei wird Aluminium

mit einer Temperatur von 750 °C verwendet. Die Prüfungen finden bei einer Umgebungstemperatur von 23 °C statt. Es ist zu berichten, ob Schmelzmetall an einem Teil des Augenschutzgerätes haften geblieben ist.

- Prüfung des Widerstandes gegen das Durchdringen von heißen Festkörpern. Die zu prüfende Probe wird auf einen definierten Zylinder gelegt. Eine Hülse aus wärmeisolierendem Material wird auf die Probe gestellt, um eine Stahlkugel dort zu zentrieren. Die Stahlkugel wird auf 900 °C erhitzt und anschließend in die Hülse geworfen. Ein vollständiges Durchdringen des Probenmaterials lässt sich am Fallen der Kugel erkennen. Es wird die Zeit vermerkt, die dieses Durchdringen gedauert hat.

Das Ergebnis einer Prüfung ist entweder „bestanden“ oder „nicht bestanden“.

DIN EN ISO 9185 (2007) wird zur Beurteilung des Materialwiderstandes von Schutzkleidung gegen flüssige Metallspritzer herangezogen. Bei der Prüfung werden definierte Mengen schmelzflüssigen Metalls auf die Probe gegossen, die auf einem Befestigungsrahmen gehalten wird. Eine PVC-Folie ist unmittelbar hinter der Probe und in Kontakt mit dieser angebracht und dient zur Bewertung der Beschädigung einer Probe. Die Veränderungen der PVC-Folie werden nach dem Gießen notiert, ebenso wie das Anhaften von Metall an der Probenoberfläche. In Abhängigkeit vom Ergebnis wird die Prüfung unter Verwendung einer größeren oder kleineren Metallmenge wiederholt, bis die minimale Menge festgestellt ist, die eine Beschädigung der PVC-Folie verursacht.

ISO 17493 (2016) beschreibt eine Testmethode für die Beständigkeit von Kleidung und Ausrüstung zum Schutz gegen Hitze. Geprüft wird dabei der konvektive Hitze-Widerstand bei der Verwendung eines Heißluftumwälzofens. Die Proben werden der Heißluft bei einer Temperatur von 180 °C oder 260 °C für 5 Minuten ausgesetzt. Sämtliche sichtbaren Veränderungen wie z. B. Verkohlung, Verformung, Zersetzung, Lochbildung, Entzündung, Schmelzen werden notiert. Die Norm bezieht sich z. B. auf Handschuhe, Schuhwerk, Helme und Augenschutzgeräte.

DIN EN 137 (2006) regelt die Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung für Atemschutzgeräte [Behältergeräte mit Druckluft (Pressluftatmer) mit Vollmaske]. Behältergeräte mit Druckluft werden eingeteilt in Geräte für den Industriebereich (Typ 1) und Geräte für die Brandbekämpfung (Typ 2).

Für den Bereich Brandschutz sind die Anforderungen an die Temperaturbeständigkeit, Entflammbarkeit, Beflammung und Widerstandsfähigkeit gegen Strahlungswärme relevant. Das Gerät muss im Temperaturbereich von –30 °C bis 60 °C störungsfrei arbeiten. *„Geräte, die speziell für Temperaturen außerhalb dieser Grenzen konstruiert sind, müssen geprüft und die Temperatur(en) muss (müssen) am Gerät gekennzeichnet sein.“* Weiterhin darf der Werkstoff der Bänder und Schnallen nicht brennen oder nicht mehr als 5 Sekunden nach dem Entfernen aus der Flamme weiterbrennen. *„Die Atemschläuche die zur Vollmaske führen, die Mitteldruckleitung(en) und der Lungenautomat müssen „selbstverlöschend“ sein, d.h., der Werkstoff darf nicht leicht entflammbar sein und die Teile dürfen nicht mehr als 5 Sekunden nach dem Entfernen aus der Flamme weiterbrennen. Isoliergeräte des Typs 2 müssen einer Beflammungsprüfung unterzogen werden. Es darf kein Nachbrennen mehr als 5 Sekunden dauern. Bei Isoliergeräten des Typs 2 müssen die Atemschläuche, die zur Vollmaske führen, die Mitteldruckleitung(en) und der Lungenautomat auf Widerstandsfähigkeit gegen Strahlungswärme geprüft werden. Die Bauteile sind als widerstandsfähig gegen Strahlungswärme anzusehen, falls sie nach einer Prüfzeit von 20 min dicht bleiben...“.*

5.3.3.4 Anforderungen an die Feuerschutzhaube nach DIN EN 13911

Die Feuerschutzhaube muss aus Sicht des Brandschutzes folgende Anforderungen erfüllen:

► Flammenausbreitung

Zur Bestimmung der Flammenausbreitung wird die Oberfläche des verwendeten Materials für 10 Sekunden mit einem Brenner nach den Angaben der DIN EN ISO 15025 bestrahlt. Damit das Material die Anforderungen der DIN EN 13911 erfüllt, darf sich während und nach dem Test keine Naht öffnen, gleichzeitig müssen die Bedingungen der DIN EN ISO 14116 im Index 3 erfüllt werden (siehe Kapitel 5.3.1).

► Wärmeübertragung

Wie für die Feuerwehrhose und die Feuerwehrjacke beschrieben, wird auch hier der Wärmeübergang mittels Flamme nach DIN EN ISO 9151 ermittelt. Es gelten folgende Grenzwerte:

HTI 24 ≥ 8 Sekunden

HTI 24-HTI 12 ≥ 3 Sekunden

Die Untersuchungen des Wärmeüberganges mittels Wärmestrahlung erfolgt nach EN ISO 6942 mit einer Wärmestromdichte von 20 kW/m^2 . Dort gelten folgende Grenzwerte zum Bestehen der Prüfung:

RHTI 24 ≥ 11 Sekunden

RHTI 24-RHTI 12 ≥ 3 Sekunden

► Wärmewiderstand

Diese Prüfung erfolgt analog zur Prüfung des Wärmewiderstandes von Feuerwehrhelmen nach ISO 17492. Die Prüfung erfolgt für 5 Minuten bei einer Temperatur von 180°C . Anschließend dürfen die Materialien ein Schrumpfverhalten von max. 5 % aufweisen.

5.3.3.5 Anforderungen an Feuerweherschuhwerk nach DIN EN 15090

Das Feuerweherschuhwerk muss aus Sicht des Brandschutzes folgende Anforderungen erfüllen:

► Wärmeisolierung

Diese Prüfung erfolgt nach den Angaben der DIN EN ISO 20344. Dafür wird der Schuh für eine gewisse Zeit auf eine Wärmeplatte gestellt. In Tabelle 34 und Tabelle 35 sind die nach der DIN EN 15090 definierten Prüfbedingungen und Anforderungen für die Wärmeisolierung zusammengefasst. Im Anschluss an die Prüfung darf der Schuh weder große Risse, noch eine Trennung von Obermaterial und Laufsohle oder eine Deformation der Sohle aufweisen.

Tabelle 34: Wärmeisolierung: Anforderungen an die Innentemperatur der Schuhe

Leistungsniveau	HI 1	HI 2	HI 3
HTI ₂₄	150°C	250°C	250°C
Innentemperatur des Schuhs	$< 42^\circ\text{C}$ nach 30 Minuten	$< 42^\circ\text{C}$ nach 10 Minuten	

Tabelle 35: Wärmeisolierung: Anforderungen an die Degradation der Schuhe

Leistungsniveau	HI 1	HI 2	HI 3
HTI ₂₄	150 °C	250 °C	250 °C
Vollständige Dauer der Prüfung	30 Minuten	20 Minuten	40 Minuten

► Strahlungswärme

Ein Feuerwehrschuh muss die Prüfung nach DIN EN ISO 6942 mit einer Wärmestromdichte von 20 kW/m² für 40 Sekunden bestehen. Der gemessene Temperaturanstieg darf 24 °C nicht überschreiten. Nach Beendigung der Prüfung dürfen keine Risse bis zur Hälfte der Materialdicke entstehen sowie das Oberleder weder entzünden noch schmelzen. Als letztes Kriterium muss der Verschlussmechanismus funktionstüchtig sein.

► Flammfestigkeit

Für diese Prüfung wird nach DIN EN ISO 15025 eine gewisse Fläche eines um 45° geneigten Schuhs für 10 Sekunden beflammt. Nach Entfernung der Flamme darf diese Fläche max. 2 Sekunden weiterbrennen oder glühen. Folgende Ereignisse führen ebenfalls zum Nichtbestehen der Prüfung:

- ausgeprägte und tiefe Rissbildung, über die Hälfte der Materialdicke des Oberleders hinaus
- Entzündung und Schmelzen des Oberleders
- Auflösen der Nähte
- Risse in der Laufsohle
- Trennung von Obermaterial und Laufsohle
- nicht funktionierendes Verschlusssystem

5.3.3.6 Anforderungen an Feuerwehr-Schutzhandschuhe nach DIN EN 659

Die Feuerwehrschutzhandschuhe müssen aus Sicht des Brandschutzes folgende Anforderungen erfüllen:

► Brennverhalten

Zur Untersuchung des Brandverhaltens von Feuerwehrschutzhandschuhen nach DIN EN 407 wird die untere Spitze des Handschuhs (Position des Mittelfingers) für 15 Sekunden beflammt. Dabei darf die Nachbrennzeit ≤ 2 Sekunden und Nachglimmzeit ≤ 5 Sekunden nicht überschreiten. Des Weiteren führen ein schmelzendes Abtropfen und ein Öffnen der Naht zum Nichtbestehen der Prüfung.

► Konvektive Wärme

Für diese Untersuchung wird nach DIN EN 367 das Handschuhmaterial mit einer Wärmestromdichte von 80 kW/m² bestrahlt. Zum Bestehen der Prüfung darf die Wärmeübergangszahl folgenden Wert nicht unterschreiten:

HTI 24 ≥ 13 Sekunden

► Strahlungswärme

Die Untersuchungen des Wärmeüberganges mittels Wärmestrahlung erfolgt nach EN ISO 6942 mit einer Wärmestromdichte von 40 kW/m^2 . Dort gelten folgende Grenzwerte zum Bestehen der Prüfung:

RHTI 24 ≥ 20 Sekunden

► Kontaktwärme

Die Bestimmung der Kontaktwärme erfolgt nach EN 702 in einem Kalorimeter mit beweglicher Aluminiumscheibe. Diese wird bei 250°C in Richtung des Handschuhmaterials gefahren und die Zeit ermittelt, bis die Temperatur der Scheibe um 10°C angestiegen ist. Diese muss nach DIN EN 659 mindestens 10 Sekunden betragen.

► Wärmewiderstand des Futtermaterials

Für die Analyse der Wärmebeständigkeit wird das am nächsten zur Haut liegende Futter nach ISO 17493 für 5 Minuten bei einer Temperatur von 180°C in einen Ofen gelegt. Das Futtermaterial darf nach und während der Prüfung weder schmelzen, tropfen oder sich entzünden.

► Schrumpfen

Die Analyse des Schrumpfverhaltens erfolgt auch nach der ISO 17493, anschließend darf das Material nur um max. 5 % geschrumpft sein.

5.4 Prüfverfahren für Bodenbeläge und andere Bauprodukte

Bauprodukte sind nach der Definition der MBO 2019 § 2 Abs. 10 Baustoffe, Bauteile, Anlagen und Bausätze für den dauerhaften Einbau in bauliche Anlagen des Hoch- und Tiefbaus. Ihre Verwendung kann sich auf die Anforderungen an bauliche Anlagen auswirken (DIBt 2019). Bauprodukte sind außerdem aus Baustoffen und Bauteilen vorgefertigte Anlagen, wie z. B. Fertighäuser und Fertiggaragen, die mit dem Erdboden verbunden werden. Alle Produkte (Bauprodukte), die mit dem Gebäude verbunden sind und nicht einfach verrückt werden können, werden entweder nach der nationalen DIN 4102-1 oder nach der harmonisierten europäischen DIN EN 13501-1 geprüft. Geplant ist, dass alle Normen europäisch harmonisiert werden. Wann das in Deutschland für die DIN EN 13501-1 erfolgt, ist aktuell noch nicht bekannt. Im Folgenden werden die Normen vorgestellt.

5.4.1 Baustoffprüfung nach DIN 4102-1

Mit der Norm kann in Deutschland die Klassifizierung des Brandverhaltens von allen Baustoffen vorgenommen werden. Die Klassifizierung wird im Gegensatz zur DIN EN 13501-1 in anderen Ländern in der Regel nicht akzeptiert. Sie dient zur Beurteilung des Risikos als Einzelbaustoff und im Verbund mit anderen Baustoffen. Nach DIN 4102-1 werden Baustoffe in die Klassen nichtbrennbar, schwerentflammbar, normalentflammbar und leichtentflammbar eingestuft (Tabelle 36).

Tabelle 36: Übersicht der Baustoffklassen nach DIN 4102-1

Baustoffklasse	Benennung
A	nichtbrennbare Baustoffe
A 1	
A 2	
B	brennbare Baustoffe
B 1	
B 2	
B 3	

5.4.2 Baustoffklasse nichtbrennbar (A1 und A2)

Zum Erreichen der Baustoffklasse nichtbrennbar müssen folgende Prüfungen bestanden werden:

- Ofenprüfung nach DIN 4102-1 (A1 und A2)
- Brandschachtprüfung nach DIN 4102-16 (A2)
- Prüfung der Rauchentwicklung nach Anhang A und B der DIN 4102-1 (A2)

5.4.2.1 Nichtbrennbarkeits-/Ofenprüfung

Die Ofenprüfung nach DIN 4102-1 stellt modellhaft einen fortentwickelten, teilweise vollentwickelten Brand dar. In dieser Situation darf für die Baustoffklasse A1 das untersuchte Material keine Wärme abgeben und die entzündbaren Gase dürfen nicht frei werden. Für die Baustoffklasse A2 ist eine sehr geringe Wärmefreisetzung und Brandausbreitung erlaubt. Genauso ist die Entwicklung einer begrenzten Menge an entzündlichen Gasen und eine unbedenkliche Rauchentwicklung gestattet.

Probekörper

Für eine Prüfung werden jeweils fünf Probekörper mit den Abmessungen 40 mm x 40 mm x 50 mm benötigt. Baustoffe mit Oberflächenbeschichtungen werden mit diesen geprüft und müssen die Anforderungen erfüllen.

Vor der Prüfung werden die Probekörper bei einer Temperatur von 105 °C für 6 Stunden getrocknet.

Zur Prüfung werden die Proben in ein Drahtgestell eingeführt, welches die Proben im Ofen in gleicher Lage hält.

Prüfeinrichtung

Die Prüfung wird in einem zylinderförmigen, elektrisch beheizten Ofen durchgeführt, dessen Heizleiter gleichmäßig auf den Außenmantel des keramischen Heizleiterträgers aufgebracht sind. Über der Deckelöffnung in der Achse der Heizröhre ist eine Zündflamme mit einer Höhe von 20 mm angeordnet. Ein geneigter Spiegel über dem Ofen dient zur Beobachtung des Brandverhaltens des Probekörpers.

Durchführung der Prüfung

Der Ofen wird zunächst auf eine Temperatur von 750 °C aufgeheizt und anschließend wird der Probekörper in die Mitte des Ofens eingesetzt. Die Prüfdauer beträgt 30 Minuten für die Klassifizierung A1 und 15 Minuten für die Klassifizierung A2. Wenn nach Ablauf von 30 Minuten (Klassifizierung A1) kein Maximum der Temperaturerhöhung eingetreten ist, ist die Prüfung einer Probe bis zum Temperaturmaximum (max. 90 Minuten) ausreichend. Die Energiezufuhr bleibt während des Versuchs konstant. Für eine Klassifizierung werden fünf Prüfungen benötigt.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Klassifizierung A1

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn bei keiner Probe eine Entflammung auftritt, d. h. eine Vergrößerung der Zündflamme, Flammen im Ofen zu beobachten sind oder der Probekörper glimmt. Außerdem darf die Temperatur im Ofen durch die abgegebene Wärme max. 50 °C über dem Anfangswert liegen.

Klassifizierung A2

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn bei keiner Probe eine Entflammung mit einer Gesamtdauer über 20 Sekunden auftritt. Die Flammen dürfen eine Höhe von 100 mm nicht überschreiten und dürfen nicht aus der Heizröhre herausschlagen. Weiterhin darf die Temperatur im Ofen durch die abgegebene Wärme max. 50 Kelvin über dem Anfangswert liegen.

5.4.2.2 Brandschachtprüfung

Die Art der Probekörper, die Prüfeinrichtung und die Durchführung der Prüfung wird im Kapitel 5.4.3.1 beschrieben.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn:

- ▶ Mittlere Restlänge der vier Probekörper mindestens 35 cm beträgt und kein Probekörper eine Restlänge kleiner 20 cm besitzt,
- ▶ mittlere Rauchgastemperatur: ≥ 125 °C,
- ▶ keine Entflammung der Rückseite,
- ▶ keine Flamme höher als die Probenoberkannte,
- ▶ kein brennendes Abfallen oder Abtropfen.

5.4.2.3 Prüfung der Rauchentwicklung

Diese Prüfung erfolgt nach den Angaben der Anhänge A und B der DIN 4102-1. Im Teil A erfolgt die Bestimmung der Rauchentwicklung unter Verschwelungsbedingungen und im Teil B unter Flammenbeanspruchung.

Probekörper

Bestimmung der Rauchentwicklung von Baustoffen unter Verschwelungsbedingungen

Für die Prüfung im Falle von Verschwelungsbedingungen nach DIN 4102-1 Anhang A werden für homogenes Material 18 Probekörper und für inhomogene Materialien 24 Probekörper (parallel zur Oberfläche und senkrecht zu Oberfläche) in der Größe 5 x 2 x 27 mm³ benötigt. Die Proben werden bis zur Gewichtskonstanz klimatisiert.

Bestimmung der Rauchentwicklung von Baustoffen bei Flammenbeanspruchung

Eine Prüferie besteht aus fünf bzw. zehn Proben in der Größe 30 mm x 30 mm x Anwendungsdicke, dabei ist die maximale Dicke 15 mm. Die Proben werden vor Versuchsbeginn bis zur Gewichtskonstanz klimatisiert.

Prüfeinrichtung

Bestimmung der Rauchentwicklung von Baustoffen unter Verschwelungsbedingungen

Die Prüfeinrichtung besteht aus einem Quarzrohr in dem der Probekörper positioniert wird. Dieses Rohr wird durch einen beweglichen Ringofen von außen beheizt. Mittels Lichtmessstrecke wird die Lichtschwächung während des Versuches ermittelt.

Bestimmung der Rauchentwicklung von Baustoffen bei Flammenbeanspruchung

Für diese Prüfung befinden sich in einer verschließbaren Prüfkammer ein Propangasbrenner, eine Probenhalterung und eine Rauchgasdichtemesseinrichtung.

Durchführung der Prüfung

Bestimmung der Rauchentwicklung von Baustoffen unter Verschwelungsbedingungen

Der Probekörper wird in das Quarzrohr gelegt und anschließend wird der auf Versuchstemperatur geheizte Ringofen über die Probe gefahren. Parallel dazu wird die Lichtschwächung (Rauchdichte) gemessen. Der Versuch wird bei den folgenden Temperaturen durchgeführt:

1. 250 °C
2. 300 °C
3. 350 °C
4. 400 °C
5. 550 °C
6. 600 °C

Bestimmung der Rauchentwicklung von Baustoffen bei Flammenbeanspruchung

Die Probe wird mit der Fläche, die im Anwendungsfall sichtbar ist, nach unten gerichtet auf den Probenhalter gelegt und für 4 Minuten beflammt. Währenddessen wird die Lichtabsorption aufgezeichnet.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Für Prüfungen nach Anhang A (Verschwelung) darf die mittlere Lichtabsorption bei keinem Experiment 30 % überschreiten. Im Falle der Prüfung nach Anhang B (Verbrennung mit Flammenbeanspruchung) darf die Lichtabsorption 15 % für Experimente ohne Luftdurchsatz nicht übersteigen.

5.4.3 Baustoffklasse schwerentflammbar (B1)

Voraussetzungen für die Klassifizierung schwerentflammbar (B1) sind:

- ▶ Bestehen der Brandschachtprüfung nach DIN 4102-16 bzw. DIN 4102-14 für Bodenbeläge,
- ▶ Anforderungen an die Baustoffklasse B2 erfüllen (Beflammung im Brennkasten).

5.4.3.1 Brandschachtprüfung

Die Durchführung der Brandschachtprüfung erfolgt nach den Angaben der DIN 4102-16 in einem Brandschacht nach DIN 4102-15. Die Voraussetzungen für die B1-Klassifizierung sind in der DIN 4102-1 aufgelistet. Dort wird die Prüfung als modellhafter Brand eines Gegenstandes in

einem Raum (z. B. Papierkorb) dargestellt. Mit dem Bestehen der Prüfung wird sichergestellt, dass sich die Brandausbreitung des Materials nicht wesentlich außerhalb des Primärbrandbereichs erstreckt und die Wärmeabgabe begrenzt ist.

Probekörper

Für die Brandschachtprüfung werden Probekörper mit den Abmessungen 1000 mm Höhe und 190 mm Breite verwendet. Die Dicke der Probekörper beträgt max. 80 mm. Die Proben werden bis zur Gewichtskonstanz klimatisiert.

Prüfeinrichtung

Der Brandschacht besteht aus:

- ▶ Senkrecht stehendem Gehäuse,
- ▶ Probenhalterung, um die 4 Probekörper schlotartig anzuordnen (Die Befestigung der Probekörper ist abhängig vom späteren Einsatz der Materialien.),
- ▶ einer Luftzufuhr von unten,
- ▶ Rauchgasabfuhr oberhalb der Probekörper,
- ▶ quadratischem Gasbrenner mit 8 Düsen pro Seite,
- ▶ Thermoelementen oberhalb der Probekörper zum Messen der Rauchgastemperatur.

Durchführung der Prüfung

Der Probekörper wird im Brandschacht positioniert und die Zuluftversorgung eingestellt. Nach Zündung des Brenners werden die Proben 10 Minuten beflammt. Gegenüber dem Labor muss im Brandschacht während der Prüfung ein Differenzdruck von -15 Pascal bestehen.

Der Probekörper wird bis zur Beendigung des Brandversuchs einschließlich Nachbrennen, Nachglimmen oder Nachglühen im Brandschacht belassen. Der Zuluftvolumenstrom bleibt über die gesamte Zeit eingestellt. Die Prüfung wird dreimal durchgeführt.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

- ▶ Mittlere Restlänge der vier Probekörper von mindestens 15 cm und kein Probekörper mit einer Restlänge von 0 cm.
- ▶ Bei keinem Versuch darf die mittlere Rauchgastemperatur 200 °C überschreiten.
- ▶ Die Probekörper dürfen nur so weit nachbrennen, nachglimmen oder nachglühen, dass die Anforderungen an die mittlere Restlänge eingehalten werden.

5.4.3.2 Bestimmung der Flammenausbreitung bei Beanspruchung mit einem Wärmestrahler

Die Prüfung nach der DIN 4102-14 simuliert eine Brandsituation, bei der die Flammen aus einer Türöffnung zu einem benachbarten Raum schlagen. Das geprüfte Material muss bezüglich der waagerechten Flammenausbreitung und der Rauchentwicklung unbedenklich sein.

Probekörper

Für eine Prüfung werden Probekörper in den Maßen 1050 x 230 mm² auf eine Probenträgerplatte gelegt oder geklebt. Für den ersten Fall wird die Prüfung viermal und im zweiten Fall dreimal durchgeführt. Jeder Probekörper wird bis zur Gewichtskonstanz klimatisiert.

Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung besteht aus einer Prüfkammer, einem gasbeheizten Strahler, einem beweglichen Zündbrenner, einem Probenhalter, einer Absaugeinrichtung und einer Mess- sowie Kalibriereinrichtung. Der mit Propangas betriebene Strahler ist 30° zur Horizontalen (Position der Proben) geneigt und befindet sich in der Nähe der kurzen Kante des Probekörpers.

Durchführung der Prüfung

Der Probekörperhalter wird mit Probe in dem Prüfraum positioniert und durch den vorgeheizten Strahler für max. 30 Minuten bestrahlt. Zwischen der dritten und der zwölften Minute wird durch einen Zündbrenner versucht, die Probe zu entzünden. Aus der Messung der Brennstrecke und des Strahlungsprofils des Heizstrahlers wird die kritische Strahlungsintensität ermittelt.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Ein Bodenbelag besteht diese Prüfung von 30 Minuten, wenn in dieser Zeit die kritische Strahlungsintensität mindestens 0,45 W/cm² beträgt und das Integral der Lichtschwächung 750 %•min nicht überschreitet.

5.4.3.3 Brennkastenprüfung für die Baustoffklasse normalentflammbar (B2)

Mit dieser Prüfung wird die Beanspruchung eines Baustoffs durch eine Streichholzflamme simuliert. Zum Bestehen der Prüfung müssen die Entzündbarkeit und die Flammenausbreitung am Material begrenzt sein.

Probekörper

Eine Prüfung besteht aus fünf Probekörpern in der Größe 90 mm x 190 mm (Kantenbeflammung) bzw. 90 mm x 230 mm (Flächenbeflammung). Die Proben werden bis zur Massekonstanz klimatisiert.

Prüfeinrichtung

Die Prüfung erfolgt in einem Brennkasten nach DIN 50050-1. Der Boden besteht zur freien Durchlüftung aus einem Gitterrost. Im Brennkasten befindet sich ein Propangasbrenner nach DIN 50051 und die Halterung (vertikal) für die Probekörper.

Durchführung der Prüfung

Der im Prüfraum eingespannte Probekörper wird mit einer um 45° geneigten Brennerflamme beflammt. Je nachdem, ob in der späteren Verwendung des Materials Kanten vorhanden sind, wird der Probekörper an der schmalen Kante oder der Fläche beflammt. Für beide Fälle wird die Probe für 15 Sekunden beflammt. Die Zeit vom Beginn der Beflammung bis zum Erreichen der 150 mm (Kantenbeflammung) bzw. 190 mm Marke (Flächenbeflammung) wird gemessen, sofern die Flamme nicht von selbst erlischt. Neben der Flammenausbreitung wird bei der Prüfung auch das brennende Abtropfen untersucht. Dafür befinden sich unter dem Prüfkörper zwei Lagen Filterpapier.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Zum Bestehen der Prüfung darf die Flammenspitze die obere Markierung (150 mm bei Kantenbeflammung und 190 mm bei Flächenbeflammung) in den ersten 20 Sekunden nach Beginn der Beflammung nicht erreichen und das Filterpapier darf nicht durch brennende Tropfen zum Brennen gebracht werden.

5.4.4 Baustoffprüfung nach DIN EN 13501-1

Nach der europäischen Norm werden Baustoffe mit Ausnahme von Bodenbelägen und Rohrisolierungen (letzte sind für diese Arbeit nicht relevant) in 7 Klassen eingestuft. Diese sind mit den zugehörigen Prüfverfahren in Tabelle 37 dargestellt.

Tabelle 37: Übersicht der Baustoffklassen nach DIN EN 13501-1 mit Ausnahme von Bodenbelägen und Rohrisolierungen.

Baustoffklasse	Benennung	Nachweisverfahren	Prüfnorm
A1	nichtbrennbare Baustoffe	Nichtbrennbarkeitsprüfung Verbrennungswärme	DIN EN ISO 1182 DIN EN ISO 1716
A2	nichtbrennbare Baustoffe	Nichtbrennbarkeitsprüfung Verbrennungswärme SBI ⁴⁴ -Test	DIN EN ISO 1182 DIN EN ISO 1716 DIN EN 13823
B	schwerentflammbare Baustoffe	SBI-Test Einzelflammentest	DIN EN 13823 DIN EN ISO 11925-2
C	schwerentflammbare Baustoffe	SBI-Test Einzelflammentest	DIN EN 13823 DIN EN ISO 11925-2
D	normalentflammbare Baustoffe	SBI-Test Einzelflammentest	DIN EN 13823 DIN EN ISO 11925-2
E	normalentflammbare Baustoffe	Einzelflammentest	DIN EN ISO 11925-2
F	leichtentflammbare Baustoffe	keines	

Die Kriterien zum Erreichen der jeweiligen Baustoffklasse sind in DIN EN 13501-1 festgelegt; Tabelle 38 gibt eine zusammenfassende Übersicht.

Tabelle 38: Übersicht der Anforderungen zum Erreichen der Baustoffklasse von Bauprodukten nach DIN EN 13501-1; Bodenbeläge und Rohrisolierungen werden dabei nicht betrachtet.

Baustoffklasse	Prüfverfahren	Klassifizierungskriterien
A1	DIN EN ISO 1182 und DIN EN ISO 1716	$\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$ und $\Delta m \leq 50\%$ und Keine Entflammung $\text{PCS} \leq 2 \text{ MJ/kg}$ →homogene Bauteile und substanzielle Bauteile $\text{PCS} \leq 2 \text{ MJ/m}^2$ →äußerer nicht substanzieller Bestandteil $\text{PCS} \leq 1,4 \text{ MJ/m}^2$ →innere nicht substanzielle Bestandteile $\text{PCS} \leq 2 \text{ MJ/kg}$ →Produkt im Ganzen

⁴⁴ SBI: Single Burning Item Test

Baustoffklasse	Prüfverfahren	Klassifizierungskriterien
A2	DIN EN ISO 1182 oder	$\Delta T \leq 50^\circ\text{C}$ und $\Delta m \leq 50\%$ und Entflammung: max. 20 s
	DIN EN ISO 1716 und	$PCS \leq 3 \text{ MJ/kg}$ →homogene Bauteile und substanzielle Bauteile $PCS \leq 4 \text{ MJ/m}^2$ →äußerer nicht substanzieller Bestandteil $PCS \leq 4 \text{ MJ/m}^2$ →innere nicht substanzielle Bestandteile $PCS \leq 3 \text{ MJ/kg}$ →Produkt im Ganzen
	DIN EN 13823	$FIGRA \leq 120 \text{ W/s}$ und $LFS < \text{Rand des Probekörpers}$ $THR (\text{nach } 600 \text{ s}) \leq 7,5 \text{ MJ}$
B	DIN EN 13823 und	$FIGRA \leq 120 \text{ W/s}$ und $LFS < \text{Rand des Probekörpers}$ $THR (\text{nach } 600 \text{ s}) \leq 7,5 \text{ MJ}$
	DIN EN ISO 11925-2 Beanspruchung 30 s	Flammenfront $\leq 150 \text{ mm}$ (nach 60 s)
C	DIN EN 13823 und	$FIGRA \leq 250 \text{ W/s}$ und $LFS < \text{Rand des Probekörpers}$ $THR (\text{nach } 600 \text{ s}) \leq 15 \text{ MJ}$
	DIN EN ISO 11925-2 Beanspruchung 30 s	Flammenfront $\leq 150 \text{ mm}$ (nach 60 s)
D	DIN EN 13823 und	$FIGRA \leq 250 \text{ W/s}$ und
	DIN EN ISO 11925-2 Beanspruchung 30 s	Flammenfront $\leq 150 \text{ mm}$ (nach 60 s)
E	DIN EN ISO 11925-2 Beanspruchung 15 s	Flammenfront $\leq 150 \text{ mm}$ (nach 20 s)
F	keines	keines

Für die Baustoffklassifizierung von Bodenbelägen sind in der DIN EN 13501-1 sieben Klassen definiert, die in Tabelle 39 zusammengefasst sind. Die Kriterien zum Erreichen der jeweiligen Baustoffklasse sind in Tabelle 40 aufgeführt.

Tabelle 39: Übersicht der Baustoffklassen nach DIN EN 13501-1 für Bodenbeläge.

Baustoffklasse	Benennung	Nachweisverfahren	Prüfnorm
A1 _{fl}	nichtbrennbare Baustoffe	Nichtbrennbarkeitsprüfung Verbrennungswärme	DIN EN ISO 1182 DIN EN ISO 1716
A2 _{fl}	nichtbrennbare Baustoffe	Nichtbrennbarkeitsprüfung Verbrennungswärme Beanspruchung Wärmestrahler	DIN EN ISO 1182 DIN EN ISO 1716 DIN EN ISO 9239-1
B _{fl}	schwerentflammbare Baustoffe	Beanspruchung Wärmestrahler Einzelflammentest	DIN EN ISO 9239-1 DIN EN ISO 11925-2
C _{fl}	schwerentflammbare Baustoffe	Beanspruchung Wärmestrahler Einzelflammentest	DIN EN ISO 9239-1 DIN EN ISO 11925-2

Baustoffklasse	Benennung	Nachweisverfahren	Prüfnorm
D _{fl}	normalentflammbare Baustoffe	Beanspruchung Wärmestrahler Einzelflammentest	DIN EN ISO 9239-1 DIN EN ISO 11925-2
E _{fl}	normalentflammbare Baustoffe	Einzelflammentest	DIN EN ISO 11925-2
F _{fl}	leichtentflammbare Baustoffe	keines	

Tabelle 40: Übersicht der Anforderungen zum Erreichen der Baustoffklasse von Bauprodukten nach DIN EN 13501-1 für Bodenbeläge.

Baustoffklasse	Prüfverfahren	Klassifizierungskriterien
A1 _{fl}	DIN EN ISO 1182 und	$\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$ und $\Delta m \leq 50\%$ und Keine Entflammung
	DIN EN ISO 1716	PCS ≤ 2 MJ/kg →homogene Bauteile und substanzielle Bauteile PCS ≤ 2 MJ/m ² →äußerer nicht substanzieller Bestandteil PCS $\leq 1,4$ MJ/m ² →innere nicht substanzielle Bestandteile PCS ≤ 2 MJ/kg →Produkt im Ganzen
A2 _{fl}	DIN EN ISO 1182 oder	$\Delta T \leq 50^\circ\text{C}$ und $\Delta m \leq 50\%$ und Entflammung: max. 20 s
	DIN EN ISO 1716 und	PCS ≤ 3 MJ/kg →homogene Bauteile und substanzielle Bauteile PCS ≤ 4 MJ/m ² →äußerer nicht substanzieller Bestandteil PCS ≤ 4 MJ/m ² →innere nicht substanzielle Bestandteile PCS ≤ 3 MJ/kg →Produkt im Ganzen
	DIN EN ISO 9239-1	Kritischer Wärmestrom ⁴⁵ ≥ 8 kW/m ²
B _{fl}	DIN EN ISO 9239-1 und	Kritischer Wärmestrom ≥ 8 kW/m ²
	DIN EN ISO 11925-2 Beanspruchung 30 s	Flammenfront ≤ 150 mm (nach 60 s)
C _{fl}	DIN EN ISO 9239-1 und	Kritischer Wärmestrom $\geq 4,5$ kW/m ²
	DIN EN ISO 11925-2 Beanspruchung 30 s	Flammenfront ≤ 150 mm (nach 60 s)
D _{fl}	DIN EN ISO 9239-1 und	Kritischer Wärmestrom ≥ 3 kW/m ²
	DIN EN ISO 11925-2 Beanspruchung 30 s	Flammenfront ≤ 150 mm (nach 60 s)
E _{fl}	DIN EN ISO 11925-2 Beanspruchung 15 s	Flammenfront ≤ 150 mm (nach 20 s)
F _{fl}	keines	keines

⁴⁵ Wärmestrom, bei dem die Flammen erlöschen, oder der Wärmestrom nach 30 Minuten (d. h. der Wärmestrom bei der größten Flammenausbreitung innerhalb von 30 Minuten), wobei der kleinere Wert maßgebend ist (Definition aus der DIN EN 9239-1).

5.4.4.1 Nichtbrennbarkeitsprüfung

Bauprodukte, welche die Nichtbrennbarkeitsprüfung nach DIN EN ISO 1182 bestehen, leisten keinen oder einen unbedeutenden Beitrag zu einem Brand, da diese nicht vollkommen inert sind und eine begrenzte Wärmemenge und Flammen bei einer Temperatur von 750 °C entwickeln. Die praktische Anwendung der Materialien wird nicht berücksichtigt.

Probekörper

Für eine Prüfung werden repräsentative zylindrische Probekörper mit einem Durchmesser von 45 mm und einer Höhe von 50 mm benötigt.

Die Konditionierung der Probekörper erfolgt nach den Regeln der DIN EN 13238 entweder als:

a) Konditionierung mit festgelegter Dauer

oder

b) Konditionierung bis zur Massenkonzanz.

Nach der Konditionierung werden die Proben für 20 bis 24 Stunden bei einer Temperatur von 60 °C in einem Umlufttrockenschrank gelagert.

Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung besteht aus einem elektrisch beheizten zylindrischen Ofen, einer zylinderförmigen Probenhalterung, mit der die Proben genau in die Mittelachse des Ofens positioniert werden können. Für eine Prüfung werden drei Thermoelemente benötigt zur:

1. Bestimmung der Ofentemperatur,
2. Bestimmung der Temperatur auf der Oberfläche des Probekörpers,
3. Bestimmung der Temperatur im Inneren (Mitte) des Probekörpers.

Durchführung der Prüfung

Der beheizbare Ofen wird auf 750 °C geheizt und anschließend wird der Probekörper eingesetzt und die Temperaturentwicklung an den drei Messstellen für 30 Minuten aufgezeichnet. Sollte es innerhalb der 30 Minuten zu keiner Stabilisierung der Temperatur kommen, wird die Prüfung jeweils um 5 Minuten verlängert, bis sich ein Temperaturgleichgewicht eingestellt hat. Spätestens nach 60 Minuten endet die Prüfung. Die Prüfung wird fünfmal durchgeführt.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Die Klassifizierungskriterien sind in Tabelle 38 und Tabelle 40 zusammengefasst.

5.4.4.2 Bestimmung der Verbrennungswärme

Mit diesem Verfahren wird nach DIN EN ISO 1716 die maximale Wärmefreisetzung eines Bauproduktes bei vollständiger Verbrennung in einem Bombenkalorimeter ermittelt. Ebenso wie bei der Nichtbrennbarkeitsprüfung wird mit diesem Prüfverfahren die praktische Anwendung nicht berücksichtigt.

Probekörper

Für die Prüfung werden sowohl die substanziellen⁴⁶ als auch die nicht substanziellen⁴⁷ Bestandteile des Produktes einzeln untersucht. Die Proben werden zu einem feinen Pulver vermahlen und nach den Vorgaben der DIN EN 13238, wie im Kapitel 5.4.4.1 beschrieben, konditioniert.

Prüfeinrichtung

Für diese Versuche wird ein Bombenkalorimeter verwendet, in das eine kalorimetrische Bombe gebracht werden kann.

Durchführung der Prüfung

Die Probe wird in der kalorimetrischen Bombe positioniert, verschlossen und mit Sauerstoff gefüllt, bis der Druck 3 bis 3,5 MPa beträgt. Das Kalorimeter wird soweit mit Wasser gefüllt, bis die Bombe bedeckt ist. Anschließend wird diese elektrisch aufgeheizt, so dass es zu einer Verbrennung der Probe kommt. Aus der Anfangstemperatur und der Maximaltemperatur wird die Bruttoverbrennungswärme berechnet. Die Prüfung wird fünfmal wiederholt.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Die Klassifizierungskriterien sind in Tabelle 38 und Tabelle 40 zusammengefasst.

5.4.4.3 Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand

Die Prüfung erfolgt nach den Vorgaben der DIN EN 13823 und repräsentiert die Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand (Englisch: Single Burning Item).

Probekörper

Der Probekörper besteht aus zwei Probenflügeln, die zu einer Ecke verbaut werden und die folgenden Maße haben:

- Flügel 1: (495 x 1500) mm²
- Flügel 2: (1000 x 1500) mm²

Die maximale Dicke der Proben darf 200 mm nicht überschreiten. Die Proben werden analog zur späteren praktischen Anwendung eingebaut; z. B. Baustoffe, die in der Realität hinterlüftet sind, werden für die Prüfung mit einem Hohlraum verbaut. Weisen die Bauprodukte Fugen auf, so müssen am Flügel 2 eine horizontale Fuge in der Höhe 500 mm über der unteren Probenkante und eine vertikale Fuge 200 mm gemessen von der Ecke verbaut werden. Die Proben sind wie im Kapitel 5.4.4.1 beschrieben nach DIN EN 13238 zu konditionieren.

Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung besteht aus einem nicht brennbaren Prüfraum sowie einem Prüfgerät (Probenträgerwagen, Gestell, Brenner, Abzugshaube, Kollektor und Abzugsrohr), einem Rauchabzug und diversen Messgeräten. Die Beflammung der Probekörper erfolgt durch zwei mit Propan betriebenen Sandbettbrennern (Hauptbrenner und Nebenbrenner), die sich unten an der Ecke des Prüfkörpers befindet. Daneben werden folgende Messgeräte benötigt:

⁴⁶ Definition substanzieller Bestandteil nach der DIN EN ISO 13943:

Baustoff, der einen bedeutenden Anteil eines nichthomogenen Produkts bildet und dabei ein Verhältnis von Masse zur Fläche von $\geq 1,0 \text{ kg/m}^2$ oder eine Dicke von $\geq 1,0 \text{ mm}$ aufweist.

⁴⁷ Definition nichtsubstanzieller Bestandteil nach der DIN EN ISO 13943:

Baustoff, der keinen bedeutenden Anteil eines nichthomogenen Produkts bildet und eine Schicht mit einem Verhältnis von Masse zur Fläche von $< 1,0 \text{ kg/m}^2$ und einer Dicke von $< 1,0 \text{ mm}$ aufweist.

- ▶ Mantelthermoelemente vom Typ K,
- ▶ Gasmesssonde zur Bestimmung der Sauerstoff- und Kohlendioxidkonzentrationen,
- ▶ Lichtmessstrecke zur Bestimmung der Rauchgasdichte.

Durchführung der Prüfung

Zu Beginn der Prüfung wird der Probekörper in den Prüfraum gefahren und die Zündflamme der beiden Brenner gezündet. Nach 120 Sekunden wird der Nebenzbrenner gezündet und nach 300 Sekunden wird die Gasversorgung vom Nebenzbrenner auf den Hauptbrenner umgeschaltet. Der Versuch ist anschließend über einen Zeitraum von 1260 Sekunden durchzuführen. Während der Prüfung ist die seitliche Ausbreitung der Flammen (LFS) sowie in den ersten 600 Sekunden das brennende Abtropfen zu beobachten. Die Sauerstoff- und Kohlendioxidkonzentration sowie die Lichttransmission im Abgasrohr werden während der Prüfung online gemessen. Aus den Messwerten können die Wärmefreisetzungsrate (FIGRA), die gesamte freigesetzte Wärme (THR) und die freigesetzte Rauchmenge (SMOGRA) ermittelt werden. Jedes Material wird dreimal einer SBI-Prüfung unterzogen.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Die Klassifizierungskriterien sind in Tabelle 38 zusammengefasst.

Die Rauchentwicklung wird anhand der TSP (nach 600 Sekunden) und der SMOGRA-Werte in die folgenden drei Klassen eingeteilt:

1. s1: SMOGRA $\leq 30 \text{ m}^2/\text{s}^2$; TSP $\leq 50 \text{ m}^2$
2. s2: SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$; TSP $\leq 200 \text{ m}^2$
3. s3: keine Anforderungen

Das brennende Abtropfverhalten der Materialien wird während der ersten 600 Sekunden ermittelt und ist in die folgenden drei Klassen eingeteilt:

1. d0: kein brennendes Abfallen oder Abtropfen
2. d1: brennendes Abfallen oder Abtropfen für weniger als 10 Sekunden
3. d2: keine Anforderungen, entzündet sich ein Papier während der Prüfung nach DIN EN ISO 11952-2 (siehe Kapitel 5.4.4.4), wird das Material als d2 klassifiziert.

5.4.4.4 Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung – Einzelflammentest

Mit dieser Prüfung nach DIN EN ISO 11925-2 wird die Entzündbarkeit einer Probe auf der Oberfläche oder einer Kante durch eine Flamme in Streichholzgröße simuliert.

Probekörper

Die Probekörper müssen nach der DIN EN ISO 11925-2 eine Länge von 250 mm und eine Breite von 90 mm haben, die maximale Dicke beträgt 60 mm. Eine Prüfung besteht aus 6 Probekörpern, die nach DIN EN 13238, wie in Kapitel 5.4.4.1 beschrieben, konditioniert werden.

Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung ist analog zur Prüfung nach DIN 4102, die im Kapitel 5.4.3.3 beschrieben ist. Nach der DIN EN ISO 11925-2 erfolgt die Prüfung bei einer Strömungsgeschwindigkeit im Abluftkamin von 0,7 m/s. Bei dieser Prüfung wird der Probekörper vertikal in die Halterung eingespannt und mit einer Propangasflamme im Winkel von 45° beflammt. Für lose Materialien wird ein spezieller Drahtkorb verwendet. Unterhalb der Probe befindet sich ein Filterpapier, um das brennende Abtropfen zu analysieren.

Durchführung der Prüfung

Die Proben werden in die Halterung eingespannt und für 15 oder 30 Sekunden beflammt und das Voranschreiten der Flamme wird anschließend für weitere 5 bzw. 30 Sekunden beobachtet. Dabei wird zwischen Flächen- und Kantenbeflammung unterschieden. Während der Prüfung befindet sich unterhalb der Probekörper das Filterpapier zur Bewertung des brennenden Abtropfens.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

Die Klassifizierungskriterien sind in Tabelle 38 und Tabelle 40 zusammengefasst.

5.4.4.5 Bestimmung des Brandverhaltens bei Beanspruchung mit einem Wärmestrahler

Mit der Prüfung nach DIN EN ISO 9239-1 wird die thermische Bestrahlung eines Bodens zu Beginn eines Brandes in einem angrenzenden Raum oder Abschnitt unter den Bedingungen einer entgegen der Luftströmung wirkenden Flammenausbreitung simuliert.

Probekörper

Für eine Prüfung werden sechs repräsentative Proben in der Größe 1050 x 230 mm² benötigt, die bis zur Massekonstanz klimatisiert werden.

Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung besteht aus einer Prüfkammer, in der sich ein Probenhalter und ein im Winkel von 30° zur Horizontalen befestigter gasbeheizter Strahler befindet, sowie aus einem Zündbrenner.

Durchführung der Prüfung

In die vorgeheizte Prüfkammer wird der Probenhalter mit Probe geschoben und diese für 30 Minuten bestrahlt. In den ersten 10 Minuten berührt die Flamme des Zündbrenners die Probe. Während der Prüfung wird alle 10 Minuten das Fortschreiten der Flammenfront aufgezeichnet. Die Prüfung wird zweimal durchgeführt. Aus der entwickelten Flammenfront und der kalibrierten Wärmestromprofile in Abhängigkeit des Wärmestrahlens wird der kritische Wärmestrom ermittelt.

Kriterien zum Bestehen der Prüfung

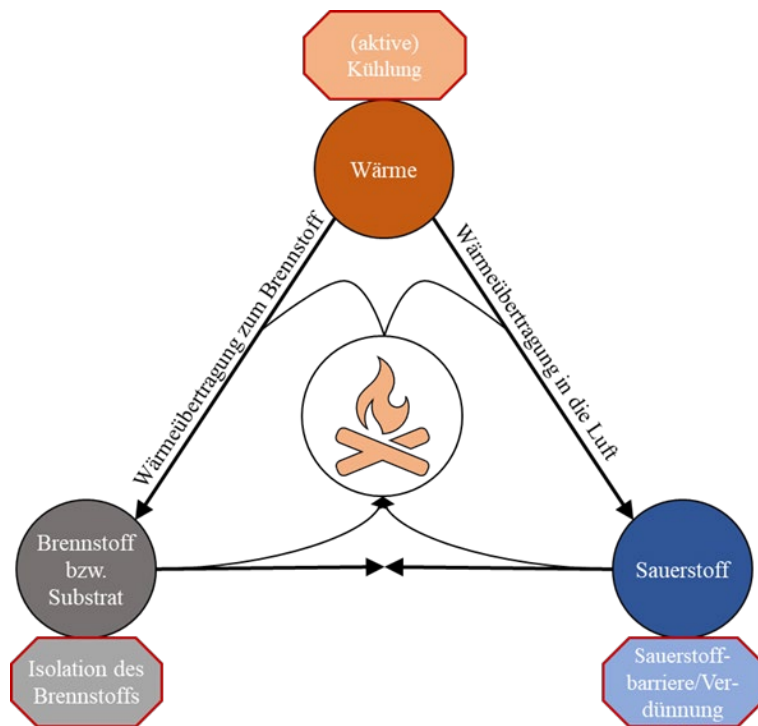
Die Klassifizierungskriterien sind in Tabelle 40 zusammengefasst.

6 Möglichkeiten zur Erfüllung der Brandschutzanforderungen

6.1 Einleitung

FSM können durch ihre chemische und physikalische Wirkung an verschiedenen Punkten in den Verbrennungsprozess eingreifen (Abbildung 17), indem sie die Entflammung unterdrücken oder verzögern und/oder die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit mindern (DIN EN ISO 13943). Solche Substanzen haben zum Ziel die Ausbreitung von Bränden einzuschränken, zu verlangsamen oder bestenfalls vollständig zu verhindern. Durch die Verwendung von FSM in brennbaren Materialien können diese ertüchtigt werden, um brandschutztechnische Anforderungen zu erfüllen. Deren Wirkungsweise hängt im Wesentlichen vom eingesetzten FSM ab und kann auf chemischen oder physikalischen Prinzipien beruhen.

Abbildung 17: Feuertreieck mit möglichen Angriffspunkten.



Quelle: Eigene Darstellung, Fraunhofer WKI, in Anlehnung an Simon 2006, Jeske 2012.

Eine aktive Kühlung des Systems kann mithilfe endothermer Reaktionen sowohl durch chemische als auch durch physikalische Wirkungen hervorgerufen werden (Simon 2006). Bei der chemischen Kühlung setzt das FSM im Brandfall Radikale frei, die in den Radikalkettenmechanismus eingreifen und diesen verlangsamen (Drohmann 2001). Dafür können halogenierte FSM mit Brom- oder Chlorverbindungen zum Einsatz kommen, wobei der brandhemmende Effekt bromierter FSM größer als der von chlorierten ist (Leisewitz et al. 2001). Im Brandfall sowie bei unsachgemäßer Entsorgung können bromierte FSM jedoch hochgiftige und bioakkumulative Dioxine freisetzen (UBA 2008). Im Zuge der Verordnung EG 1907/2006 sind z.B. für die Anwendung bromierter FSM in Dämmstoffen lediglich zwei (TBBPA und PBB) der vier Hauptklassen erlaubt. Der Einsatz von HBCD (Hexabromcyclododecan) ist seit 2016 auch in EPS-Dämmstoffen nicht mehr gestattet, wohingegen die Anwendung von PBDE (Polybromierte Diphenylether) gänzlich untersagt ist.

Die physikalische Kühlung findet statt, indem endotherme (energieverbrauchende) Prozesse ausgelöst werden, bspw. durch die Zersetzung von Verbindungen und eine damit verbundene chemische Freisetzung von Wasser. Häufig werden dafür die anorganischen Metallhydroxide Aluminiumhydroxid (ATH), welches bei Temperaturen um 200 °C zersetzt wird, und Magnesiumhydroxid (MDH), mit Zersetzungstemperaturen von circa 300 °C, seltener auch bor- oder zinkhaltige Verbindungen eingesetzt. In beiden Fällen kühlt das System ab und die Zufuhr brennbarer Gase wird schrittweise verringert, bis die zur Aufrechterhaltung des Verbrennungsprozesses notwendige Temperatur unterschritten wird (EFRA 2014).

Ein weiterer physikalischer Wirkmechanismus ist die Verdünnung des Sauerstoffs, der zur Brandaufrechterhaltung notwendig ist, durch inerte, nichtbrennbare Gase. Dabei müssen ausreichend inerte Gase freigesetzt werden, die den Sauerstoff in der Luft verdrängen und dessen Gehalt auf unter 15 Vol.-% absenken, um den Verbrennungsprozess gewissermaßen zu ersticken (Battran 2011). Zur Verdünnung eignen sich stickstoffhaltige Verbindungen wie Melamin, Melamincyanurat und andere Melaminhomologe, die bei einer thermischen Beanspruchung u. a. Stickstoff und Ammoniak⁴⁸ freisetzen (EFRA 2014).

Außerdem kann der Prozess der Verbrennung über eine stoffliche Isolation des Substrats durch chemische oder physikalische Wirkungen beeinflusst werden. In beiden Fällen bewirkt das FSM die Ausbildung einer schützenden Schicht um den Brennstoff herum, die das Material gegen Wärme und Sauerstoff, die für das Fortbestehen des Verbrennungsprozesses erforderlich sind, isoliert. Organische phosphorhaltige FSM und anorganische Phosphorverbindungen wie roter Phosphor oder Ammoniumpolyphosphat (APP) wirken primär, indem sie bei ihrer Zersetzung Phosphorsäure freisetzen. Dies führt zur Carbonisierung des organischen Substrats und es bildet sich eine dämmende Kohleschicht aus. Expandierbarer Graphit, der alternativ verwendet werden kann, dehnt sich unter thermischer Beanspruchung enorm aus und bildet dadurch eine widerstandsfähige Schutzschicht um das Polymer herum (EFRA 2014) (siehe auch Kapitel 6.2).

Viele der genannten FSM wirken nicht nur auf eine der beschriebenen Weisen, sondern können in Kombination mit anderen Stoffen auch sekundäre brandhemmende Effekte hervorrufen. Somit lassen sich intumeszierende Systeme herstellen, die bei aufeinander abgestimmten Komponenten eine sehr effektive dämmschichtbildende Beschichtung ausbilden können. Neben dem vorhandenen Polymer bestehen diese Intumeszenzsysteme in der Regel aus einem Bindemittel, einem Gasspender, einem Kohlenstoffspender und einem Säurespender. Bei einer thermischen Beanspruchung wird zunächst eine Säure abgegeben, die wiederum Kohlenstoff aus der Kohlenstoffquelle freisetzt. Zeitgleich bilden sich durch die Zersetzung des Treibmittels Gase, die den entstehenden Kohlenstoff aufschäumen und somit einen isolierenden Kohlenstoffschaum ausbilden. Sofern die Abfolge dieser Reaktionen zeitlich übereinstimmt, wird das Substrat durch die nichtbrennbare Dämmschicht vor einem weiteren Flammenkontakt und damit vor einer Entzündung geschützt (Simon 2006). Als Gasspender dienen oftmals stickstoffhaltige Verbindungen wie Melamin oder Melaminphosphate. Organische kohlenwasserstoffreiche Komponenten wie Polyalkohole oder Kohlenhydrate können als Kohlenstoffspender eingesetzt werden, während anorganische Phosphorverbindungen wie Phosphorsäure und APP oder auch Schwefelsäure als Säurespender dienen. Eine Voraussetzung zur Tauglichkeit eines Stoffes als Säurespender ist, dass diese ihre Säuren im Temperaturbereich von 100 bis 250 °C freisetzen (Jeske 2012).

Der Flammschutz von Materialien und Produkten kann auf drei verschiedene Arten erfolgen:

⁴⁸ Bei Ammoniak handelt es sich nicht um ein Inertgas, sondern um ein sehr schlecht brennbares Gas.

- ▶ Additiver Flammschutz: Dabei werden FSM als Zusatzstoffe in brennbare Materialien eingearbeitet (mit dem Material gemischt) oder als FSM-Beschichtung (Coating) von außen auf das Material aufgebracht (Kapitel 6.2).
- ▶ Inhärenter Flammschutz: Hierbei erhalten Stoffe, in diesem Fall Fasern, durch chemische Reaktion mit einem FSM oder durch eine inhärent flammhemmende Polymerstruktur eine permanent flammenhemmende Eigenschaft, wodurch das daraus hergestellte Material flammwidrig wird (Kapitel 6.3).
- ▶ Alternativer Flammschutz: Darunter werden Materialien und Produkte verstanden, deren Flammschutz auch ohne den Einsatz von FSM gewährleistet ist, indem diese bspw. nicht-brennbar sind [Kapitel 6.4].

Insbesondere bei der Anwendung von additiven FSM in Textilien ist zudem zu beachten, dass diese unter Umständen durch Reinigungsvorgänge der Kleidung, Polster, Matratzenbezüge etc. herausgewaschen werden können. Dieser Sachverhalt birgt einerseits ökologische und andererseits technologische Gefahren, da mit abnehmendem FSM-Anteil im Textil auch dessen Widerstandsfähigkeit gegen Flammen beeinträchtigt wird. Aufgrund ihrer Waschbeständigkeit können FSM als:

- ▶ nicht dauerhaft (FSM weist keine Waschbeständigkeit auf),
- ▶ semi-dauerhaft (FSM kann eine begrenzte Anzahl an Waschzyklen überstehen) und
- ▶ dauerhaft (FSM übersteht mindestens 50 Waschzyklen mit kochendem Wasser)

kategorisiert werden (pinfa 2017).

6.2 Additive Flammschutzmittel

Nach ihrer chemischen Zusammensetzung können FSM in verschiedene Kategorien unterteilt werden:

- ▶ halogenierte FSM
- ▶ anorganische phosphorbasierte FSM
- ▶ organische phosphorbasierte FSM
- ▶ stickstoffhaltige FSM
- ▶ sonstige anorganische FSM
- ▶ sonstige FSM

Halogenierte FSM wirken durch eine chemische Reaktion in der Gasphase, indem diese freie Radikale bilden, welche den Radikalkettenmechanismus des Verbrennungsprozesses unterbrechen, diesen abkühlen und somit dessen Ausbreitung stoppen. Die bekanntesten Vertreter halogenerter FSM sind Polybromierte Diphenylether (PBDE), Hexabromcyclododecan (HBCD), Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP), Tris(2-chloro-1-methylethyl)phosphat (TCCP), Decabromdiphenylethan (DBDPE) und Tris(1,3-dichlorisopropyl)phosphat (TDCPP).⁴⁹ Halogenierte FSM weisen zwar eine besonders effektive flammenhemmende Wirkung auf, aufgrund ihrer oft hohen Toxizität, Bioakkumulation und Persistenz wird deren Einsatz jedoch zunehmend

⁴⁹ TCEP und TCCP können auch in die Kategorie organische phosphorbasierte FSM eingestuft werden. Zur Einheitlichkeit erfolgt im weiteren Verlauf die Einstufung dieser Substanzen nur in die Kategorie halogenierte FSM.

durch die REACH-Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 beschränkt oder verboten⁵⁰ (Drohmann 2001). In den folgenden Ausführungen werden Substanzen, deren Verwendung nach europäischem Recht verboten oder stark eingeschränkt ist, nicht näher betrachtet.

Phosphorbasierte FSM (sowohl organisch als auch anorganische) wirken primär in der Festphase. Bei deren thermischer Zersetzung wird Phosphorsäure freigesetzt, die zur Carbonisierung des Brennstoffs führt, wodurch die weitere Sauerstoffzufuhr bzw. die Oxidation an der Zündquelle behindert wird. Ammoniumphosphat (AP), APP, roter Phosphor und Diammoniumhydrogenphosphat sind die bekanntesten Vertreter der anorganischen phosphorbasierten FSM. Da roter Phosphor stark riecht, kann dieser nicht überall eingesetzt werden. Als häufig verwendete organische phosphorbasierte FSM sind u. a. N-Hydroxymethyl-3-dimethyl-phosphonpropionamid (DMPPA), Trikresylphosphat (TCP), Triethylphosphat (TEP), Diphenyltolylphosphat, Resorcinolbisdiphenylphosphat (RDP), Methylphosphonsäure, eine Mischung cyclischer Phosphonate sowie Tetrakis (Hydroxymethyl) Phosphoniumchlorid (THPC) zu nennen (Leisewitz et al. 2001). Die Mischung cyclischer Phosphonate, THPC und DMPPA sind waschbeständig, wobei für das letztgenannte FSM die Waschbeständigkeit nur zutrifft, wenn es mit einer Faser reagiert hat.

Die Wirkung *stickstoffhaltiger FSM* beruht auf einer Verdünnung der sauerstoffhaltigen Luft und brennbarer Pyrolysegase oder auch auf einer geförderten Carbonisierung des Substrats. Melamin, Melamincyanurat (MC), Melaminphosphat (MP), Melaminpolyphosphat (MPP) und Thioharnstoff sind die am häufigsten verwendeten stickstoffhaltigen FSM (EFRA 2014).

Sonstige Anorganische FSM wie ATH, MDH und Dinatriumtetraborat-Decahydrat (Borax) wirken vorrangig durch die Abspaltung von Wasser bei der thermischen Beanspruchung und führen so zu einer Kühlung des Verbrennungsprozesses. Antimontrioxid (ATO), ebenfalls eine mineralische Substanz, dient als Synergist für halogenierte und organische FSM. Die Reaktionen, die dem Synergismus von ATO und Halogenen zugrunde liegen, sind nicht eindeutig geklärt. Der Synergismus bei der Flammhemmung beruht nach allgemeiner Meinung (Leisewitz et al. 2001) in erster Linie auf Gasphasenmechanismen, aber auch auf der Förderung von Carbonisierung in der Festphase, der Hemmung des Sauerstoffzutritts zur Brandzone durch deren Überlagerung mit schwerem Dampf, der Kühlung des Brandmaterials durch schrittweise Bildung von Antimonhalogen-Produkten.

Der alleinige Einsatz von ATO ruft keine brandhemmende Wirkung hervor (Leisewitz et al. 2001). Blähgraphit (expandierbarer Graphit) ist ebenfalls ein FSM auf mineralischer Basis, das nach Herstellerangaben in die Polymermatrix eingebunden wird (z. B. Polyurethanschaum, Polyamide) und in Textilien eingesetzt werden kann (Luh 2021). Die Flammenschutzwirkung von Blähgraphit beruht auf seinen physikalischen Eigenschaften, da die schwarzen Graphitflocken bei Temperaturen von etwa 300 °C eine starke Volumenvergrößerung zeigen. Auf Materialoberflächen bildet sich bei Hitzeeinwirkung eine Intumeszenzschicht. Als Brandschutzausrüstung für Polyurethan-Weichschäume in Flugzeugsitzen ist Blähgraphit eine wichtige Anwendungsmöglichkeit (Troitzsch 2016).

⁵⁰ Einschränkungen gem. Verordnung (EG) Nr. 1907/2006:

- Pentabromdiphenylether (PentaBDE): Verbot des Inverkehrbringens; mehr als 0,1 Gew.-% als Bestandteil von Zubereitungen nicht erlaubt.
- Octabromdiphenylether (OctaBDE): Verbot des Inverkehrbringens; mehr als 0,1 Gew.-% als Bestandteil von Zubereitungen nicht erlaubt.
- Decabromdiphenylether (DecaBDE): Verbot der Herstellung und des Inverkehrbringens.
- Hexabromcyclododecan (HBCD): zulassungspflichtig.
- Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP): zulassungspflichtig.
- kurzkettige Chlorparaffine (SCCP): Verbot des Inverkehrbringens; mehr als 1,0 Gew.-% als Bestandteile von Zubereitungen nicht erlaubt.

In keine der oben genannten Kategorien konnte Zirkoniumacetat eingestuft werden und wird daher unter der Kategorie „sonstige“ gelistet. Dieses Salz ist laut Aussage der Flammenschutzmittelindustrie nicht waschbeständig.

In den folgenden Kapiteln 6.2.1 bis 6.2.8 sind gebräuchliche FSM für unterschiedliche Produktgruppen aufgeführt. Die Angaben wurden den Literaturquellen Borukaev und Alakaeva (2019), EFRA (2014), Hörhold (2014), Leisewitz et al. (2001), Leisewitz und Schwarz (2001), Mather und Wardman (2015), Rothon und Hornsby (2014), SAM (2017), UBA (2003), van der Veen und de Boer (2012) sowie den Verordnungen (EG) 1907/2006 (2020) und (EG) 1272/2008 (2020) entnommen und werden im Weiteren nicht weiter angegeben.

6.2.1 Arbeitsschutzkleidung

Die gebräuchlichen additiven FSM für Arbeitsschutzkleidung sind in Tabelle 41 dargestellt. Da Kleidungsstücke im Laufe ihrer Nutzung mehrere Waschzyklen durchlaufen und additive FSM im Regelfall nicht dauerhaft sind, kommen hierfür vorrangig inhärente FSM zum Einsatz, die im Kapitel 6.3 näher erläutert sind.

Tabelle 41: Gebräuchliche additive FSM für Arbeitsschutzkleidung.

Halogenierte organische FSM	anorganische phosphor-basierte FSM	organische phosphor-basierte FSM	stickstoff-haltige FSM	Sonstige anorganische FSM	sonstige
		N-Hydroxymethyl-3-dimethylphosphonpropionamid (DMPPA)			
		Tetrakis(hydroxymethyl)phosphoniumchlorid (THPC)			

6.2.2 Haus- und Heimtextilien

Die gebräuchlichen additiven FSM für Haus- und Heimtextilien sind in Tabelle 42 aufgeführt. Als Haus- und Heimtextilien werden Waren bezeichnet, die für die Innenausstattung und Innendekoration verwendet werden. Darunter fallen Wohndecken, Plaids, Bettwäsche, Tischwäsche, Küchenwäsche, Badtextilien, Wäsche zur Körperpflege, Gardinen, Vorhänge, Schabracken und Posamente sowie Bezugsstoffe für Möbel. Die additiven FSM für Möbelbezugsstoffe werden in Kapitel 6.2.3 gesondert betrachtet.

Tabelle 42: Gebräuchliche additive FSM für Haus- und Heimtextilien.

halogenierte FSM	anorganische phosphor-basierte FSM	organische phosphor-basierte FSM	stickstoff-haltige FSM	Sonstige anorganische FSM	sonstige
Decabromdiphenylethan (DBDPE)	Ammoniumpolyphosphat (APP)	N-Hydroxymethyl-3-dimethylphosphonpropionamid (DMPPA)	Melamin	Aluminiumhydroxid (ATH)	Zirkoniumacetat
	Diammoniumhydrogenphosphat	Trikresylphosphat (TCP)	Melamincyanurat (MC)	Ammoniumsulfat	
	Roter Phosphor	Tetrakis (Hydroxy-methyl) Phosphoniumchlorid (THPC)	Melaminphosphat (MP)	Ammoniumsulfamat	
		Resorcinolbis-diphenylphosphat (RDP)	Thioharnstoff	Ammoniumbromid	
		Methylphosphonsäure		Dikaliumhexafluorotitanat	
		Mischung cyclischer Phosphonate		Antimontrioxid (ATO) nur als Synergist	
				Expandierbarer Graphit (Blägraphit)	

6.2.3 Polstermöbel (Stoff)

In Tabelle 43 sind die gebräuchlichen additiven FSM für Polstermöbel aus Stoffen dargestellt. Die Produktgruppe „Polstermöbel (Stoff)“ umfasst Möbelbezüge aus Textilien, Wolltextilien und Kunstfasern. Holzwerkstoffe und/oder Polsterschäume, die Teil solcher Möbel sind oder sein können, werden gesondert betrachtet.

Tabelle 43: Gebräuchliche additive FSM für Polstermöbel (Textil).

halogenierte FSM	anorganische phosphor-basierte FSM	organische phosphor-basierte FSM	stickstoff-haltige FSM	Sonstige anorganische FSM	sonstige
Tetrabrombisphenol A (TBBPA)	Ammoniumpolyphosphat (APP)	N-Hydroxymethyl-3-dimethylphosphonpropionamid (DMPPA)	Melamin	Dinatriumtetraborat-Decahydrat (Borax)	
Decabromdiphenylethan (DBDPE)	Diammoniumhydrogenphosphat	Trikresylphosphat (TCP)	Melamincyanurat (MC)	Ammoniumsulfat	
	Roter Phosphor	Tetrakis(hydroxymethyl)phosphoniumchlorid (THPC)	Melaminphosphat (MP)	Ammoniumsulfamat	
		Resorcinolbisdiphenylphosphat (RDP)	Melaminpolyphosphat (MPP)	Ammoniumbromid	
		Methylphosphonsäure		Kaliumhexafluorzirkonat	
		Mischung cyclischer Phosphonate		Antimontrioxid (ATO) als Synergist	

6.2.4 Polstermöbel (Leder)

Die derzeit verwendeten additiven FSM für Polstermöbel aus Leder sind in Tabelle 44 zusammengestellt. Die Produktgruppe „Polstermöbel (Leder)“ umfasst Möbelbezüge aus Leder. Holzwerkstoffe und/oder Polsterschäume, die Teil solcher Möbel sind oder sein können, werden gesondert betrachtet. Da Leder kaum brennt, kann es laut Angaben der Lederbranche leichter als andere Materialien flammhemmend ausgerüstet werden (z. B. Leder-info 2021).

Tabelle 44: Gebräuchliche additive FSM für Polstermöbel (Leder).

halogenierte FSM	anorganische phosphor-basierte FSM	organische phosphor-basierte FSM	stickstoff-haltige FSM	Sonstige anorganische FSM	sonstige
	Ammoniumphosphat (AP)	Methylphosphonsäure	Melamincyanurat (MC)	Ammoniumbromid	
	Ammoniumpolyphosphat (APP)		Melaminpolyphosphat (MPP)		
	Roter Phosphor				

6.2.5 Matratzenstoffe

Tabelle 45 gibt eine Übersicht über die gebräuchlichen additiven FSM für Stoffe von Matratzen. Polsterschäume, die Teil solcher Matratzen sind oder sein können, werden gesondert betrachtet.

Tabelle 45: Gebräuchliche additive FSM für Matratzenstoffe.

halogenierte FSM	anorganische phosphor-basierte FSM	organische phosphor-basierte FSM	stickstoff-haltige FSM	Sonstige anor-ganische FSM	sonstige
	Ammoniumpolyphosphat (APP)	N-Hydroxymethyl-3-dimethylphosphonpropionamid (DMPPA)	Melamincyanurat (MC)	Ammoniumsulfat	
	Roter Phosphor	Tetrakis(hydroxymethyl)phosphoniumchlorid (THPC) Methylphosphonsäure	Melaminphosphat (MP)	Ammoniumsulfamat	
		Mischung cyclischer Phosphonate			

6.2.6 Schäume (Matratzen und Polster)

In Tabelle 46 sind die zurzeit gebräuchlichen additiven FSM für Schäume von Matratzen und Polster aufgeführt.

Tabelle 46: Gebräuchliche additive FSM für Matratzen- und Polsterschäume.

halogenierte FSM	anorganische phosphor-basierte FSM	organische phosphor-basierte FSM	stickstoff-haltige FSM	Sonstige anor-ganische FSM	sonstige
Tris(2-chloro-1-methylethyl)phosphat (TCPP)	Ammoniumpolyphosphat (APP)	Triethylphosphat (TEP)	Melamincyanurat (MC)	Aluminiumhydroxid (ATH)	
Tris(1,3-dichlorisopropyl)phosphat (TDCPP)	Roter Phosphor	Resorcinolbisdiphenylphosphat (RDP)	Melaminpolyphosphat (MPP)	Magnesiumhydroxid (MDH)	
				Expandierbarer Graphit	

6.2.7 Teppiche

In den folgenden Tabellen sind die additiven FSM für Teppiche aufgelistet, die üblicherweise verwendet werden. Die Produktgruppe „Teppiche“ wird zusätzlich unterteilt in „Teppichrückenbeschichtungen“ (Tabelle 47) und „Teppichfasern“ (Tabelle 48), die sowohl aus Natur- als auch aus Kunstfasern bestehen.

Tabelle 47: Gebräuchliche additive FSM für Teppichrückenbeschichtungen.

halogenierte FSM	anorganische phosphor-basierte FSM	organische phosphor-basierte FSM	stickstoff-haltige FSM	Sonstige anorganische FSM	sonstige
Decabrom-diphenylethan (DBDPE)	Ammoniumpolyphosphat (APP)	N-Hydroxymethyl-3-dimethylphosphonpropionamid (DMPPA)	Melamin	Aluminiumhydroxid (ATH)	Zirkoniumacetat
	Diammoniumhydrogenphosphat	Trikresylphosphat (TCP)	Melamin-cyanurat (MC)	Magnesiumhydroxid (MDH)	
	Roter Phosphor	Triethylphosphat (TEP)	Melaminphosphat (MP)	Ammoniumsulfamat	
		Resorcinolbis-diphenylphosphat (RDP)	Melaminpolyphosphat (MPP)	Dikaliumhexafluorotitanat	
		Mischung cyclischer Phosphonate		Antimontrioxid (ATO)	
				Expandierbarer Graphit	

Tabelle 48: Gebräuchliche additive FSM für Teppichfasern.

halogenierte FSM	anorganische phosphor-basierte FSM	organische phosphor-basierte FSM	stickstoff-haltige FSM	Sonstige anorganische FSM	sonstige
	Roter Phosphor	Methylphosphonsäure	Melamin-cyanurat (MC)	Aluminiumhydroxid (ATH)	
		Mischung cyclischer Phosphonate	Melaminphosphat (MP)	Magnesiumhydroxid (MDH)	
			Thioharnstoff	Dikaliumhexafluorotitanat	

6.2.8 Holz und Holzwerkstoffe

Tabelle 49 zeigt die gängigen additiven FSM für Holz und Holzwerkstoffe. Unter Holzwerkstoffen sind u. a. Sperrholz, Furnierschichtholz, Span-, Faser- und OSB-Platten zusammengefasst, aus denen Möbelstücke gänzlich bestehen oder die in andere Möbelstücke, bspw. Polstermöbel, eingearbeitet sind. FSM für Holz und Holzwerkstoffe können in feuererstickend, verkohlungsfördernd sowie sperrschicht- und dämmschichtbildend eingeteilt werden (<https://www.wecobis.de/service/lexikon/flammschutzmittel-lex.html>).

Tabelle 49: Gebräuchliche additive FSM für Holz und Holzwerkstoffe.

halogenierte FSM	anorganische phosphor-basierte FSM	organische phosphor-basierte FSM	stickstoff-haltige FSM	Sonstige anorganische FSM	sonstige
	Ammonium-polyphosphat (APP)		Melamin	Aluminium-hydroxid (ATH)	
	Diammonium-hydrogenphosphat			Magnesium-hydroxid (MDH)	
	Roter Phosphor			Dinatriumtetra-borat-Decahydrat (Borax)	
				Ammonium-sulfat	

6.3 Inhärenter Flammschutz

Die Flammbeständigkeit eines Gewebes/Stoffs hängt nicht nur von der Art der Komponenten und der Flammenschutzbehandlung, sondern auch von der Flächendichte des Stoffs, dem Aufbau, der Luftdurchlässigkeit und dem Feuchtigkeitsgehalt ab. Vliesstoffe sollen hierbei bessere Eigenschaften als gewebte oder gewirkte Strukturen haben, auch wenn alle anderen Parameter gleich sind (DEFRA 2010, Lee and Barker 1987).

Zahlreiche Fasern bzw. daraus hergestellte Textilien sind inhärent flammwidrig. Dabei ist vor allem die Auswaschbeständigkeit für viele Einsatzbereiche von Vorteil.

Bei inhärent flammgeschützten Produkten erfolgt eine Freisetzung von bedenklichen Substanzen oftmals durch ein unsachgemäßes Recycling der flammgeschützten Fasern (UBA 2016, pinfa 2017, Kruecken 2021). Ein weiterer Aspekt, der insbesondere flammgeschützte Kunststoffe betrifft, ist die Schwierigkeit des Recyclings; ein Großteil des weltweiten Bestands an Polymerrezyklaten soll mit bromierten FSM und deren Abbauprodukten verunreinigt sein (Hull et al. 2014). Aber auch das Recycling und die Wiederverwendbarkeit hitze- und feuerbeständiger Fasern, die oft aus komplexen Mischungen und Verbundstrukturen bestehen, stellen eine technische Herausforderung dar (Horrocks 2016).

Im Folgenden sind die aus der Literatur und dem Internet bekannten Materialien mit Anwendungsbeispielen kurz dargestellt.

6.3.1 Wolle

Wolle ist als Protein-Faser auf Basis von Keratin an sich brandhemmend; die Entzündungstemperatur von Schafwolle liegt bei ca. 560 °C (Korjenic et al. 2014). Der LOI-Wert von Wolle beträgt 25 %; die LOI-Werte⁵¹ von Baumwolle (18,4 %), Viskose (18,9 %) oder Polyester (20-21 %) sind niedriger. Im Allgemeinen gelten Fasern mit einem LOI-Wert von mehr als 26 % als schwerentflammbar (Mather und Wardman 2015). Wolle kann kleine Funken selbst löschen; sie tendiert zur Verkohlung, wobei die Kohleschicht als wirksame thermische Barriere den weiteren Brand verhindert (Mather und Wardman 2015). Dennoch ist diese inhärente Eigenschaft der Wolle für bestimmte Anwendungsbereiche nicht ausreichend (z. B. im Bereich Luftfahrzeuge), sodass eine FlammSchutzausrüstung erforderlich ist (Posner 2004). Zu den typischen Produkten aus Wolle gehören Heimtextilien wie Decken und Kissenbezüge, Möbelbezugstoffe und Teppiche.

6.3.2 Zellulose und Viskose

Eine inhärente FlammSchutzlösung für (regenerierte) Zellulose und Viskosefasern stellt das Produkt Visil® (Sateri, Finnland) dar. Zur Herstellung wird eine Viskose-Lösung mit einem Natriumsilikat gemischt und anschließend zu Fasern gesponnen. Die dauerhafte Feuerbeständigkeit wird durch den hohen Polykieselsäuregehalt (30±33 %) erreicht; die Kieselsäure dringt während des Herstellungsprozesses in die Fasern ein (z. B. Burrow 2013). Die FlammSchutzeigenschaft beruht auf endothermer Wasserabspaltung und Bildung einer Verkohlungsschicht (Weil und Levchik 2016), sodass das Material während eines Brandes nicht schmilzt oder fließt und im Wesentlichen kein Rauch oder giftige Dämpfe entstehen. Visil® kann auch mit Naturfasern wie Wolle und Baumwolle kombiniert werden.

Die phosphorhaltige Lenzing™FR (Lenzing™) ist eine Spezialzellulose-/Viskosefaser für flammhemmende Anwendungen. Wie Visil® handelt es sich um eine regenerierte Cellulosefaser, die aus Holzzellstoff gewonnen wird, welche einen phosphororganischen Zusatzstoff enthält, der während des Faserherstellungsprozesses eingeführt wird. Während eines Brandes wird durch diese Fasern die Verkohlung verstärkt und bietet daher einer Vielzahl von Anwendungen Schutz vor Hitze und Flammen. Die Fasern besitzen eine wärmeisolierende Eigenschaft in Kombination mit dauerhafter Flammbeständigkeit. Im Gegensatz zu flammhemmender Baumwolle bietet sie die Möglichkeit, dass die Lenzing™FR Fasern mit anderen inhärenten FR-Fasern wie Aramiden und Modacrylfasern gemischt werden können (Wakelyn 2008). Faserkombinationen aus der Modalfaser Lenzing™FR zusammen mit bspw. Aramiden, Wolle, Nylon, Modacrylfasern, Polybenzimidazolfasern (PBI) oder anderen werden zur Herstellung von Schutzbekleidung für die Feuerwehr, Polizei, Militär sowie Industrie verwendet (Lenzing™ 2021).

Diese Textilien sind bspw. auch als Abdeckung von Polyurethanschäumen in Polstermöbeln oder Matratzen einsetzbar (Weil und Levchik 2016).

6.3.3 Polyester

Polyesterfasern wie z. B. PET werden während der Herstellung mit einem phosphorhaltigen Monomer copolymerisiert, um den Brandschutz zu verbessern (Freudenberger und Jakob 1982). In den letzten 30 Jahren wurden zahlreiche inhärent flammgeschützte Polyesterfasern entwickelt, dabei hat sich die Trevira CS-Faser kommerziell durchgesetzt (Wakelyn 2008). Aus Trevira CS-Fasern hergestellte Textilien sind nach Angaben des Herstellers wegen des chemischen Aufbaus

⁵¹ Der LOI Wert gibt die Sauerstoffkonzentration an, bei der ein Material unter den Prüfbedingungen anfängt zu brennen. Je höher der Wert, desto schlechter brennt das Material.

der Polyesterfaser schwerentflammbar, da eine phosphororganische Verbindung als Comonomer in der Faser vorhanden ist (Trevira 2021). Zu den Einsatzgebieten von Trevira CS gehören z. B. Gardinen, Dekostoffe, Bühnenvorhänge, Möbelstoffe, Rollos, Bettwaren und Tischwäsche. Bei Verwendung von Trevira CS (Wakelyn 2008) in Polstermöbeln wird die Einhaltung sämtlicher internationaler Flammenschutznormen erreicht.

Ebenfalls auf Polyester und einer Phosphorverbindung (Polyester FR) basieren die Zeroxy™-Fasern der Firma Huvis. Hierbei handelt es sich um einen semi-permanenten Flammenschutz, der auch nach 50 Waschzyklen (pinfa 2017) noch größtenteils erhalten bleibt.

6.3.4 Polyamide/Aramide

Zu den inhärent flammgeschützten Polyamiden zählen die Aramide (Aromatische Polyamide), bekannt unter den Markennamen Nomex® (DuPont), Kermel® (Kermel SA) und Kevlar® (DuPont).

Nomex® ist ein eingetragenes Warenzeichen für flammfestes Meta-Aramid-Material. Dabei handelt es sich um ein aromatisches Polyamid, die Meta-Variante des Para-Aramids Kevlar®, welche aus Poly(*para*-phenylenterephthalamid) hergestellt werden. Das Material wird als Gewebe überall dort eingesetzt, wo Hitze- und Flammenbeständigkeit gekoppelt mit akzeptablen Ästhetik- und Trageeigenschaften erreicht werden müssen. Alle Aramide sind hitzebeständig und schwerentflammbar, aber Kevlar®, kann durch sein *para*-Substitutionsmuster, molekular ausgerichtet werden und gibt eine höhere Festigkeit und ein besseres Elastizitätsmodul⁵².

Die Polyamidimidfaser Kermel® (Kermel SA) weist eine hohe Hitzebeständigkeit auf und wird auch in Mischung mit anderen Fasern u. a. in Arbeitsschutzkleidung sowie in Feuerwehr- und Polizeibekleidung eingesetzt (z. B. TTI 2021).

Aramid-Mischgewebe werden als Brandschutzgewebe in Flugzeugsitzen verwendet und können in sonstigen gepolsterten Sitzen zwischen einem Oberstoff und einem Schaumstoffkern als Bedeckung und Schutz des Schaumstoffs zum Einsatz kommen (Erb et al. 2002).

Ein intrinsisch flammgeschütztes Polyamid wurde außerdem am Deutschen Institut für Textil- und Faserforschung entwickelt (DITF 2021). Hierzu werden in einem neuen Verfahren während der Synthese des Kunststoffes geringe Mengen flammhemmender Phosphorverbindungen in die Polymerketten eingebaut. Das Material ist aktuell noch nicht am Markt erhältlich.

6.3.5 Polymelaminfasern

Die hitze- und flammfeste Faser Basofil® (BASF) basiert auf der patentierten Melamintechnologie. Die Basofil®-Faser besitzt ähnliche Eigenschaften, die auch für andere gängige Materialien auf Melamin-Formaldehyd-Basis typisch sind: Hitzestabilität, geringe Entflammbarkeit, hohe Verschleißfestigkeit, Lösungsmittel- und UV-Beständigkeit. Sie hat einen LOI-Wert von 32 %, eine niedrige Wärmeleitfähigkeit, eine ausgezeichnete Dimensionsstabilität und sie schrumpft nicht; ein Schmelzen oder brennendes Abtropfen werden nicht beobachtet, wenn die Fasern einer Flamme ausgesetzt werden. Maschinen für Web-, Strick- und Vliesstoffe können zur Herstellung von Brandschutzbarrieren aus Watte oder Stoff für Matratzen und Polstermöbel eingesetzt werden. Basofil®-Fasern finden auch in Flugzeugsitzen oder Schutzkleidung, z. B. als Flammensperre, Anwendung (Weil und Levchik 2016).

⁵² In der Werkstofftechnik beschreibt das Elastizitätsmodul einen Materialkennwert, bei dem das linear-elastische Verhalten eines festen Körpers als proportionaler Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung beschrieben wird.

6.3.6 Polyetherimide

Die Polyetherimide gehören chemisch zu den Polyimiden, die hochtemperaturbeständig sind und zur Herstellung von Geweben oder Vliesstoffen eingesetzt werden können, wie z. B. die Faservariante Ultem™ 9011 (SABIC) (z. B. US8940209B2 2006; Weil und Levchik 2016; Kalayci et al. 2016). Bei Ultem™ handelt es sich um ein amorphes Polyimid, welches durch den Einbau aromatischer Ether-Gruppen in die Molekülkette eine gute thermoplastische Verarbeitbarkeit aufweist. Das Material ist schwerentflammbar, verbunden mit geringer Rauchentwicklung im Brandfall.

6.3.7 Sonstige Faser- und Materialvarianten

Modacryl-Fasern (MAC) werden unter Verwendung halogenhaltiger Comonomere wie z. B. Vinylidenchlorid oder Vinylchlorid im Polymer hergestellt (Mather und Wardman 2015). Sie sind schwerentflammbar und selbstverlöschend; die inhärent flammhemmende Acrylfaser schmilzt bzw. tropft nicht bei Entzündung und verkohlt in Verbindung mit Baumwolle (Rofa Bekleidungswerk 2021). MAC können z. B. in Schutzbekleidung, Vorhängen, Einrichtungsgegenständen, Auslegewaren und in Bereichen eingesetzt werden, in denen Flammschutz eine Rolle spielt (Mather und Wardman 2015).

PyroTex® ist eine auf Acrylnitril basierende Faser, die, neben anderen Eigenschaften, permanent flamm- und hitzeresistent ist. Die Faser hat einen LOI von 43 % und wird u. a. in Arbeitsschutzkleidung und zur Sitzausstattung im öffentlichen Transport verwendet (PyroTex 2021).

Polyphenylensulfid (PPS) ist ein hochtemperaturbeständiger thermoplastischer Kunststoff, der hauptsächlich in thermisch, mechanisch und/oder chemisch beanspruchten Kunststoffbauteilen, vor allem im Automobilsektor, verwendet wird (z. B. Celanese 2021). PPS-Fasern besitzen eine hohe Thermostabilität, die Fasern sind schwerentflammbar (LOI 39 bis 41 %), selbstverlöschend und schmelzen bei 285 °C (Parker et al. 2012). Unter dem Markennamen Diofort® ist ein Multifilgarn mit hoher Zugfestigkeit im Handel, das in Webware, Vliesstoffen und zur Verstärkung eingesetzt werden kann (Textile World 2021).

Proban® ist ein chemisches Verfahren der Firma Solvay (ehemals Rhodia), durch das Textilien mit hohem Baumwollanteil flammenhemmende Eigenschaften erhalten, die auch nach Aussage des Herstellers häufigem Waschen standhalten (Rofa Bekleidungswerk 2021) und daher zur Herstellung von Arbeitsschutzkleidung verwendet wird. Bei dem Verfahren wird das fertig gewebte Baumwoll- oder Baumwollmischgewebe mit der Proban-Chemikalie in der Fläche imprägniert sowie getrocknet und anschließend wird das Gewebe mit einer lizenzierten Technologie mit Ammoniak begast (Alsko 2021).

Melaminharzschaum (z. B. Basotect®) wird u. a. als nichtbrennbares Polstermaterial in Flugzeug- und Kinositzen und als akustischer Absorber verwendet (BASF 2021). Die flammwidrigen Eigenschaften des Materials resultieren aus dem hohen Stickstoffgehalt des Melaminharzes. Der Schaum eignet sich besonders für Anwendungen mit erhöhten Brandschutzanforderungen (FSK 2021).

6.3.8 Tabellarische Zusammenfassung inhärenter Flammschutz

In Tabelle 50 sind inhärent flammgeschützte Materialien mit ihren Verwendungsbereichen nach Produktgruppen aufgelistet.

Tabelle 50: Mögliche Verwendung inhärent flammgeschützter Materialien nach Produktgruppen.

Material	Produkte oder Produkt-namen	Produktgruppe					
		Arbeitsschutzkleidung	Haus- und Heimtextilien	Polstermöbel (Stoff)	Matratzenstoffe	Schäume (Matratzen und Polster)	Teppiche
Wolle	-		x	x	x		x
Zellulose und Viskose	Visil®				x ⁵³		
	Lenzing™FR	x		x	x	x	
Polyester	Trevira CS		x	x	x		
	Zeroxy™	x	x	x			
Polyamide/Aramide	Nomex®	x					
	Twaron®	x					
	Kevlar®	x					
	Kermel®	x					
Polymelaminfasern	Basofil®	x		x	x		
Polyetherimide	Ultem™ 9011	x	x	x	x		
sonstige	Modacryl-Fasern (MAC)	x	x				x
	PyroTex®	x		x ⁵⁴			
	Diofort®		x	x			
	Proban®	x	x	x	x		
	Melaminharzschaum					x	

6.4 Alternativer Flammschutz

Zum Thema alternativer Flammschutz werden im Folgenden produktgruppenspezifische Materialien vorgestellt, deren Flammschutz ohne Verwendung von FSM gewährleistet ist bzw. die nichtbrennbar sind. Hierzu zählen z. B. Glas- und Basaltfasern sowie Gips- und Betonwerkstoffe.

⁵³ z. B. als Ummantelung von Matratzen (siehe z. B. <https://patents.google.com/patent/US7484256B2/en>).

⁵⁴ Verwendung für Sitze z. B. in Bahn, Flugzeug, Kino, Theater.

6.4.1 Arbeitsschutztextilien

- Basaltfasern aus den sehr feinen Fasern einer Basaltvariante, die sich aus den Mineralien der Gruppen Plagioklas, Pyroxene und Olivin zusammensetzt, ähneln den Glasfasern. Die gesponnenen Fasern lassen sich u. a. zu Geweben und Dämmstoffen verarbeiten (z. B. Suter Kunststoffe AG 2021). Nach Herstellerangaben können Basalt-Roving (Vorgarn) und daraus hergestellte textile Flächengebilde zur Erzeugung feuerfester Gewebe sowie für Arbeitsschutzkleidung eingesetzt werden (Deutsche Basaltfaser GmbH 2021).

6.4.2 Haus- und Heimtextilien

- Gewebekonstruktionen aus nichtbrennbaren Glasfilamenten werden z. B. als Blendschutz (Rollos, Markisen, Sonnensegel) sowie im dekorativen Bereich z. B. als Vorhänge, Wand- und Deckenbespannungen verwendet (A2Textiles 2021).
- Nowetex® ist ein Glasgewebe, das als nichtbrennbares Material in die Baustoffklasse A2 eingestuft ist. Aus dem Material werden z. B. Bezüge für Einziehdecken und Kissen, Duschvorhänge, Gardinen oder Tischdecken hergestellt (z. B. GEFA 2021).
- Endlose Basaltfasern können zur Herstellung von Heim- und Innenausstattungstextilien, wie z. B. Tapeten und Grundtextilien, eingesetzt werden. Für Basaltex® (Masureel) werden die Basaltfasern mit einem Primer und einer Silikonbeschichtung versehen (Weil und Levchik 2016). Eine Anwendungsmöglichkeit von Basaltex® ist z. B. als Brandschutzsperre in technischen Geweben und Verbundwerkstoffen für den öffentlichen Verkehr (Luft-, Schifffahrt, Bahn).

6.4.3 Möbel

Für Möbel bieten sich verschiedene Möglichkeiten, den Einsatz von FSM zu umgehen. Gängige Praxis ist es bspw., die Untergestelle bzw. Unterkonstruktionen aus nicht brennbaren Metallen zu fertigen (z. B. Stahlrohr, Aluminium).

- Betonmöbel gelten als nichtbrennbar und werden z. B. als Tische, Bänke, Hocker, Empfangstheken oder Wandkonsolen im Handel angeboten (z. B. efecto.de, Oggi-beton.de, Betoniu.com). Das relativ hohe Eigengewicht von Betonmöbeln kann in Fluchtwegen von Vorteil sein, da sie nur schwer verrückbar sind und somit an ihrem vorgesehenen Platz bleiben. Wenige Hersteller bieten Komplettlösungen für schwerentflammbare Möbel an, die nach DIN 66084 P a-zertifiziert sind und in Rettungswegen platziert werden dürfen. Diese Möbel sind als Ganzes zertifiziert und dürfen nicht ohne Weiteres beliebig angepasst werden.
- Gipsfaserplatten sind als Trägermaterial mit verschiedenen Beschichtungsmaterialien im Handel erhältlich und lassen sich in der Innenausstattung oder zum Möbelbau weiterverarbeiten. Gipsfaserplatten werden z. B. mit Aluminiumblech, Lackschichten, Papieroberflächen oder Furnieren belegt. Die daraus hergestellten Möbel und Einrichtungsgegenstände (z. B. Schränke, Regale, Sideboards, Tische, Bänke oder Stühle, Garderoben, Theken) gehören laut Anbieter zur Baustoffklasse A1 bzw. A2 (Weigand und Wiederschein 2021).
- Die als nichtbrennbar klassifizierten melaminharzbeschichteten High Pressure Laminate (HPL, Hochdruck-Schichtpressstoffplatte) auf Gipsfaserplatten sind laut Hersteller im Innenausbau sowie im Möbelbau verwendbar (Dekodur 2021).
- Nicht gepolsterte und nichtbrennbare Möbel (z. B. aus Beton, Gips oder Metall) lassen sich bei Bedarf durch nichtbrennbare Polster und Textilien individuell ergänzen. Dies kann mit Geweben aus Glasfasern mit Polymerbeschichtung erfolgen, die sich z. B. als Absperrschicht

in Möbeln eignen (z. B. VersaShield®). Das Glasfasergewebe Flamline® aus Endlosfilamenten besteht aus 95 % Glasfasern und 5 % Finish (Polyvinylalkohol, Acryl-Bindemittel und Pigmenten) und ist entsprechend der gültigen Normen (DIN EN 13501; A2-s1, d0 (EU); DIN 4102-A2) nicht brennbar (Porcher Industries 2021). Das Material findet z. B. als Trennlage auf Polsterschaum in der Möbelherstellung Anwendung.

- Nowetex® ist ein Glasgewebe, das als nichtbrennbares Material in die Baustoffklasse A2 eingestuft ist. Aus dem Material werden z. B. nichtbrennbare Stühle hergestellt (GEFA 2021).

6.4.4 Bodenbeläge

- Textile Bodenbeläge für den Wohnbereich gelten aufgrund ihrer Materialzusammensetzung als normalentflammbar, sie erfüllen damit bezüglich des Brandverhaltens die Mindestanforderungen an Bauprodukte und enthalten üblicherweise keine FSM (Baunetz-Wissen 2021a).
- Ein Fußbodenpaneel mit einer feuerhemmenden Schicht ist im Patent US20090214832 (<https://patents.google.com/patent/US20090214832>) beschrieben. Das Laminat besitzt eine feuerhemmende Schicht aus nichtbrennbarem Material (vorzugsweise Glasfasermatte) und eine Imprägnierung mit Melaminharz, wird aktuell nicht kommerziell vermarktet. Die feuerhemmende Schicht befindet sich zwischen Kern und Dekorschicht, die Kanten sind feuerhemmend aus Kaolin und Natriumsilikat ausgebildet.
- Linoleum wird zur Herstellung elastischer Bodenbeläge verwendet. Es besteht im Wesentlichen aus Leinöl, Naturharzen, Kork- oder Holzmehl, Kalksteinpulver, Titan(IV)-oxid und Farbstoffen. Ein Jutegewebe dient als Trägerschicht. Linoleum kann als schwerentflammbar (DIN 4102, B1) bzw. normalentflammbar (B2) eingestuft werden. Aufgrund seiner Eigenschaften wird Linoleum auch in den Bereichen Krankenhaus und Kindertagesstätte eingesetzt (Tarkett 2021).
- Als „Alternative“, im Sinne von FSM-frei, sind die verschiedenen Bodenbelagsvarianten aus PVC zu nennen, die hauptsächlich aus dem thermoplastischen Kunststoff Polyvinylchlorid, Weichmachern und Additiven bestehen. PVC-Beläge gelten als schwerentflammbar und zählen bezüglich ihres Brandverhaltens in der Regel zur Baustoffklasse B1 (DIN 4102) (Baunetz-Wissen 2021b).

6.5 Zusammenfassung

Um die Anforderungen an den Brandschutz zu erfüllen, kann es notwendig sein, die eingesetzten Materialien mit FSM zu ertüchtigen. Dafür kommen folgende Verfahren zum Einsatz:

- Additiver Flammschutz: Dabei werden FSM als Zusatzstoffe in brennbare Materialien eingearbeitet (mit dem Material gemischt) oder als FSM-Beschichtung (Coating) von außen auf das Material aufgebracht. Folgende Kategorien an FSM werden hier näher betrachtet: halogenierte FSM, anorganische phosphorbasierte FSM, organische phosphorbasierte FSM, stickstoffhaltige FSM, sonstige anorganische FSM, sonstige FSM. Es wird deutlich, dass diese in den verschiedenen Produktbereichen (Arbeitsschutzkleidung, Haus- und Heimtextilien, Polstermöbel (Stoff/Leder), Matratzenstoffe, Schäume (Matratzen und Polster), Teppiche, Holz und Holzwerkstoffe) unterschiedlich eingesetzt werden. Flammschutzlösungen, die nach REACH-VO (Nr. 1907/2006) verboten sind, wurden hier nicht betrachtet.
- Inhärenter Flammschutz: Hierbei erhalten Stoffe, in diesem Fall Fasern, durch chemische Reaktion mit einem FSM eine permanent flammenhemmende Eigenschaft, wodurch das daraus hergestellte Material flammwidrig wird. Folgende Materialien wurden näher betrachtet und die mögliche Verwendung in den verschiedenen Produktgruppen geprüft: Wolle, Zellulose

und Viskose, Polyester, Polyamide/Aramide, Polymelaminfasern, Polyetherimide, sonstige Faser- und Materialvarianten.

- Alternativer Flammschutz: Darunter werden Materialien und Produkte verstanden, deren Flammschutz auch ohne den Einsatz von FSM gewährleistet ist, indem diese bspw. nicht-brennbar sind. Eine nähere Betrachtung des alternativen Flammschutzes wurde für die Produktgruppen Arbeitsschutztextilien, Haus- und Heimtextilien, Möbel und Bodenbeläge durchgeführt.

Die Auswahl des geeigneten Verfahrens ist immer abhängig vom Einsatzbereich der Materialien und den verfahrensabhängigen Kosten. Beim additiven Flammschutz besteht in der Regel die Gefahr, dass die FSM während der Reinigungsvorgänge ausgewaschen werden. Diese Gefahr besteht bei der Arbeitsschutzkleidung und bei einigen Haus- und Heimtextilien. Dort werden in der Regel inhärente FSM oder alternative Flammschutzlösungen eingesetzt. Zusammenfassend ist zu erwähnen, dass es keine Lösung gibt, die bei allen Materialien angewendet werden kann. Jede Flammschutzlösung wurde für einen speziellen Anwendungsbereich entwickelt. Diese Aspekte sind in diesem Kapitel ausführlich dargestellt.

7 Bewertung der Flammschutzmittel

Verschiedenste Arten von FSM und Flammschutzlösungen stehen für den Einsatz in den unterschiedlichen Produktgruppen zur Verfügung. Deren genaue Anwendung hängt im Wesentlichen vom Produkt ab, das damit geschützt werden soll. Der Einsatz von klassischen (additiven) FSM ist nicht nur von Vorteilen geprägt. Einerseits sind sie aufgrund ihrer unterschiedlichen Wirkungsweisen in der Lage, das Brandverhalten von Stoffen und/oder Produkten positiv zu beeinflussen und tragen somit zu einer brandschutztechnischen Ertüchtigung bei. Die Verwendung von FSM kann sowohl die Sicherheit von Menschen und Tieren erhöhen als auch die Einsatzgebiete vieler Stoffe und/oder Produkte erweitern. Mit der Entwicklung und Verwendung synthetischer Materialien ging der verstärkte Einsatz von FSM einher. Im Vergleich zu natürlichen Materialien (z. B. Wolle, Baumwolle, Leder) brennen synthetische Polymere wie z. B. Polyethylen, Polypropylen, Polyurethane oder Polystyrol besser und können mehr Rauch und giftige Abgase erzeugen, insbesondere bei offenen Strukturen und geringer Dichte wie in Geweben und Schaumstoffen (Stec und Hull 2014).

Andererseits sind bei der objektiven Betrachtung dieser flammschützenden Substanzen die negativen Eigenschaften nicht zu vernachlässigen, denn FSM können ein hohes Risiko für die Umwelt und die Gesundheit vieler Lebewesen darstellen. Insbesondere die sehr effektiven und deshalb viel verwendeten halogenierten FSM besitzen oftmals äußerst problematische gesundheits- und umweltgefährliche Eigenschaften, eine hohe Lebensdauer in der Umwelt (Persistenz) und können sich in Organismen anreichern (Bioakkumulierbarkeit). Die Ursache für die von manchen Substanzen ausgehende Gefährdung besteht neben den intrinsischen Stoffeigenschaften in der (unkontrollierten) Freisetzung in die Umwelt. Bspw. können additive FSM durch die Nutzung von Alltagsgegenständen (z. B. beim Waschen flammgeschützter Kleidung) in die Umwelt gelangen. Die weltweite Verbreitung bromierter FSM beschreiben z. B. Hull et al. (2014). Diese Verbindungen sind von der Arktik bis zur Antarktik in weit abgelegenen Gebieten nachgewiesen, da die Transportprozesse auch über die Atmosphäre erfolgen. Bromierte FSM finden außerdem über die Nahrungskette Verbreitung.

Ebenso können Brandfolgeprodukte oder Brandgase, die im Fall eines Brandes entstehen, problematische Wirkungen auf Umwelt und Gesundheit hervorrufen. Insbesondere besteht die Gefahr, dass bei realen Brandereignissen aus halogenhaltigen Materialien persistente, bioakkumulierbare, toxische Produkte (PBT), wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und polychlorierte und polybromierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF und PBDD/PBDF), entstehen (z. B. Stec und Hull 2014). PCDDs und PBDDs sind extrem giftig, chemisch und thermisch stabil und können an der Oberfläche von Feinstaub adsorbiert werden (Stec und Hull 2014).

In dem folgenden Abschnitt sollen daher die „klassischen“ (additiven) FSM einer ökologischen Bewertung unterzogen werden, um letztlich Beschaffer*innen Empfehlungen auszusprechen. Dazu werden in einem ersten Schritt gemäß CLP-Verordnung (2021) die H-Sätze herangezogen. In einem zweiten Schritt werden die verbleibenden FSM mittels der Kriterien Persistenz, Bioakkumulation, Waschbeständigkeit, Brandfolgeprodukte und Kosten bewertet. Darüber hinaus werden im Rahmen eines Exkurses die Bewertungsmethode GreenScreen und deren einzelne Bewertungskriterien vorgestellt. In diesem Zusammenhang wird erläutert, warum die Anwendung dieser Methode aus Sicht des Forschungsnehmers nicht hinreichend ist, um diese gegenwärtig bei den FSM anzuwenden.

7.1 Bewertungskriterien

Die Bewertung der FSM erfolgt im ersten Schritt über deren H-Sätze und anschließend mittels folgender Kriterien:

- ▶ Persistenz
- ▶ Bioakkumulation
- ▶ Waschbeständigkeit
- ▶ Brandfolgeprodukte
- ▶ Kosten

Die einzelnen Punkte werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

7.1.1 CLP-Verordnung

Die Einstufung eines Stoffes oder eines Gemisches ist in der CLP-Verordnung (2021) geregelt, mit der ein hohes Schutzniveau für die menschliche Gesundheit und für die Umwelt sowie der freie Verkehr von Stoffen, Gemischen und Erzeugnissen gewährleistet wird. Mit dieser europäischen Verordnung erfolgt eine Harmonisierung der Kriterien zur Einstufung von Stoffen und Gemischen sowie der Vorschriften für die Kennzeichnung und Verpackung gefährlicher Stoffe und Gemische. Dort ist auch geregelt, mit welchen H-Sätzen ein Stoff oder Gemisch gekennzeichnet werden muss.

Im Folgenden wird eine Bewertung von FSM in den betrachteten Produktgruppen vorgenommen (siehe Kapitel 6.2). Zur Vereinfachung der Bewertung werden alle Substanzen, die H-Sätze aufweisen, die in den für dieses Forschungsvorhaben relevanten Vergabekriterien des Blauen Engel unzulässig sind, von der Bewertung ausgeschlossen. In Tabelle 51 sind diejenigen H-Sätze aufgelistet, die gemäß der für dieses Forschungsvorhaben relevanten Produktgruppen einbezogen werden; die Bedeutung dieser H-Sätze wird kurz erläutert. Die hier relevanten Vergabekriterien sind Emissionsarme plattenförmige Werkstoffe (Bau- und Möbelplatten) für den Innenausbau (DE-UZ 76 (2016)), Emissionsarme Polstermöbel (DE-UZ 117 (2018)), Matratzen (DE-UZ 119 (2018)), Elastische Bodenbeläge (DE-UZ 120 (2011)), Emissionsarme textile Bodenbeläge (DE-UZ 128 (2016)), Leder (DE-UZ 148 (2015)), Textilien (DE-UZ 154 (2017)) und Schuhe (DE-UZ 155 (2018))⁵⁵. Darüber hinaus können in den vorgenannten Produktgruppen einzelne weitere H-Sätze zum Stoffausschluss führen.

Die H-Sätze wurden der ECHA-Datenbank des C&L-Verzeichnisses (Classification & Labelling, Einstufung & Kennzeichnung)⁵⁶ entnommen, die sowohl harmonisierte Einstufungen der Mitgliedsstaaten als auch Selbsteinstufungen entsprechend der CLP-Verordnung enthält.

Es ist zu beachten, dass nicht jeder H-Satz in jeder Blauen Engel-Produktgruppe verboten ist. Die Einschätzung, welche H-Sätze in den jeweiligen Produktgruppen zum Ausschluss führen, wird immer durch verschiedene Fachexpert*innen des UBA und auch externer Forschungsinstitute wissenschaftlich hergeleitet. Diese Ergebnisse werden dann in sogenannten Expertenanhörungen diskutiert. An diesen Expertenanhörungen können alle Interessierten teilnehmen. In der Regel umfasst der Kreis Unternehmen, Verbände, Prüfinstitute, Nichtregierungsorganisationen und wissenschaftliche Institutionen. Zwischen den Teilnehmenden werden dann die Kriterien für die

⁵⁵ Siehe auch <https://www.blauer-engel.de/de/fuer-unternehmen/vergabekriterien>

⁵⁶ <https://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/cl-inventory-database>

jeweilige Produktgruppe finalisiert. Anschließend werden diese Kriterien der Jury Umweltzeichen vorgestellt, die über die präsentierten Kriterien letztlich entscheidet. Die Jury Umweltzeichen besteht wiederum aus einem breiten Stakeholderkreis⁵⁷.

Tabelle 51: H-Sätze, die nach den relevanten Vergabekriterien⁵⁸ zum Ausschluss aus dem Blauen Engel führen.

H-Satz	Bedeutung
H300	Lebensgefahr bei Verschlucken
H301	Giftig bei Verschlucken
H310	Lebensgefahr bei Hautkontakt
H311	Giftig bei Hautkontakt
H330	Lebensgefahr bei Einatmen
H331	Giftig bei Einatmen
H340	Kann genetische Defekte verursachen
H350	Kann Krebs erzeugen
H350i	Kann bei Einatmen Krebs erzeugen
H360D	Kann das Kind im Mutterleib schädigen
H360Df	Kann das Kind im Mutterleib schädigen; Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen
H360F	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen
H360FD	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen; Kann das Kind im Mutterleib schädigen
H360Fd	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen
H370	Schädigt die Organe
H372	Schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition

Ausgangspunkt der Untersuchung sind insgesamt 31 FSM, die bereits in Abschnitt 6.2 benannt wurden (siehe Tabelle 41 bis Tabelle 49).

⁵⁷ Im Jahr 2021 bestand die Jury Umweltzeichen aus Vertreter*innen von der Stiftung Warentest, dem Deutschen Städtetag, dem Handelsverband Deutschland – HDE e.V., dem Allgemeinen Studierendenausschuss der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, der United Nations University, Institut for Integrated Management of Material Fluxes and of Resources (UN-FLORES), dem NABU – Naturschutzbund Deutschland e.V., der Verbraucherzentrale Bundesverband e. V. (vzbv), dem Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Mecklenburg-Vorpommern, dem DGB Bundesvorstand, dem Zentralverband des Deutschen Handwerks e.V. Handwerkskammer Berlin, der Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft e.V., dem Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (BUND), dem Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI), dem Hessischen Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

⁵⁸ DE-UZ 76 (2016): Emissionsarme plattenförmige Werkstoffe (Bau- und Möbelpplatten) für den Innenausbau, DE-UZ 117 (2018): Emissionsarme Polstermöbel, DE-UZ 119 (2018): Matratzen, DE-UZ 120 (2011): Elastische Bodenbeläge, DE-UZ 128 (2016): Emissionsarme textile Bodenbeläge, DE-UZ 148 (2015): Leder, DE-UZ 154 (2017): Textilien, DE-UZ 155 (2018): Schuhe (siehe auch <https://www.blauer-engel.de/de/fuer-unternehmen/vergabekriterien>).

Die folgende Tabelle zeigt die Bewertung der FSM und ein daraus resultierender Ausschluss. Es zeigt sich, dass 20 Substanzen mindestens mit einem H-Satz versehen sind und für eine weitere Betrachtung nicht infrage kommen.

Tabelle 52: Substanzen, die aufgrund ihrer H-Sätze vom Blauen Engel⁵⁹ ausgeschlossen sind.

Substanz	CAS-Nr.	Ausschluss aufgrund folgender H-Sätze
Hexabrombenzol (HBB)	87-82-1	H413
Tris(2-chloro-1-methylethyl)phosphat (TCPP)	13674-84-5	H412, H413
Diammoniumhydrogenphosphat	7783-28-0	H311, H412
Roter Phosphor	7723-14-0	H412
N-Hydroxymethyl-3-dimethyl-phosphonpropionamid (DMPPA)	20120-33-6	H317, H350
Trikresylphosphat (TCP)	1330-78-5	H317, H361d, H370, H371, H372, H373, H400, H410, H411
Trimethylphosphat (TMP)	512-56-1	H340, H350, H351, H361, H373
Triethylphosphat (TEP)	78-40-0	H341, H350
Tetrakis(hydroxymethyl)-phosphoniumchlorid (THPC)	124-64-1	H301, H311, H317, H330, H334, H350, H360, H400, H410, H411
Tetrakis(hydroxymethyl)-phosphoniumchlorid, oligomeres Reaktionsprodukt mit Harnstoff (THPC)	27104-30-9	H317, H341, H350, H361d, H373, H410, H412
Diphenyltolylphosphat (Cresyldiphenylphosphat)	26444-49-5	H371, H400, H410, H411, H412
Melamin	108-78-1	H317, H351, H361f, H361fd, H372, H373, H400, H410
Thioharnstoff	62-56-6	H317, H331, H351, H361d, H373, H411
Magnesiumhydroxid (MDH)	1309-42-8	H372
Dinatriumtetraborat-Decahydrat (Borax)	1303-96-4	H360FD, H370, H412
Ammoniumsulfat	7783-20-2	H331, H371, H400, H411
Dikaliumhexafluorotitanat	16919-27-0	H301, H317
Kaliumhexafluorzirkonat	16923-95-8	H300, H301, H311, H331, H412
Antimontrioxid (ATO)	1309-64-4	H317, H350, H351, H360Df, H370, H372, H373, H411, H412
Antimonpentaoxid	1314-60-9	H411, H413

⁵⁹ DE-UZ 76 (2016), DE-UZ 117 (2018), DE-UZ 119 (2018), DE-UZ 120 (2011), DE-UZ 128 (2016), DE-UZ 148 (2015), DE-UZ 154 (2017), DE-UZ 155 (2018) (siehe auch <https://www.blauer-engel.de/de/fuer-unternehmen/vergabekriterien>).

14 der betrachteten FSM können nach dieser Bewertung bei den untersuchten Produkten bzw. Produktgruppen eingesetzt werden:

- ▶ Ammoniumphosphat (CAS-Nr.: 10124-31-9)
- ▶ Ammoniumpolyphosphat (CAS-Nr.: 68333-79-9)
- ▶ Melaminphosphat (Cas-Nr.: 41583-09-9)
- ▶ Melaminpolyphosphat (CAS-Nr.: 218768-84-4)
- ▶ Ammoniumsulfamat (CAS-Nr.: 13765-36-1)
- ▶ Expandierbarer Graphit (CAS-Nr.: 12777-87-6)
- ▶ Expandierbarer Graphit (CAS-Nr.: 90387-90-9)
- ▶ Zirkoniumacetat (CAS-Nr.: 7585-20-8)
- ▶ Tetrabrombisphenol A (TBBPA; CAS-Nr.: 79-94-7) in Polstermöbeln
- ▶ Decabromdiphenylethan (DBDPE; CAS-Nr.: 79-94-7) in Polstermöbeln und in der Teppichrückenbeschichtung
- ▶ Resorcinolbisdiphenylphosphat (RDP; CAS-Nr.: 57583-54-7) in Polstermöbeln, Matratzen und textilen Fußböden
- ▶ Melamincyanurat (MC; CAS-Nr.: 37640-57-6) in Fußböden und Textilien
- ▶ Aluminiumhydroxid (ATH; CAS-Nr.: 21645-51-2) in textilen Fußböden
- ▶ Ammoniumbromid (CAS-Nr.: 12124-97-9) in Textilien

Diese 14 FSM werden nun in einem weiteren Schritt mittels weiterer Kriterien bewertet.

7.1.2 Weitere Bewertungskriterien

Für eine weitere Bewertung wurden die Bewertungskriterien Persistenz, Bioakkumulation, Waschbeständigkeit, Brandfolgeprodukte und Kosten herangezogen. Diese Kriterien wurden der Bewertungsmethode hinzugefügt, da sie wichtige Aspekte für den Einsatzbereich der Produkte darstellen. Mittels der Waschbeständigkeit, die nur für Materialien betrachtet werden sollen, die auch gewaschen werden, werden Erkenntnisse über den Lebenszyklus und die Umweltbelastung erhalten. Die Brandfolgeprodukte geben eine Auskunft zu den Gefahren im Brandfall und die Kosten sind wichtig, um bestimmte Budgets bei der Beschaffung einzuplanen. Im Falle von Bioakkumulation und Persistenz werden die Aspekte der Abbaubarkeit sowie der Anreicherung der Substanzen in der Umwelt betrachtet.

Nach Möglichkeit soll mit diesen ausgewählten Kriterien die Liste der 14 FSM nochmals auf den Prüfstand gestellt werden, um zu klären, ob für diese FSM eine Empfehlung für öffentliche Beschaffer*innen ausgesprochen werden kann.

Persistenz

Persistenz bezeichnet die Zeitspanne, die eine Chemikalie in der Umwelt existieren kann, bevor diese Substanz durch natürliche Prozesse umgewandelt bzw. vollständig mineralisiert wird (US

EPA 2011). Eine Substanz, die persistent ist, wird nur sehr langsam oder überhaupt nicht durch mikrobielle Enzyme gespalten oder mineralisiert. Diese Eigenschaft ist einerseits technologisch erwünscht (Qualitätsmerkmal Haltbarkeit), andererseits ökologisch unerwünscht, wenn Einträge in die Umwelt zu einer Anreicherung des Stoffs in den Umweltmedien führen und sich ihre Umweltkonzentration nachteilig auf die belebte und unbelebte Natur auswirkt (Leonhäuser 2006). Dieser Parameter ist im erheblichen Maße von den Umgebungs- oder Testbedingungen abhängig. Die Anreicherung persistenter Stoffe in Wasser, Boden und Luft stellt vor allem dann eine große Umweltgefahr dar, wenn diese Stoffe aufgrund lipophiler Eigenschaften in der Nahrungskette angereichert werden (Leonhäuser 2006).

Die Persistenz eines FSM wurde auf den Seiten der Europäischen Chemikalienagentur (<https://echa.europa.eu/de/home>) mittels der CAS-Nr. recherchiert. Als Ergebnis wurden von den 14 FSM TBBPA und DBDPE als persistent eingestuft, wodurch beide Substanzen nicht weiter betrachtet werden. Weiterhin werden Melaminphosphat sowie Melamincyanurat wegen ihrer Persistenz bzw. der Persistenz ihres Abbauproduktes Melamin nicht weiter betrachtet.

Bioakkumulation

Als Bioakkumulation ist das Potential eines Stoffs oder bestimmter Stoffe eines Gemischs zu verstehen, sich in der belebten Umwelt anzureichern und somit in der Nahrungskette aufzusteigen (BG BAU 2021). Die Aufnahme erfolgt bei Wasserorganismen als Stoffaufnahme aus dem umgebenden Medium über die Kiemen und Haut sowie durch das Fressen von Sedimentpartikeln oder durch das Fressen belasteter Lebewesen (Mackay und Fraser 2000). Bei landbewohnenden Tieren erfolgt die Stoffaufnahme über die Nahrung und das Trinkwasser. Die Bioakkumulation eines Stoffs kann einerseits den aufnehmenden Organismus selbst schädigen, indem der Stoff eine für den Organismus schädliche Konzentration erreicht. Andererseits kann sie zu einer Weitergabe des Stoffs in der Nahrungskette, zur Biomagnifikation, führen, sobald der kontaminierte Organismus gefressen wird. Insbesondere die Lebewesen an der Spitze einer Nahrungskette sind dadurch gefährdet (UBA 2021).

Zum Beschreiben des Ausmaßes der Bioakkumulation wird meist das Anreicherungsverhältnis der Chemikalie im Organismus gegenüber der Konzentration in der Umwelt verwendet. Die Ermittlung des BAF (Bioakkumulationsfaktor) erfolgt nach OECD 315 (2008) und OECD 317 (2010) und des BCF (Biokonzentrationsfaktor) nach OECD 305 (2012). Der Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient (K_{ow}) wird mittels Schüttelmethode nach OECD 107 (1995) und Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) nach OECD 123 (2006) bestimmt und gewöhnlich in Form seines Zehnerlogarithmus angegeben.

Die Bioakkumulation eines FSM wurde auf den Seiten der Europäischen Chemikalienagentur (<https://echa.europa.eu/de/home>) mittels der CAS-Nr. recherchiert. Als Ergebnis wurden von den 14 FSM TBBPA und DBDPE als bioakkumulierbar eingestuft, wodurch beide Substanzen nicht weiter betrachtet werden.

Waschbeständigkeit

Die Waschbeständigkeit von Textilien wurde in Kapitel 6.1 kurz beschrieben. Die Bewertung der Waschbeständigkeit ist nicht ohne weiteres möglich, denn:

- eine Bewertung ist nur bei Textilien, die auch wirklich gewaschen werden, sinnvoll. Bei Produkten, für die aber über ihre komplette Nutzungsdauer keine Wäschen vorgesehen sind (z. B. Sofas mit fixiertem Bezug, Matratzen mit Ausnahme des Matratzenbezuges etc.), würde diese fehlende Waschbeständigkeit jedoch zu Unrecht negative Auswirkungen auf die Bewertung haben.

- die Auswaschbarkeit des FSMs hängt im Wesentlichen vom Träger des FSMs, also dem additiven Stoff, ab. So kann z. B. ein FSM semi-dauerhaft mit Textil A verbunden werden, während bei der Anwendung auf Textil B keine Waschbeständigkeit zu erwarten ist.

An dieser Stelle könnte auf allgemeine Angaben aus der Literatur, sofern vorhanden, zurückgegriffen werden, in den bspw. additive FSM als nicht- oder semi-waschbeständig eingestuft werden.

Von den 14 FSM, die nach Kapitel 7.1.1 die Vergabekriterien des Blauen Engel erfüllen, werden keine in der Arbeitsschutzkleidung verwendet. Ein weiterer Bereich, in denen die Materialien waschbeständig sein müssen, sind einige Produkte aus dem Bereich Haus- und Heimtextilien. Dort werden alle, mit Ausnahme von Blähgraphit, in Kapitel 7.1.1 aufgelisteten FSM eingesetzt. Diese FSM sind in den jeweiligen Einsatzgebieten entweder Semiwaschbeständig (APP, Melaminpolyphosphat; Ammoniumsulfamat,) oder nicht Waschbeständig (Ammoniumphosphat, Melaminphosphat, Zirkoniumacetat) und können daher nicht für waschbeständige Anwendungen verwendet werden (EFRA 2012 und pinfa 2017). Die FSM, die nur in einigen Produkten eingesetzt werden, sind entweder nicht waschbeständig (Ammoniumbromid) oder werden nur in Produkten eingesetzt, bei denen das Thema Waschbeständigkeit nicht relevant ist.

Brandfolgeprodukte

Im Falle eines Brands erfolgt die thermische Zersetzung der brennenden Materialien. Je nachdem, ob die Verbrennung vollständig oder unvollständig verläuft, entstehen unterschiedliche gasförmige, flüssige oder feste Produkte. Die Entstehung solcher Produkte ist abhängig von:

- der Konzentration an Sauerstoff,
- der Temperatur und
- dem Ausgangsmaterial.

Je nach der Kombination dieser Parameter entstehen unterschiedliche Brandfolgeprodukte. Während der heißen Phase (Entstehungs- bzw. Vollbrand) entstehen hohe Konzentrationen an giftigen bzw. reizenden Gasen oder Dämpfen, wie z. B. Kohlenmonoxid, Halogenwasserstoffen (Chlor-, Fluor- oder Bromwasserstoff), Acrolein, Schwefeldioxid, Stickoxide und Cyanwasserstoff (kondensiert: Blausäure), welche für Lebewesen eine potentielle Gefahr darstellen (VdS 2357 2014).

Die Konzentrationen an Zersetzungsprodukten, die bei der Verbrennung von Stoffen freigesetzt werden, werden nach ISO 19702:2015-08 bestimmt. Dafür wird eine Probe definierter Größe in einer Kammer verbrannt und anschließend wird mittels FTIR-Spektroskopie die Konzentration der jeweiligen Substanz ermittelt. Die Grenzwerte sind in Tabelle 53 dargestellt.

Tabelle 53: Brandfolgeprodukte – Grenzwerte (IMO FTP Code 2010).

Substanz	Grenzwerte
Kohlenmonoxid	1450 ppm
Fluorwasserstoff	600 ppm
Stickoxide	350 ppm
Chlorwasserstoff	600 ppm
Bromwasserstoff	600 ppm
Schwefeldioxid	120 ppm

Die o. g. Grenzwerte sind dem IMO 2010 FTP Code entnommen. Dieses Bewertungskriterium eignet sich nur bedingt zur Bewertung von FSM. Die Brandfolgeprodukte, die bei der thermischen Zersetzung entstehen, hängen im Wesentlichen vom additvierten Stoff ab, der zeitgleich thermisch zersetzt wird und ebenfalls bestimmte Folgeprodukte freisetzt.

Kosten

Neben den eher ökologischen Anforderungen an FSM sind auch die wirtschaftlichen Faktoren, d. h. die Wirtschaftlichkeit des Einkaufs von Produkten (hier konkret mit Flammschutz) von Relevanz. Die wirtschaftliche Betrachtung des Einkaufs von Produkten, die einen entsprechenden Flammschutz haben, könnte bspw., sofern möglich, bei einer Gegenüberstellung der Kosten, eventuell Lebenszykluskosten, von Produkten mit inhärentem Flammschutz und Produkten mit additivem Flammschutz erfolgen. Selbstverständlich könnten auch Produkte mit verschiedenen additiven FSM miteinander verglichen werden. Es stehen im Allgemeinen drei Möglichkeiten zur Verfügung, die mehr oder weniger geeignet sind:

- **Kosten pro Gewichtseinheit:** Dieser Vergleich *würde* sich ausschließlich für additive FSM eignen. Da Hersteller jedoch selten reine Stoffe, sondern Produkte verkaufen, ist eine umfangreiche Datenbeschaffung vermutlich nicht zielführend. Bspw. hat der Hersteller Clariant alleine 13 FSM mit APP als wesentlichsten Bestandteil im Portfolio (<https://www.clariant.com/de/Corporate/Search?tab=products>).
- **Kosten pro Flächeneinheit:** Dieser Vergleich *würde* sich ausschließlich für (inhärent) flammgeschützte Fasern eignen; nicht jedoch zu additiven FSM. Die Daten könnten vermutlich von Herstellern beschafft werden.
- **Kosten pro Flächeneinheit, um einen bestimmten Flammschutz zu erreichen:** Dieser Vergleich *würde* sowohl additive FSM als auch flammgeschützte Fasern etc. umfassen. Die Datenbeschaffung erscheint jedoch nahezu unmöglich, um einen fundierten Vergleich zu realisieren. Vor allem bei additiven FSM hängt die benötigte Menge zum Erreichen bestimmter Anforderungen vorrangig vom additvierten Material ab (z. B. Baumwolle, Hanf, Schafwolle, Leder, Hartholz, Weichholz, Holzfasern, Holzspäne, ...). In Verbindung mit den unterschiedlichen Produkten der Hersteller (siehe Punkt 1) ergeben sich hieraus zahlreiche Kombinationsmöglichkeiten, die wenn überhaupt nur am konkreten Beispiel angewendet werden könnten.

Eine differenzierte und genaue wirtschaftliche Gegenüberstellung von Alternativen scheint unmöglich, da die genauen Angaben wahrscheinlich nur mit einem hohen Recherche- oder Abfrageaufwand realisiert werden können. Letztlich muss seitens der Beschaffer*innen auf eine „klassische“ Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zurückgegriffen werden, d. h. dass der günstigere Preis bzw. die günstigeren Lebenszykluskosten – nach Einhaltung der ökologischen Anforderungen – entscheiden wird.

7.2 Exkurs: Bewertungskriterien nach „GreenScreen“

Im Folgenden wird die von der Organisation Clean Production Action entwickelte Methode GreenScreen® for Safer Chemicals („GreenScreen“) vorgestellt. Dabei handelt es sich um eine freie, transparente und von Expert*innen begutachtete Methode zur Bewertung der Gefahren, die von Chemikalien ausgehen, und zur Identifizierung besorgniserregender Chemikalien sowie sicherer Alternativen. Bei dieser Methode werden verschiedene Bewertungskriterien (Tabelle 54) betrachtet, denen anhand festgelegter Grenzwerte und/oder Einstufungen eine der folgenden fünf Gefahrenstufen zugeordnet wird:

- ▶ very high (vH) – sehr hohe Gefahr/Belastung,
- ▶ high (H) – hohe Gefahr/Belastung,
- ▶ moderate (M) – moderate Gefahr/Belastung,
- ▶ low (L) – geringe Gefahr/Belastung,
- ▶ very low (vL) – sehr geringe Gefahr/Belastung.

Zur Bewertung stehen unterschiedliche Datenquellen aus aller Welt wie z. B. Messwerte aus anerkannten Prüfverfahren, GHS-Einstufungen (EU und Nicht-EU), H-Sätze⁶⁰ oder sonstige international anerkannte Listungen zur Verfügung. Anschließend wird anhand der Ergebnisse der Einzelbewertung der Kriterien eines von vier Benchmarks ermittelt und der Chemikalie als Endergebnis zugeordnet:

- ▶ Benchmark 1: vermeiden – besorgniserregende Chemikalie,
- ▶ Benchmark 2: verwendbar – aber nach sicherem Ersatz suchen,
- ▶ Benchmark 3: verwendbar – aber Verbesserungsmöglichkeiten vorhanden,
- ▶ Benchmark 4: verwenden – sichere Chemikalie.

Tabelle 54: Bewertungskriterien des GreenScreen (Clean Production Action 2018).

Umweltverhalten	T (Umwelttoxizität)	T (menschliche Gesundheit I)	T (menschliche Gesundheit II)	T (menschliche Gesundheit III)	physikalische Gefährdungen
Persistenz (P)	akute aquatische Toxizität (AA)	Mutagenität und Gentoxizität (M)	systemische Toxizität und Organwirkung (ST-single)	systemische Toxizität und Organwirkung (ST-repeated)	Reaktivität (Rx)
Bioakkumulation (B)	chronische aquatische Toxizität (CA)	Karzinogenität (C)	Neurotoxizität (N-single)	Neurotoxizität (N-repeated)	Brennbarkeit (F)
		Entwicklungs- (Neuro-)Toxizität (D)	Hautreizung (Irs)	Sensibilisierung der Haut (SnS)	

⁶⁰ H-Satz: Gefahrenhinweise einer Chemikalie, englisch hazard.

Umweltverhalten	T (Umwelttoxizität)	T (menschliche Gesundheit I)	T (menschliche Gesundheit II)	T (menschliche Gesundheit III)	physikalische Gefährdungen
		Reproduktions-toxizität (R)	Augenreizung (IrE)	Sensibilisierung der Atemwege (SnR)	
		Endokrine Wirkung (E)	akute Toxizität für Säugetiere (AT)		

7.2.1 Bestimmung des Benchmarks

Im Anschluss an die Bewertung der Einzelkriterien erfolgt die Bestimmung eines Benchmarks für die betrachtete organische oder anorganische Substanz. Maßgebend sind immer die negativsten Bewertungsergebnisse der Einzelkriterien bzw. Kriteriengruppen.

In Tabelle 55 sind die Bewertungskriterien für die Benchmarks **organischer** Chemikalien dargestellt. Analog dazu enthält Tabelle 56 die Bewertungskriterien für die Benchmarks **anorganischer** Chemikalien.

Tabelle 55: Benchmarks für organische Chemikalien.

Benchmark	Erläuterung	P	B	T (Umwelttoxizität)	T (menschliche Gesundheit II)	T (menschliche Gesundheit III)
1 (PBT)	high P und high B und very high T (Umwelttoxizität)	H	H	vH		
	high P und high B und very high T (menschliche Gesundheit II)	H	H		vH	
	high P und high B und high T (menschliche Gesundheit III)	H	H			H
1 (vPvB)	very high P und very high B	vH	vH			
1 (vPT)	very high P und very high T (Umwelttoxizität)	vH		vH		
	very high P und very high T (menschliche Gesundheit II)	vH			vH	
	very high P und high T (menschliche Gesundheit III)	vH				H
1 (vBT)	very high B und very high T (Umwelttoxizität)		vH	vH		
	very high B und very high T (menschliche Gesundheit II)		vH		vH	
	very high P und high T (menschliche Gesundheit III)		vH			H

Benchmark	Erläuterung	P	B	T (Umwelttoxizität)	T (menschliche Gesundheit II)	T (menschliche Gesundheit III)
2	moderate P und moderate B und moderate T (Umwelttoxizität)	M	M	M		
	moderate P und moderate B und moderate T (menschliche Gesundheit II)	M	M		M	
	moderate P und moderate B und moderate T (menschliche Gesundheit III)	M	M			M
	high P und high B	H	H			
	high P und moderate T (Umwelttoxizität)	H		M		
	high P und moderate T (menschliche Gesundheit II)	H			M	
	high P und moderate T (menschliche Gesundheit III)	H				M
	high B und moderate T (Umwelttoxizität)		H	M		
	high B und moderate T (menschliche Gesundheit II)		H		M	
	high B und moderate T (menschliche Gesundheit III)		H			M
	very high T (Umwelttoxizität)			vH		
	very high T (menschliche Gesundheit II)				vH	
	high T (menschliche Gesundheit III)					H
3	moderate P	M				
	moderate B		M			
	moderate T (Umwelttoxizität)			M		
	moderate T (menschliche Gesundheit II)				M	
	moderate T (menschliche Gesundheit III)					M
4	low P und low B und low T (Umwelttoxizität und menschliche Gesundheit II und menschliche Gesundheit III)	L	L	L	L	L

Tabelle 56: Benchmark für anorganische Chemikalien.

Benchmark	Erläuterung	P	B	T (Umwelt-toxizität – nur CA)	T (Umwelt-toxizität)	T (menschliche Gesundheit II)	T (menschliche Gesundheit III)
1 (PBT)	high P und high B und very high T (CA)	H	H	vH			
	high P und high B und high T (menschliche Gesundheit III)	H	H				H
1 (vPT)	very high P und very high T (CA)	vH		vH			
	very high P und very high T (menschliche Gesundheit III)	vH					H
1 (vBT)	very high B und very high T (CA)		vH	vH			
	very high B und very high T (menschliche Gesundheit III)		vH				H
2	moderate P und moderate B und moderate T (CA)	M	M	M			
	moderate P und moderate B und moderate T (menschliche Gesundheit II)	M	M			M	
	moderate P und moderate B und moderate T (menschliche Gesundheit III)	M	M				M
	high P und moderate T (CA)	H		M			
	high P und moderate T (menschliche Gesundheit II)	H				M	
	high P und moderate T (menschliche Gesundheit III)	H					M
	high B und moderate T (Umwelttoxizität)		H		M		
	high B und moderate T (menschliche Gesundheit II)		H			M	
	high B und moderate T (menschliche Gesundheit III)		H				M
	very high T (Umwelttoxizität)				vH		
	very high T (menschliche Gesundheit II)					vH	
	high T (menschliche Gesundheit III)						H
3	moderate B		M				
	moderate T (Umwelttoxizität)				M		
	moderate T (menschliche Gesundheit II)					M	
	moderate T (menschliche Gesundheit III)						M

Benchmark	Erläuterung	P	B	T (Umwelt-toxizität – nur CA)	T (Umwelt-toxizität)	T (menschliche Gesundheit II)	T (menschliche Gesundheit III)
4	low B und low T (Umwelttoxizität und menschliche Gesundheit II und menschliche Gesundheit III)		L		L	L	L

Nachfolgend werden die Bewertungskriterien von GreenScreen erläutert. Die Daten sind dem Anhang I des GreenScreen-Leitfadens (Clean Production Action 2018) entnommen. Grenzwerte, Daten, Einstufungen und Auflistungen aus Nicht-EU-Staaten wurden nicht berücksichtigt.

Persistenz (P)

Persistenz bezeichnet die Zeitspanne, die eine Chemikalie in der Umwelt existieren kann, bevor diese durch natürliche Prozesse zerstört (d. h. umgewandelt) wird (US EPA 2011). Eine Substanz, die persistent ist, wird nur sehr langsam oder überhaupt nicht durch mikrobielle Enzyme gespalten oder mineralisiert. Diese Eigenschaft ist einerseits technologisch erwünscht (Qualitätsmerkmal Haltbarkeit), andererseits ökologisch unerwünscht, wenn Einträge in die Umwelt zu einer Anreicherung des Stoffs in den Umweltmedien führen und sich ihre Umweltkonzentration nachteilig auf die belebte und unbelebte Natur auswirkt (Leönhäuser 2006). Dieser Parameter ist im erheblichen Maße von den Umgebungs- oder Testbedingungen abhängig. Die Anreicherung persistenter Stoffe in Wasser, Boden und Luft stellt vor allem dann eine große Umweltgefahr dar, wenn diese Stoffe aufgrund lipophiler Eigenschaften in der Nahrungskette angereichert werden (Leönhäuser 2006).

Tabelle 57 enthält die Grenzwerte der Halbwertszeiten in unterschiedlichen Medien, die mithilfe der Prüfverfahren OECD 307 (2002), OECD 308 (2002) und OECD 309 (2004) bestimmt werden, und andere Bewertungskriterien für die Persistenz von Stoffen.

Die Persistenz wird im Rahmen der GreenScreen Methode ausschließlich bei organischen Substanzen bewertet.

Tabelle 57: Persistenz – Grenzwerte und Einstufungen.

Typ	Wert	vH	H	M	L	vL
Daten	Halbwertszeit in Boden oder Sediment	> 180 d oder GHS „nicht schnell abbaubar“	61 bis 180 d ⁶¹	16 bis 60 d	< 16 d oder GHS „schnell abbaubar“	10-Tage-Fenster im Ready-Bio-degradation-Test ⁶²
	Halbwertszeit in Wasser	> 60 d oder GHS „nicht schnell abbaubar“	41 bis 60 d	16 bis 40 d	< 16 d oder GHS „schnell abbaubar“	10-Tage-Fenster im Ready-Bio-degradation-Test ⁶²
	Halbwertszeit in Luft	> 5 d	2 bis 5 d	-	< 2 d	-

Bioakkumulation (B)

Als Bioakkumulation ist das Potential eines Stoffs oder bestimmter Stoffe eines Gemischs zu verstehen, sich in der belebten Umwelt anzureichern und somit in der Nahrungskette aufzusteigen (BG BAU 2021). Die Aufnahme erfolgt bei Wasserorganismen als Stoffaufnahme aus dem umgebenden Medium über die Kiemen und Haut sowie durch das Fressen von Sedimentpartikeln oder durch das Fressen belasteter Lebewesen (Mackay und Fraser 2000). Bei landbewohnenden Tieren erfolgt die Stoffaufnahme über die Nahrung und das Trinkwasser. Die Bioakkumulation eines Stoffs kann einerseits den aufnehmenden Organismus selbst schädigen, indem der Stoff eine für den Organismus schädliche Konzentration erreicht. Andererseits kann sie zu einer Weitergabe des Stoffs in der Nahrungskette, zur Biomagnifikation, führen, sobald der kontaminierte Organismus gefressen wird. Insbesondere die Lebewesen an der Spitze einer Nahrungskette sind dadurch gefährdet (UBA 2021).

Zum Beschreiben des Ausmaßes der Bioakkumulation wird meist das Anreicherungsverhältnis der Chemikalie im Organismus gegenüber der Konzentration in der Umwelt verwendet. Die Ermittlung des BAF erfolgt nach OECD 315 (2008) und OECD 317 (2010) und des BCF nach OECD 305 (2012). Der Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient (K_{ow}) wird mittels Schüttelmethode nach OECD 107 (1995) und Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) nach OECD 123 (2006) bestimmt und gewöhnlich in Form seines Zehnerlogarithmus angegeben. Die Grenzwerte sind in Tabelle 58 dargestellt.

Tabelle 58: Bioakkumulation – Grenzwerte.

Typ	Wert	vH	H	M	L	vL
Daten	BAF	> 5.000	> 1.000 bis 5.000	> 500 bis 1.000	> 100 bis 500	≤ 100
	BCF	> 5.000	> 1.000 bis 5.000	> 500 bis 1.000	> 100 bis 500	≤ 100
	log K_{ow}	> 5,0	4,5 bis 5,0	4,0 bis 4,5	-	≤ 4

⁶¹ Abweichend von der GreenScreen-Methode werden Stoffe unter der REACH-VO, Anhang XIII ab einer Halbwertszeit von > 120 Tagen als persistent bewertet. Aus Gründen der Konsistenz werden hier nur die GreenScreen-Werte vorgestellt.

⁶² Ready-Biodegradation-Test nach OECD 301 (1992) oder OECD 310.

Akute aquatische Toxizität (AA)

AA beschreibt die intrinsische Eigenschaft eines Stoffes, einen Wasserorganismus bei kurzzeitiger Exposition zu schädigen (Verordnung (EG) Nr. 1272/2008). Die AA wird experimentell an Fischen, Daphnien⁶³, Algen und Lemna⁶⁴ bestimmt. Die Prüfung erfolgt nach der Verordnung (EG) 440/2008 mit verschiedenen Konzentrationen der Prüfsubstanz für

- ▶ Fische nach Methode C.1 (S. 944 ff.) bei einer Prüfdauer von 96 Stunden und dem Kriterium Mortalität,
- ▶ Daphnia nach Methode C.2 (S. 955 ff.) bei einer Prüfdauer von 48 Stunden und dem Kriterium Schwimmfähigkeit,
- ▶ Algen nach Methode C.3 (S. 966 ff.) bei einer Prüfdauer von 72 Stunden und dem Kriterium Wachstumshemmung sowie
- ▶ Lemna nach Methode C.26 (S. 1378 ff.) bei einer Prüfdauer von 7 Tagen und dem Kriterium Wachstumshemmung.

Tabelle 59: Akute aquatische Toxizität – Grenzwerte und Einstufungen.

Typ	Wert	vH	H	M	L
GHS-Kat.	-	1	2	3	GHS nicht klassifiziert und negative Studien
Daten	LC ₅₀ bzw. EC ₅₀ [mg/l]	≤ 1	> 1 bis 10	> 10 bis 100	> 100
H-Sätze	-	H400	-	-	-

Chronische aquatische Toxizität (CA)

Chronische aquatische Toxizität beschreibt die intrinsische Eigenschaft eines Stoffs, Wasserorganismen im Zuge von Expositionen, die im Verhältnis zum Lebenszyklus des Organismus bestimmt werden, zu schädigen (Verordnung (EG) Nr. 1272/2008).

Die chronische aquatische Toxizität wird experimentell an Fischen, Daphnien und Algen nach den Richtlinien OECD 202 (2004), OECD 210 (2013) und OECD 211 (2012) bestimmt.

Tabelle 60: Chronische aquatische Toxizität – Grenzwerte.

Typ	Wert	vH	H	M	L
Daten	LC ₅₀ bzw. EC ₅₀ [mg/l]	≤ 0,1	> 0,1 bis 1,0	> 1,0 bis 10	> 10

Akute Toxizität für Säugetiere (AT)

Die AT bezieht sich auf die unerwünschten Wirkungen, die nach oraler oder dermalen Verabreichung einer Einzeldosis eines Stoffs oder nach Verabreichung mehrerer Dosen innerhalb von 24

⁶³ Gattung von Krebstieren.

⁶⁴ Pflanzengattung aus der Familie der Aronstabgewächse, auch als Wasserlinsen bezeichnet.

Stunden oder nach einer Inhalationsexposition von 4 Stunden auftreten (US EPA 2011). Die akute Toxizität wird in Tierversuchen nach Verordnung (EG) 440/2008 jeweils mit dem Kriterium Mortalität ermittelt:

- orale Toxizität nach OECD 420 (2001) und OECD 423 (2001),
- dermale Toxizität nach Methode B.3 (S. 248 ff.) und
- inhalative Toxizität nach OECD 403 (2009) und OECD 436 (2009).

Tabelle 61: Akute Toxizität für Säugetiere – Grenzwerte und Einstufungen.

Typ	Wert	vH	H	M	L
GHS-Kat.	-	1 oder 2	3	4	5 oder GHS nicht klassifiziert und negative Studien
Daten (Richtwerte für Tierdaten)	LD ₅₀ oral [mg/kg]	≤ 50	> 50 bis 300	> 300 bis 2.000	> 2.000
	LD ₅₀ dermal [mg/kg]	≤ 200	> 200 bis 1.000	> 1.000 bis 2.000	> 2.000
	LC ₅₀ Gas [mg/l]	≤ 2	> 2 bis 10	> 10 bis 20	> 20
	LC ₅₀ Nebel [mg/l]	≤ 0,5	> 0,5 bis 1,0	> 1 bis 5	> 5
H-Sätze	-	H300, H310 oder H330	H301, H311 oder H331	H302, H312 oder H332	-

Systemische Toxizität und Organwirkung (ST_{single} und ST_{repeated})

Systemische Toxizität und Organwirkung umfasst alle signifikanten, nicht tödlichen Wirkungen in einem einzelnen Organ, welche die Funktion beeinträchtigen können, sowohl reversibel als auch irreversibel, sofort und/oder verzögert, die nicht anderweitig durch einen anderen Endpunkt abgedeckt sind; oder verallgemeinerte Veränderungen weniger schwerer Art, die mehrere Organe betreffen (Clean Production Action 2018). Die Bestimmung erfolgt nach OECD 452 (2018).

Tabelle 62: Systemische Toxizität und Organwirkung ST_{single} – Grenzwerte und Einstufungen (Einzelaufnahme).

Typ	Wert	vH	H	M	L
GHS-Kat.	-	1	2	3	GHS nicht klassifiziert und negative Studien
	NOAEL ⁶⁵ _{oral} [mg/kg-bw]	≤ 300	> 300 bis 2.000	-	-

⁶⁵ Höchste Konzentration oder Menge eines Stoffs, bei der in einer exponierten Population keine nachweisbare nachteilige Wirkung auftritt (<https://www.efsa.europa.eu/de/glossary/no-observed-adverse-effect-level-noael>).

Typ	Wert	vH	H	M	L
Daten (Richtwerte für Tierdaten)	NOAEL _{dermal} [mg/kg-bw]	≤ 1.000	> 1.000 bis 2.000	-	-
	NOAEL _{Inhal.,Gas} [mg/l/4h]	≤ 10	> 10 bis 20	-	-
	NOAEL _{Inhal.,Nebel} [mg/l/4h]	≤ 1,0	> 1,0 bis 5,0	-	-
H-Sätze	-	-	-	H335	-

Tabelle 63: Systemische Toxizität und Organwirkung ST_{single} – Grenzwerte und Einstufungen (Einzelaufnahme – Aspirationsgefahren).

Typ	Wert	vH	H	M	L
GHS-Kat.	-	-	1	2	GHS nicht klassifiziert und negative Studien
H-Sätze	-	-	H304	-	-

Tabelle 64: Systemische Toxizität und Organwirkung – Grenzwerte und Einstufungen (wiederholte Exposition ST_{repeated}).

Typ	Wert	vH	H	M	L
GHS-Kat.	-	-	1	2	GHS nicht klassifiziert und negative Studien
Daten (Richtwerte für Tierdaten)	NOAEL _{oral} [mg/kg-bw/d]	-	≤ 10	> 10 bis 100	> 100
	NOAEL _{dermal} [mg/kg-bw/d]	-	≤ 20	> 20 bis 200	> 200
	NOAEL _{Inhal.,Gas} [mg/l/6h/d]	-	≤ 0,2	> 0,2 bis 1,0	> 1,0
	NOAEL _{Inhal.,Nebel} [mg/l/6h/d]	-	≤ 0,02	> 0,02 bis 0,2	> 0,2

Neurotoxizität (N_{single} und N_{repeated})

Neurotoxizität beschreibt eine nachteilige Veränderung der Struktur oder Funktion des zentralen und/oder peripheren Nervensystems nach Exposition gegenüber einem chemischen, physikalischen oder biologischen Wirkstoff (US EPA 2011). Die Bestimmung erfolgt nach OECD 407 (2008), OECD 424 (1997) sowie den Methoden B.37 (S. 559 ff.) und B.38 (S. 564 ff.) der Verordnung (EG) Nr. 440/2008.

Tabelle 65: Neurotoxizität N_{single} – Grenzwerte und Einstufungen (Einzelaufnahme).

Typ	Wert	vH	H	M	L
GHS-Kat.	-	1	2	3	GHS nicht klassifiziert und negative Studien
Daten (Richtwerte für Tierdaten)	oral [mg/kg-bw]	≤ 300	> 300 bis 2.000	-	-
	dermal [mg/kg-bw]	≤ 1.000	> 1.000 bis 2.000	-	-
	Inhalation Gas [mg/l/4h]	≤ 10	> 10 bis 20	-	-
	Inhalation Nebel [mg/l/4h]	$\leq 1,0$	> 1,0 bis 5,0	-	-
H-Sätze	-	-	-	H336	H336

Tabelle 66: Neurotoxizität N_{repeated} – Grenzwerte und Einstufungen (wiederholte Exposition).

Typ	Wert	vH	H	M	L
GHS-Kat.	-	-	1	2	GHS nicht klassifiziert und negative Studien
Daten (Richtwerte für Tierdaten)	oral [mg/kg-bw/d]	-	≤ 10	> 10 bis 100	> 100
	dermal [mg/kg-bw/d]	-	≤ 20	> 20 bis 200	> 200
	Inhalation Gas [mg/l/6h/d]	-	$\leq 0,2$	> 0,2 bis 1,0	> 1,0
	Inhalation Nebel [mg/l/6h/d]	-	$\leq 0,02$	> 0,02 bis 0,2	> 0,2

Sensibilisierung der Haut (SnS)

Hautsensibilisierung meint eine allergische Reaktion, die nach dem Hautkontakt einer Substanz auftritt (UN 2019). Die Bestimmung erfolgt nach den Methoden B.6 (S. 278 ff.) und B.43 (S. 635 ff.) der Verordnung (EG) Nr. 440/2008.

Tabelle 67: Sensibilisierung der Haut – Grenzwerte und Einstufungen.

Typ	Wert	H	M	L
GHS-Kat.	-	1A	1B	GHS nicht klassifiziert und negative Studien
H-Sätze	-	H317	H317	-

Sensibilisierung der Atemwege (SnR)

Unter der Sensibilisierung der Atemwege sind Überempfindlichkeiten zu verstehen, die durch das Einatmen einer Substanz zustande kommen (UN 2019). Die Bestimmung erfolgt nach OECD 429 (2010).

Tabelle 68: Sensibilisierung der Atemwege – Grenzwerte und Einstufungen.

Typ	Wert	H	M	L
GHS-Kat.	-	1A	1B	GHS nicht klassifiziert und negative Studien
H-Sätze	-	H334	H334	-

Hautreizung (IrS)

Als Hautreizung werden reversible Schädigungen der Haut verstanden, die nach der Exposition mit einer Substanz auftreten (US EPA 2011). Die Bestimmung erfolgt nach OECD 404 (2015), OECD 430 (2015) und OECD 431 (2019).

Tabelle 69: Hautreizung – Grenzwerte und Einstufungen.

Typ	Wert	vH	H	M	L
GHS-Kat.	-	1	2	3	GHS nicht klassifiziert und negative Studien
H-Sätze	-	H314	H315	-	-

Augenreizung (IrE)

Als Augenreizungen werden Änderungen im/am Auge verstanden, die nach der Exposition des Auges mit einer Substanz auftreten (US EPA 2011). Die Bestimmung erfolgt nach OECD 405 (2021) sowie nach den Methoden B.47 (S. 684 ff.) und B.48 (S. 702 ff.) der Verordnung (EG) Nr. 440/2008.

Tabelle 70: Augenreizung – Grenzwerte und Einstufungen.

Typ	Wert	vH	H	M	L
GHS-Kat.	-	1	2A	2B	GHS nicht klassifiziert und negative Studien
H-Sätze	-	H318	H319	H320	-

Aus Sicht der Autorenschaft dieser Studie ist das GreenScreen-Bewertungssystem und somit auch die im Rahmen des Projekts angepasste Variante zu komplex für die angestrebte Bewertung. Zeitgleich ist die Datenlage z. T. sehr lückenhaft. Daher wird empfohlen, die Bewertung der FSM nur über die üblichen H-Sätze durchzuführen. Für Produkte, die eine Waschbeständigkeit aufweisen müssen, muss der Aspekt der Beständigkeit mit analysiert werden.

7.3 Zusammenfassung

Die Bewertung der 31 FSM erfolgte anhand der ausgeschlossenen H-Sätze aus den Vergabekriterien des Blauen Engel. Dabei wurden 14 FSM identifiziert, die in den hier relevanten Produkten bzw. Produktgruppen eingesetzt werden dürfen. Hierbei handelt es sich um:

- ▶ Ammoniumphosphat (CAS-Nr.: 10124-31-9)
- ▶ Ammoniumpolyphosphat (CAS-Nr.: 68333-79-9)
- ▶ Melaminphosphat (Cas-Nr.: 41583-09-9)
- ▶ Melaminpolyphosphat (CAS-Nr.: 218768-84-4)
- ▶ Ammoniumsulfamat (CAS-Nr.: 13765-36-1)
- ▶ Expandierbarer Graphit (CAS-Nr.: 12777-87-6)
- ▶ Expandierbarer Graphit (CAS-Nr.: 90387-90-9)
- ▶ Zirkoniumacetat (CAS-Nr.: 7585-20-8)
- ▶ Tetrabrombisphenol A (TBBPA; CAS-Nr.: 79-94-7)
- ▶ Decabromdiphenylethan (DBDPE; CAS-Nr.: 79-94-7)
- ▶ Resorcinolbisdiphenylphosphat (RDP; CAS: 57583-54-7)
- ▶ Melamincyanurat (MC; CAS-Nr.: 37640-57-6)
- ▶ Aluminiumhydroxid (ATH; CAS: 21645-51-2)
- ▶ Ammoniumbromid (CAS-Nr.: CAS: 12124-97-9)

Neben den H-Sätzen nach der CLP-Verordnung wurden die FSM nach folgenden Kriterien bewertet:

- ▶ Bioakkumulation
- ▶ Persistenz
- ▶ Waschbeständigkeit
- ▶ Brandfolgeprodukte
- ▶ Kosten

Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die FSM TBBPA und DBDPE die Anforderungen an die Bioakkumulation und die Persistenz nicht erfüllen und auch ausgeschlossen werden; die FSM Melaminphosphat und Melamincyanurat erfüllen nicht die Anforderungen an die Persistenz und sind aus diesem Grund nicht geeignet. Die verbleibenden 10 FSM sind nicht waschbeständig und können daher nicht in Produkten eingesetzt werden, die diese Anforderung jedoch benötigen, so z. B. die Textilien. Anders ist dies bspw. für die mit einem festen Bezug versehenen Polster: diese müssen nicht waschbeständig sein und könnten, wenn die Voraussetzungen rechtlicher Art vorhanden sind, damit ausgerüstet werden. Basierend darauf sind, wenn

nicht anders realisierbar, diese 10 FSM für Produkte, die nicht gewaschen werden müssen, Beschaffer*innen zu empfehlen. Mögliche Einsatzgebiete sind Schuhe, Möbel und Bodenbeläge sowie Haus- und Heimtextilien, die nicht gewaschen werden.

Die Bewertungskriterien Brandfolgeprodukte sowie die Kosten konnten nicht als aussagekräftige Bewertungskriterien herangezogen werden. Die Ursache beim Bewertungskriterium Brandfolgeprodukte liegt darin, dass diese nicht für ein FSM verallgemeinert werden können, sondern immer vom eigentlichen Textil, welches brandschutztechnisch ertüchtigt werden muss, abhängig sind. Für das Kriterium Kosten wurde versucht, verschiedene Kosten zu recherchieren, doch wurde deutlich, dass ohne sehr spezifischen Bezug zum konkreten (potentiellen) Auftragsgegenstand ein Kostenvergleich nicht zielführend ist, da die Varianz der Kosten so hoch ist, dass keine Empfehlung daraus abgeleitet werden kann.

Weitere FSM können in der Zukunft dazukommen, sofern diese die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Kriterien erfüllen.

Für Beschaffende ist zu empfehlen, zunächst zu hinterfragen, ob ein Brandschutz für die zu beschaffenden Produkte überhaupt notwendig ist. Dann ist zu prüfen, ob ein Brandschutz über inhärenten Flammenschutz oder über einen alternativen Flammenschutz zu realisieren ist. Zuletzt ist der Einsatz von FSM zu prüfen. Hierbei sollten, wenn erforderlich und notwendig, die hier 10 aufgeführten FSM ausgewählt werden (siehe Tabelle 71).

Tabelle 71: Gebräuchliche additive FSM für die fünf adressierten Produktgruppen

FSM Gruppe	FSM	Verwendet in Produktgruppe				
		PSA	Haus- und	Möbel	Matratzen	Bodenbeläge
anorganische phosphorba- siert	Ammoniumpolyphosphat (APP)		x	x	x	x
	Ammoniumphosphat			x		
organische phosphorba- siert	Resorcinolbisdiphenylphosphat (RDP)		x	x	x	x
stickstoffhaltig	Melaminpolyphosphat (MP)		x	x	x	x
sonstige anorganische	Ammoniumbromid		x	x		
	Aluminiumhydroxid (ATH)		x	x	x	x
	Ammoniumsulfamat		x	x	x	x
	Expandierbarer Graphit (Blähgraphit) ⁶⁶		x	x	x	x

⁶⁶ Expandierbarer Graphit mit den CAS-Nr.: 12777-87-6 und 90387-90-9.

8 Quellenverzeichnis

- Alexandre, M. and Dubois, P. (2000): Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. *Materials Science and Engineering*, 28 (2000) 1 – 63.
- Al-Kass, T. (2011): Krankenhäuser. Gebäude: Anforderungen, Beispiele, Schäden. In Mayr, J. und Battran, L. (Hrsg.): Brandschutzatlas (2018), 33. Ergänzungslieferung, FeuerTRUTZ Network GmbH, Köln.
- Alsko (2021): Proban S. <https://www.alsco.de/kollektionen/proban-s/> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).
- Anwander, D. (2009): Masterarbeit, EIPOS, Brandschutztechnischer Leitfaden für Kindertagesstätten mit Krippennutzung. Zitiert aus Anwander (2011).
- Anwander, D. (2011): Kindertagesstätten. Gebäude: Anforderungen, Beispiele, Schäden. In Mayr, J. und Battran, L. (Hrsg.): Brandschutzatlas (2018), 33. Ergänzungslieferung, FeuerTRUTZ Network GmbH, Köln.
- Arbeitskreis Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz des AGBF Bund und des Deutschen Feuerwehr Verband (2014): Empfehlungen zur Risikoeinschätzung von Brandlasten in Rettungswegen (2014-5). Arbeitskreis Vorbeugender Brand- und Gefahrenschutz der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in der Bundesrepublik Deutschland (AGBF Bund) und des DFV, München, <https://www.agbf.de/downloads-fachausschuss-vorbeugender-brand-und-gefahrenschutz/category/28-fa-vbg-oeffentlich-empfehlungen> (zuletzt aufgerufen am 08.03.2021).
- ArbSchG (1996): Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit - Arbeitsschutzgesetz, zuletzt geändert im August 2015.
- ArbStättV (2004): Arbeitsstättenverordnung des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales; Verordnung über Arbeitsstätten; die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 30. November 2016 (BGBl. I S. 2681) geändert worden ist.
- ASR A1.5/1,2 (2013): Technische Regeln für Arbeitsstätten – Fußböden. Zuletzt geändert GMBI 2019, Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund.
- ASR A2.3 (2007): Technische Regeln für Arbeitsstätten - Fluchtwege und Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan. Zuletzt geändert GMBI 2017, Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund.
- A2Textiles (2021): A2screen – nicht brennbare technische Gewebe. <https://a2textiles.de/de/screen> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).
- Bach, M. (2009) Sicher im Einsatz – Persönliche Schutzausrüstung: Beispiele aus der Feuerwehr Praxis - Prävention in NRW 14.
- BAGE (2020): Kita-Gesetze der einzelnen Bundesländer. Bundesarbeitsgemeinschaft Elterninitiativen (BAGE) e. V., Berlin, <https://bage.de/service/links-zu-den-kita-gesetzen-der-einzelnen-bundeslaender/> (zuletzt aufgerufen am 09.03.2020).
- Basaltex (2021): Providing Basalt Solutions. <http://www.basaltex.com> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).
- BASF (2021): Basotect® (MF) – The Versatile Melamine Resin Foam. https://plastics-rubber.basf.com/global/en/performance_polymers/products/basotect.html (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).
- Battran, L. (2010): Büro und Verwaltungsgebäude: Anforderungen, Beispiele, Schäden. In Mayr, J. und Battran, L. (Hrsg.): Brandschutzatlas (2018), 33. Ergänzungslieferung, FeuerTRUTZ Network GmbH, Köln.
- Battran, L. (2011): Grundlagen des Brennens und der Explosion. In: Mayr, J. und Battran, L. [Hrsg.]: Handbuch Brandschutzatlas – Grundlagen - Planung – Ausführung. 2. Auflage, FeuerTrutz-Verlag.

Baunetz-Wissen (2021a): Brandschutz: Flammschuttmittel in textilen Bodenbelägen. <https://www.baunetzwissen.de/boden/fachwissen/bauphysik/brandschutz-flammschuttmittel-in-textilen-bodenbelaeagen-151660> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Baunetz-Wissen (2021b): Eigenschaften von PVC-Bodenbelägen. <https://www.baunetzwissen.de/boden/fachwissen/pvc/eigenschaften-von-pvc-bodenbelaeagen-998723> (zuletzt aufgerufen am 29.10.2020).

BauO NRW (2018): Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen 2018 (Landesbauordnung 2018 – BauO NRW 2018) vom 21. Juli 2018.

BayBO (2007): Bayerische Bauordnung (BayBO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2007 (GVBl. S. 588) BayRS 2132-1-B.

BbgBauVorIV (2016): Verordnung über Vorlagen und Nachweise in bauaufsichtlichen Verfahren im Land Brandenburg (Brandenburgische Bauvorlagenverordnung - BbgBauVorIV) vom 7. November 2016 (GVBl.II/16, [Nr. 60]), geändert durch Artikel 14 des Gesetzes vom 15. Oktober 2018 (GVBl.I/18, [Nr. 22], S.29), https://bra-vors.brandenburg.de/verordnungen/bbgbauvorlv_2016 (zuletzt aufgerufen am 17.09.2019).

BbgKPBauV (2003): Verordnung über bauaufsichtliche Anforderungen an Krankenhäuser und Pflegeheime im Land Brandenburg (Brandenburgische Krankenhaus- und Pflegeheim-Bauverordnung – BbgKPBauV) vom 21. Februar 2003 (GVBl. II S. 140) zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 19. Dezember 2006, Ministerium für Stadtentwicklung, Wohnen und Verkehr, Potsdam.

Betoniu (2021): Möbel aus Beton. <https://betoniu.com/shop/betonmoebel/> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Beuth (2020): Einführungsbeitrag zu DIN EN ISO 14116:2015-11. <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-14116/240151313> (zuletzt aufgerufen am 10.01.2020).

Beyer, G. (2009): Eine neue Klasse flammhemmend ausgerüsteter Kunststoffe. In: Nanotechnologie in Kunststoff. Band 15 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. Seiten 87-90.

BG BAU (2021): Bioakkumulationspotenzial. <https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/gefahrstoffe/sicherheitsdatenblatt/123-bioakkumulationspotenzial/> (zuletzt aufgerufen: 16.12.2021).

BGW/BuS-I-12/13 (2015): Sichere Seiten – Brandschutz. Hrsg.: Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW), Hamburg, [https://www.bgw-online.de/SharedDocs/Downloads/DE/Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz/Gesund-und-sicher-Arbeiten/Sichere-Seiten/Kinderbetreuung/Brandschutz Artikel_Download.pdf?__blob=publicationFile](https://www.bgw-online.de/SharedDocs/Downloads/DE/Arbeitssicherheit%20und%20Gesundheitsschutz/Gesund-und-sicher-Arbeiten/Sichere-Seiten/Kinderbetreuung/Brandschutz_Artikel_Download.pdf?__blob=publicationFile) (zuletzt aufgerufen am 25.11.2019).

Bläkläder (2020): Produktfakten zu Arbeitskleidung. <https://www.blaklader.de/de/produktbeschreibung/ce-kennzeichnung/en-iso-14116> (zuletzt aufgerufen am 10.01.2020).

Borukaev, T.A. and Alakaeva, Z.T. (2019): Effect of Zinc Molybdate on the Fire-Resistant and Physicomechanical Properties of PVC Plastic. In: Inorganic Materials: Applied Research, Vol. 10, Nr. 2, 2019, S. 396 – 401.

Brandschutzleitfaden für Gebäude des Bundes (2006): Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bundesministerium der Verteidigung.

BS 5852 (2006): Methods of test for assessment of the ignitability of upholstered seating by smouldering and flaming ignition sources.

Burrow, T. (2013): Flame resistant manmade cellulosic fibres. In: Handbook of fire resistant textiles. Edited by F. Selcen Kilinc, Woodhead Publishing Series in Textiles Number 140, The Textile Institute, Woodhead Publishing, Cambridge, UK, page 236.

BVFA (2009): BrandschutzKompakt. Schwerpunkt: Brandschutz in Krankenhäusern. Nr. 34, <https://www.bvfa.de/178/presse-medien/publikationen/brandschutzkompakt/> (zuletzt aufgerufen am 07.02.2020).

BVFA (2019a): BrandschutzKompakt. Fokus: Brandschutz in Krankenhäusern. Nr. 61, November 2019, <https://www.bvfa.de/178/presse-medien/publikationen/brandschutzkompakt/> (zuletzt aufgerufen am 07.02.2020).

BVFA (2019b): Bundesverband Technischer Brandschutz e. V., Würzburg, <https://www.bvfa.de/121/themen/branchen-im-brennpunkt/krankenhaeuser/braende-in-krankenhaeusern/> (zuletzt aufgerufen am 20.08.2019).

BVFA (2019c): Bundesverband Technischer Brandschutz e. V., Würzburg, <https://www.bvfa.de/120/themen/branchen-im-brennpunkt/krankenhaeuser/vorschriften-richtlinien-/> (zuletzt aufgerufen am 20.08.2019).

Celanese (2021): Fortron® PPS. <https://www.celanese.com/de-de/engineered-materials/products/Fortron-PPS.aspx> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Clean Production Action (2018): GreenScreen® for Safer Chemicals. Hazard Assessment Guidance. For chemicals, polymers and products.

CLP Verordnung (2021) Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006.

DE102018003373A1 (2018): XPS-Platten und EPS-Platten mit eingearbeitetem Flammschutz. Joachim Falge, Mark Plate, Claus Tank (<https://patents.google.com/patent/DE102018003373A1/de>) (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

DEFRA (2010): Review of Alternative Fire Retardant Technologies. Fire Retardant Technologies: safe products with optimised environmental hazard and risk performance. Annex 3. GnoSys Report No: GR233 Date: 29 November 2009, GnoSys UK Ltd, University of Surrey, Guildford, Surrey, GU2 7XH. Page 15.

Dekodur (2021): Produktdatenblatt deko FireSafe®. <https://www.dekodur.de/files/dekodur/datenblaetter/deko-firesafe.pdf> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Deutsche Basaltfaser GmbH (2021): Basalt Faser – Roving. <https://www.deutsche-basalt-faser.de/produkte/basalt-roving/> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

DE-UZ 76 (2016): Emissionsarme plattenförmige Werkstoffe (Bau- und Möbelplatten) für den Innenausbau. Vergabekriterien BLAUER ENGEL Das Umweltzeichen. Ausgabe Februar 2016, Version 9 (<https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20076-201602-de-Kriterien-V9.pdf>).

DE-UZ 117 (2018): Emissionsarme Polstermöbel. Vergabekriterien BLAUER ENGEL Das Umweltzeichen. Ausgabe Januar 2018, Version 1.9 (<https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20117-201801-de%20Kriterien-2020-08-21.pdf>).

DE-UZ 119 (2018): Matratzen. Vergabekriterien BLAUER ENGEL Das Umweltzeichen. Ausgabe Januar 2018, Version 1.2 (<https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20119-201801-de%20Kriterien-2019-01-31.pdf>).

DE-UZ 120 (2011): Elastische Fußbodenbeläge. Vergabekriterien BLAUER ENGEL Das Umweltzeichen. Ausgabe Februar 2011, Version 10 (<https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20120-201102-de%20Kriterien-V10.pdf>).

DE-UZ 128 (2016): Emissionsarme textile Bodenbeläge. Vergabekriterien BLAUER ENGEL Das Umweltzeichen. Ausgabe Februar 2016, Version 5 (<https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20128-201602-de%20Kriterien-V5.pdf>).

DE-UZ 148 (2015): Leder. Vergabekriterien BLAUER ENGEL Das Umweltzeichen. Ausgabe März 2015, Version 4 (<https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20148-201503-de%20Kriterien-2019-01-23.pdf>).

DE-UZ 154 (2017): Textilien. Vergabekriterien BLAUER ENGEL Das Umweltzeichen. Ausgabe Juli 2017, Version 8 (<https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20154-201707-de-Kriterien-V8.pdf>).

DE-UZ 155 (2018): Schuhe und Einlegesohlen. Vergabekriterien BLAUER ENGEL Das Umweltzeichen. Ausgabe Juli 2018, Version 2 (<https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20155-201807-de%20Kriterien-2020-05-22.pdf>).

DGKH (2016): Kleidung und Schutzausrüstung für Pflegeberufe aus hygienischer Sicht. Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene e.V., Berlin, aktualisierte Fassung Juli 2016.

DGUV (2006): BGI 515 - Persönliche Schutzausrüstung: Informationsschrift für Unternehmer und Versicherte zur Auswahl, Bereitstellung und Benutzung von persönlichen Schutzausrüstungen. Berufsgenossenschaftliche Information für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV).

DGUV Information 205-020 (2012): Feuerweherschutzbekleidung – Tipps für Beschaffer und Benutzer. Hrsg.: Feuerwehr-Unfallkasse Niedersachsen, Bertastraße 5, 30159 Hannover.

DGUV Vorschrift 49 (2018): Unfallverhütungsvorschrift Feuerwehren. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Glinkastraße 40, 10117 Berlin.

DGUV Vorschrift 81 (2001): Unfallverhütungsvorschrift Schulen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV).

DGUV Vorschrift 82 (2007): Unfallverhütungsvorschrift Kindertageseinrichtungen. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV).

DGUV Regel 102-002 (2009): Kindertageseinrichtungen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV).

DIBt (2019): FAQ zum deutschen Regelungssystem für Bauprodukte und Bauarten. <https://www.dibt.de/de/service/faqs/das-deutsche-regelungssystem-fuer-bauprodukte-und-bauarten/> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2019).

DIBt (2020): Technische Baubestimmungen. <https://www.dibt.de/de/wir-bieten/technische-baubestimmungen/> (zuletzt aufgerufen am 29.01.2020).

DIN 277-1 (2016): Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen – Teil 1: Hochbau.

DIN 14095 (2007): Feuerwehrpläne für bauliche Anlagen.

DIN 4102-1 (1998) Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.

DIN 4102-13 (1990): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Brandschutzverglasungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.

DIN 4102-14 (1990): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bodenbeläge und Bodenbeschichtungen; Bestimmung der Flammenausbreitung bei Beanspruchung mit einem Wärmestrahler.

DIN 4102-15 (1990): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Brandschacht.

DIN 4102-16 (1998): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Durchführung von Brandschachtprüfungen.

DIN 50050-1 (1986): Prüfung von Werkstoffen. Brennverhalten von Werkstoffen. Kleiner Brennkasten.

- DIN 50050-2 (1988): Prüfung von Werkstoffen; Brennverhalten von Werkstoffen. Großer Brennkasten.
- DIN 50051 (1977): Prüfung von Werkstoffen. Brennverhalten von Werkstoffen. Brenner.
- DIN 53438-1 (1984): Prüfung von brennbaren Werkstoffen. Verhalten beim Beflammen mit einem Brenner. Allgemeine Angaben.
- DIN 53438-2 (1984): Prüfung von brennbaren Werkstoffen. Verhalten beim Beflammen mit einem Brenner. Kantenbeflammung.
- DIN 53438-3 (1984): Prüfung von brennbaren Werkstoffen. Verhalten beim Beflammen mit einem Brenner. Flächenbeflammung.
- DIN 66084 (2021): Klassifizierung des Brennverhaltens von Polsterverbunden.
- DIN EN 71-2 (2021): Sicherheit von Spielzeug - Teil 2: Entflammbarkeit; Deutsche Fassung EN 71-2:2020.
- DIN EN 137 (2006): Atemschutzgeräte – Behältergeräte mit Druckluft (Pressluftatmer) mit Vollmaske – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung.
- DIN EN 168 (2001): Persönlicher Augenschutz – Nichtoptische Prüfverfahren.
- DIN EN 367 (1992): Schutzkleidung Schutz gegen Hitze und Flammen Prüfverfahren: Bestimmung des Wärmedurchgangs bei Flammeneinwirkung.
- DIN EN 407 (2004): Schutzhandschuhe gegen thermische Risiken (Hitze und/oder Feuer).
- DIN EN 443 (2008): Feuerwehrhelme für die Brandbekämpfung in Gebäuden und anderen baulichen Anlagen.
- DIN EN 469 (2007): Schutzkleidung für die Feuerwehr – Leistungsanforderungen für Schutzkleidung für die Brandbekämpfung.
- DIN EN 597-1 (2016): Möbel - Bewertung der Entzündbarkeit von Matratzen und gepolsterten Bettböden - Teil 1: Glimmende Zigarette als Zündquelle.
- DIN EN 597-2 (2016): Möbel - Bewertung der Entzündbarkeit von Matratzen und gepolsterten Bettböden - Teil 2: Eine einem Streichholz vergleichbare Gasflamme als Zündquelle.
- DIN EN 659 (2008): Feuerwehrschtutzhandschuhe.
- DIN EN 702 (1995) Schutzkleidung – Schutz gegen Hitze und Flammen; Prüfverfahren: Bestimmung des Kontaktwärmedurchganges durch Schutzkleidungen oder deren Materialien.
- DIN EN 1021-1 (2014): Möbel - Bewertung der Entzündbarkeit von Polstermöbeln - Teil 1: Glimmende Zigarette als Zündquelle.
- DIN EN 1021-2 (2014): Möbel - Bewertung der Entzündbarkeit von Polstermöbeln - Teil 2: Eine einem Streichholz vergleichbare Gasflamme als Zündquelle.
- DIN EN 1101 (2005): Textilien – Brennverhalten von Vorhängen und Gardinen – Detailliertes Verfahren zur Bestimmung der Entzündbarkeit von vertikal angeordneten Proben (kleine Flamme); Deutsche Fassung EN 1101:1995 + A1:2005.
- DIN EN 1102 (2016): Textilien – Brennverhalten - Vorhänge und Gardinen – Detailliertes Verfahren zur Bestimmung der Flammenausbreitungseigenschaften vertikal angeordneter Proben; Deutsche Fassung EN 1102:2016.
- DIN EN 13087-10 (2012): Schutzhelme – Prüfverfahren – Teil 10: Beständigkeit gegen Strahlungswärme.
- DIN EN 13238 (2010): Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Konditionierungsverfahren und allgemeine Regeln für die Auswahl von Trägerplatten.
- DIN EN 13501-1 (2010): Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten –Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten.

DIN EN 13772 (2011): Textilien und textile Erzeugnisse – Brennverhalten – Vorhänge und Gardinen – Messung der Flammenausbreitungseigenschaften von vertikal angeordneten Messproben mit großer Zündquelle; Deutsche Fassung EN 13772:2011.

DIN EN 13773 (2003): Textilien – Vorhänge und Gardinen – Brennverhalten – Klassifizierungsschema; Deutsche Fassung EN 13773:2003.

DIN EN 13823 (2015): Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen.

DIN EN 13911 (2017): Schutzkleidung für die Feuerwehr – Anforderungen und Prüfverfahren für Feuerschutzhauben für die Feuerwehr.

DIN EN 14041 (2018): Elastische, textile, Laminat- und modulare mehrschichtige Bodenbeläge – Wesentliche Merkmale.

DIN EN 14533 (2015): Textilien und textile Erzeugnisse – Brennverhalten von Bettzeug – Klassifikationsschema.

DIN EN 15090 (2012): Schuhe für die Feuerwehr.

DIN EN 17191 (2021): Kindermöbel - Kindersitzmöbel - Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche und Englische Fassung EN 17191:2021.

DIN EN ISO 1182 (2010): Prüfungen zum Brandverhalten von Produkten – Nichtbrennbarkeitsprüfung.

DIN EN ISO 1716 (2010): Prüfungen zum Brandverhalten von Produkten – Bestimmung der Verbrennungswärme (Brennwert).

DIN EN ISO 3175-2 (2020): Textilien – Professionelle Pflege, Chemischreinigung und Nassreinigung von textilen Flächengebilden und Kleidungsstücken – Teil 2: Verfahren zur Prüfung des Verhaltens beim Reinigen und Nachbehandeln unter Verwendung von Perchlorethylen (Tetrachlorethen).

DIN EN ISO 6330 (2013): Textilien – Nichtgewerbliche Wasch- und Trocknungsverfahren zur Prüfung von Textilien.

DIN EN ISO 6940 (2004): Textilien - Brennverhalten - Bestimmung der Entzündbarkeit vertikal angeordneter Proben.

DIN EN ISO 6941 (2003): Textilien - Brennverhalten - Messung der Flammenausbreitungseigenschaften vertikal angeordneter Proben.

DIN EN ISO 6942 (2002): Schutzkleidung – Schutz gegen Hitze und Feuer – Prüfverfahren: Beurteilung von Materialien und Materialkombinationen, die einer Hitze-Strahlungsquelle ausgesetzt sind.

DIN EN ISO 9151 (2017): Schutzkleidung gegen Hitze und Flammen – Bestimmung des Wärmedurchgangs bei Flammeneinwirkung.

DIN EN ISO 9185 (2007): Schutzkleidung – Beurteilung des Materialwiderstandes gegen flüssige Metallspritzer.

DIN EN ISO 9239-1 (2010): Prüfungen zum Brandverhalten von Bodenbelägen. Teil 1: Bestimmung des Brandverhaltens bei Beanspruchung mit einem Wärmestrahler.

DIN EN ISO 10209 (2012): Technische Produktdokumentation – Vokabular – Begriffe für technische Zeichnungen, Produktdefinition und verwandte Dokumentation (ISO 10209:2012); Dreisprachige Fassung EN ISO 10209:2012

DIN EN ISO 10528 (1995): Textilien – Gewerbliche Waschverfahren für Textilien vor der Entflammbarkeitsprüfung.

DIN EN ISO 11612 (2015): Schutzkleidung – Kleidung zum Schutz gegen Hitze und Flammen – Mindestleistungsanforderungen.

DIN EN ISO 11925-2 (2011): Prüfungen zum Brandverhalten –Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung –Teil 2: Einzelflammentest.

DIN EN ISO 12952-1 (2010): Textilien – Bewertung der Entzündbarkeit von Bettzeug – Teil 1: Zündquelle: glimmende Zigarette (ISO 12952-1:2010); Deutsche Fassung EN ISO 12952-1:2010

DIN EN ISO 12952-2 (2010): Textilien – Bewertung der Entzündbarkeit von Bettzeug – Teil 2: Zündquelle: kleine offene Flamme (ISO 12952-2:2010); Deutsche Fassung EN ISO 12952-2:2010

DIN EN ISO 13943 (2018): Brandschutz – Vokabular (ISO 13943:2017); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 13943:2017.

DIN EN ISO 14116 (2015): Schutzkleidung - Schutz gegen Flammen - Materialien, Materialkombinationen und Kleidung mit begrenzter Flammenausbreitung.

DIN EN ISO 15025 (2017): Schutzkleidung – Schutz gegen Flammen – Prüfverfahren für die begrenzte Flammenausbildung.

DIN EN ISO 20344 (2013): Persönliche Schutzausrüstung – Prüfverfahren für Schuhe.

DITF (2021): Textilien aus flammgeschützten Polyamiden. <https://www.ditf.de/de/index/weitere-infos/flammgeschuetzte-polyamide.html> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Drohmann, D. (2001): Das Anwendungsspektrum bromierter Flammenschutzmittel – Einsetzbarkeit, Eigenschaften, Umweltdiskussion, Konferenz: Moderne Flammenschutzmittel für Kunststoffe, Essen, 19. bis 20.06.2001.

DVO-KiTaG (2002): Verordnung über Mindestanforderungen an besondere Tageseinrichtungen für Kinder sowie über die Durchführung der Finanzhilfe vom 16. Juli 2002, Fassung vom 16.09.2019, <http://www.nds-vo-ris.de/jportal/?quelle=jlink&query=KTEinrMinduaV+ND&psml=bsvorisprod.psml&max=true&aiz=true> (zuletzt aufgerufen am 16.09.2019).

ECHA (2017): Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment. Chapter R.11: PBT/vPvB assessment.

Efecto (2021): Produkte aus Beton. <https://www.efecto.de> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

EFRA (2012) An introduction to flame retardants used in upholstered furniture and textile applications. Herausgegeben von EFRA – Europäischer Verband der Flammenschutzmittel-Hersteller.

EFRA (2014): Flammenschutzmittel – Häufig gestellte Fragen. Herausgegeben von EFRA – Europäischer Verband der Flammenschutzmittel-Hersteller.

Erb, D.F., Montgomery, Jr. E.L. and Ritter, E.D. (2002): Fire blocking fabric, US Patent, US 6790795B2.

EU-POP-VO ((EU) 2019/1021) VERORDNUNG (EU) 2019/1021 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe.

FeuerTrutz Network GmbH (2017): Brandschutzordnung (Teil A, B und C). <https://www.feuertrutz.de/brandschutzordnung-teil-a-b-c/150/53824/> (zuletzt aufgerufen am 10.03.2020).

Freudenberger, V. und Jakob, F. (1982): Phosphorhaltige Polyethylenterephthalate. Angewandte Makromolekulare Chemie 105: 203-215 (Nr. 1727). <https://online-library.wiley.com/doi/epdf/10.1002/apmc.1982.051050117> (zuletzt aufgerufen am 29.10.2020).

FSK (2021): Materialeigenschaften von Melaminharzschaum. <https://www.melaminharzschaum.de/materialeigenschaften-von-melaminharzschaum/> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

FTP Code (2010) International Code for Application of Fire Test Procedures, 2012 Edition.

Gabler Wirtschaftslexikon (2019): Bauprodukte. Springer Gabler, Springer Fachmedien Wiesbaden, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/bauprodukte-28846> (zuletzt aufgerufen am 06.12.2019).

Gammerl, B. (2008): Vorbeugender Brandschutz an Schulen. Rechtliche Anforderungen und Umsetzung an Beispielen. Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, http://arbeitsschutz-schule-bw.de/site/pbs-bw-new/get/documents/KULTUS.Dachmandant/KULTUS/Projekte/arbeitschutz-schule-bw/pdf/Brand-schutz_WM_Handout_neu.pdf (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

GEFA (2021): Webseite der Firma GEFA Hygiene-Systeme. <https://gefatex.de/produktfamilien/nowetex/> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Gröger, G. Versammlungsstätten. In Mayr, J. und Battran, L. (Hrsg.): Brandschutzatlas (2018), 33. Ergänzungslieferung, FeuerTRUTZ Network GmbH, Köln.

Güteausschuss der Gütegemeinschaft sachgemäße Wäschepflege e. V. (2019): Leitfaden Textilien in Pflegeeinrichtungen. Bönningheim. [https://www.waeschereien.de/fileadmin/user_upload/2_GG_Waeschereien/Ratgeber/Leitfaden Textilien in Pflegeeinrichtungen/downloads/Leitfaden Textilien in Pflegeeinrichtungen.PDF](https://www.waeschereien.de/fileadmin/user_upload/2_GG_Waeschereien/Ratgeber/Leitfaden_Textilien_in_Pflegeeinrichtungen/downloads/Leitfaden_Textilien_in_Pflegeeinrichtungen.PDF) (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

GUV-Regel 189 (2007): Benutzung von Schutzkleidung. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Seite 27.

GUVV (2006): Brandschutz- und Notfallkonzepte in Kindertageseinrichtungen. Hrsg.: Rheinischer Gemeindeunfallversicherungsverband, Düsseldorf. http://www.kfv-fulda.de/images/downloads_und_links/Feuerwehren/BeBa/Brandschutz_in_Kitas.pdf (zuletzt aufgerufen am 21.08.2019).

Hörold, S. (2014): Phosphorus-based and Intumescent Flame Retardants. In: Papaspyrides, C.D. and Kiliaris, P. (2014) (Editors): Polymer Green Flame Retardants. Elsevier.

Horrocks, A. R. (2016): Technical fibres for heat and flame protection. In: Horrocks, A.R.; Subhash G. [Hrsg.]: Handbook of technical textiles. Volume 2: Technical Textile Applications. Woodhead Publishing Series in Textiles: Number 170.

HOTREC (2010) Leitfaden Brandschutz in Hotels, IHA-Service GmbH, Bonn.

Hull, T. R., Law, R. J. and Bergman, Å (2014): Environmental Drivers for Replacement of Halogenated Flame Retardants. In: Papaspyrides, C. D. and Kiliaris, P. [Hrsg.]: Polymer Green Flame Retardants. Elsevier.

IMO FTP Code (2010) Resolution MSC.307(88) „International Code for Application of Fire Test Procedures, 2010“ der International Maritime Organization IMO.

ISO 5077 (2007): Textilien – Bestimmung der Maßänderung beim Waschen und Trocknen (in Englisch).

ISO 12127-1 (2015): Schutzkleidung gegen Hitze und Flammen – Bestimmung des Kontaktwärmedurchgangs durch Schutzkleidung oder -materialien – Teil 1: Durch heiße Zylinder erzeugte Kontaktwärme.

ISO 13506-1 (2017): Schutzkleidung gegen Hitze und Flammen – Teil 1: Prüfverfahren für vollständige Bekleidung – Messung der Wärmeübertragung unter Verwendung einer sensorbestückten Prüfpuppe (in Englisch).

ISO 17493 (2016): Clothing and equipment for protection against heat — Test method for convective heat resistance using a hot air circulating oven.

ISO 19702:2015-08: Leitfaden für die Probenahme und Analyse von toxischen Gasen und Dämpfen in Brandgasen unter Anwendung der FTIR-Spektroskopie.

Jeske, H. (2012): Methodenetablierung und Untersuchungen der Pyrolyseprozesse intumeszierender Brandschutzbeschichtungen mittels gekoppelter thermogravimetrischer und -mechanischer Analyse (TGA-FTIR-MS und TMA) sowie DSC-Mikroskopie. Dissertation. TU Braunschweig.

Justiz.nrw (2020): Justizportal des Landes Nordrhein-Westfalen, https://www.justiz.nrw.de/BS/recht_a_z/J/Justizvollzugsanstalten/index.php, zuletzt aufgerufen am 21.02.2020.

Kalayci, E., Avinc, O.O. and Yavas, A. (2016): High Performance Polyetherimide Textile Material with Amorphous Structure. 16th International Material Symposium 12-14 Oct 2016, Pamukkale University Denizli, Turkey

KhBauR (2003): Richtlinie über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern (Krankenhausbaurichtlinie - KhBauR) vom 1. März 2003 (GMBI. Saar S. 406) geändert durch Erlass vom 17. Juli 2008 (AmtsBl. Nr. 38/2008 S. 1538).

KhBauVO (1976): Muster einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern (Krankenhausbauverordnung - KhBauVO) in der Fassung von Dezember 1976

KhsVO (2006): Verordnung über Errichtung und Betrieb von Krankenhäusern, Krankenhausaufnahme, Führung von Krankengeschichten und Pflegedokumentationen und Katastrophenschutz in Krankenhäusern (Krankenhaus-Verordnung – KhsVO), Berlin, 30. August 2006.

Klode, K. (2016): Muster-Versammlungsstättenverordnung (MVStättVO). 2. Vollständig überarbeitet Auflage, Beuth Verlag GmbH.

Kolb, T. (2017a): Brandschutzkonzepte an Schulen. 5. Kongress Zukunftsraum Schule, Stuttgart.
https://www.zukunftsraum-schule.de/pdf/kongress-2017/2017_SI_Kolb.pdf (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Kolb, T. (2017b): Brandschutzkonzepte für Schulen. Tagungsband 5. Kongress Zukunftsraum Schule, Stuttgart,
https://www.zukunftsraum-schule.de/pdf/kongress-2017/2017_Tagungsband_Web.pdf (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Korjenic, A., Zach J. und Hroudová J. (2014): Schafwolle als alternativer Wärmedämmstoff und ihr hygrothermisches Verhalten. Bauphysik 36 (5): 249-256 (<https://online-library.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bapi.201410037>) (zuletzt aufgerufen am 29.10.2020).

Kruecken, P. (2021): Persönliche Kommunikation durch Frau Petra Kruecken im Rahmen des 2. Expertentreffens (online) innerhalb dieses Projekts am 26.02.2021.

KVB (2019): Arbeits-, Bereichs- und Schutzkleidung. Kassenärztliche Vereinigung Bayern, München,
<https://www.kvb.de/praxis/qualitaet/hygiene-und-infektionspraevention/hygiene-und-medizinprodukte/personalkleidung/> (zuletzt aufgerufen am 20.08.2019).

Landesfeuerwehrverband Brandenburg e. V. (Hrsg.) (2018): Leitfaden - Brandschutz in Tageseinrichtungen für Kinder. Ausgabe vom 01. Juni 2018, Potsdam.

LASI (2009): Leitlinien zur Arbeitsstättenverordnung für Lehrer des Länderausschusses für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (Hrsg.) in der Fassung von 2009, LASI-Veröffentlichung – LV 40, C2 - § 2 Abs. 2 Definition Arbeitsplatz, Seite 11.

LBO BW (2010): Landesbauordnung für Baden-Württemberg in der Fassung vom 5. März 2010, zum 23.08.2019 aktuellste verfügbare Fassung der Gesamtausgabe.

leder-info (2021): Brandschutz bei Leder - Schwerentflammbarkeit - Brennbarkeit. https://www.leder-info.de/index.php/Brandschutz_bei_Leder_-_Schwerentflammbarkeit_-_Brennbarkeit (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Lee, Y.M. and Barker, R. (1987): Thermal protective performance of heat-resistance fabrics in various high intensity heat exposures. Textile Research Journal, 57 (3): 123 - 132.

Leisewitz, A., Kruse, H. und Schramm, E. (2001): Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flammenschutzmittel – Band 1: Ergebnisse und zusammenfassende Übersicht. Hrsg. Umweltbundesamt.

Leisewitz, A. und Schwarz, W. (2001): Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen zur Substitution umweltrelevanter Flamm-schutzmittel – Band 2: Flammenhemmende Ausrüstung ausgewählter Produkte - anwendungsbezogene Be-trachtung: Stand der Technik, Trend, Alternativen. Hrsg. Umweltbundesamt.

Lenzing™ (2021): LENZING™ for Protective Wear. <https://www.lenzingindustrial.com/Application/protective-wear> (zuletzt aufgerufen am 20.01.2021).

Leonhäuser, J. (2006): Persistenz. Verfügbar unter <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-16-01209> (zuletzt auf-gerufen: 16.12.2021).

Lichtenauer, G. (2013): Schulen. Gebäude: Anforderungen, Beispiele, Schäden. In Mayr, J. und Battran, L. (Hrsg.): Brandschutzatlas (2018), 33. Ergänzungslieferung, FeuerTRUTZ Network GmbH, Köln.

Luh (2021): Halogenfreier Flammenschutz, Blähgraphit. https://www.luh.de/halogenfreier-flamm-schutz?gclid=EAIaIQobChMIsvaQ1ICa6gIVkk8YCh3mGw2vEAAYASAAEgKYafD_BwE (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Mackay, D. and Fraser, A. (2000): Bioaccumulation of persistent organic chemicals: mechanisms and models; Environmental Pollution 110:375-391.

Mather, R.R and Wardman, R.H. (2015): The chemistry of textile fibres. 2nd Edition, Published by The Royal So-ciety of Chemistry, Thomas Graham House, Science Park, Milton Road, Cambridge CB4 0WF, UK, ISBN 978-1-78262-023-5.

Mayr, J. (2012): Notwendige Flure: Bebauung, Rettungswege, Treppen, Räume. In Mayr, J. und Battran, L. (Hrsg.): Brandschutzatlas (2018), 33. Ergänzungslieferung, FeuerTRUTZ Network GmbH, Köln.

MBeVO (2000): Muster-Beherbergungsstättenverordnung in der Fassung von 2000 – zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Mai 2014.

MBO (2019): Musterbauordnung in der Fassung von 2002 – zuletzt geändert durch Beschluss der Bauminister-konferenz vom 22.02.2019.

Meckel, L. (1978): Brennbarkeit von Textilien. Schadenprisma, Ausgabe Nr. 4, 1978, https://www.schaden-prisma.de/wp-content/uploads/pdf/1978/sp_1978_4_2.pdf (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

MHHR - Muster-Hochhaus-Richtlinie (2008): Muster-Richtlinie über den Bau und Betrieb von Hochhäusern. Fas-sung April von 2008, zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Februar 2012.

Ministerium für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung MV (2009): Handlungsempfehlungen zum Vorbeugen-den Brandschutz für den Bau und Betrieb von vollstationären Pflegeeinrichtungen der 4. Generation in Meck-lenburg-Vorpommern. Ziffer 3.2 (Rettungswege), Seite 3.

Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie und Gleichstellung des Landes Schleswig-Holstein (2012): Stan-dardprogramm für Krankenhäuser in Schleswig-Holstein. Kiel, August 2012.

Ministerium für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr NRW (2011): Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an den Bau und Betrieb von Einrichtungen mit Pflege- und Betreuungsleistungen (RdErl. des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr - X.1 – 141.01 – vom 17.3.2011) https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_text?anw_nr=1&gld_nr=2&ugl_nr=23213&bes_id=17524&val=17524&ver=7&sg=0&aufgehoben=N&menu=1 (zuletzt aufgerufen am 07.02.2020).

Muster-Schulbau-Richtlinie – MSchulbauR (2009): Muster-Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen, Fassung von April 2009.

MVStättVO (2005): Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten in der Fassung von 2005 - zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Juli 2014.

NBauO (2012): Niedersächsische Bauordnung, letzte Änderung vom 12. September 2018.

NN (2018): GreenScreen® for Safer Chemicals Hazard Assessment Guidance. Version 1.4 (https://www.greenscreenchemicals.org/images/ee_images/uploads/re-sources/GreenScreen_Guidance_v1_4_2018_01_Final.pdf) (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Novak, J. (2001): Schwel- und Glimmverhalten von Dämmstoffen. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur Wien.

Oberhollenzer, C. (1999): Gefahren und Gefahrenabwehr im Feuerwehreinsatz. Hg. von Landesverband der Freiwilligen Feuerwehren Südtirols (LFV Südtirol).

Oberste Baubehörde Bayern (2006): Empfehlungen für den Bau von Justizvollzugsanstalten, Oberste Baubehörde im Bayrischen Staatsministerium des Inneren, Interministerielle Arbeitsgruppe für Justizvollzugsbauten.

OECD 107 (1995): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 107: Partition Coefficient (n octanol/water): Shake Flask Method.

OECD 123 (2006): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 123: Partition Coefficient (1 Octanol/Water): Slow-Stirring Method.

OECD 202 (2004): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 202: Daphnia sp. – Acute Immobilisation Test.

OECD 210 (2013): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 210: Fish – Early-life Stage Toxicity Test.

OECD 211 (2012): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 211: Daphnia magna – Reproduction Test.

OECD 301 (1992): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 301: Ready Biodegradability.

OECD 305 (2012): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 305: Bioaccumulation in Fish: Aqueous and Dietary Exposure.

OECD 307 (2002): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 307: Aerobic and Anaerobic Transformation in Soil.

OECD 308 (2002): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 308: Aerobic and Anaerobic Transformation in Aquatic Sediment Systems.

OECD 309 (2004): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 309: Aerobic Mineralisation in Surface Water – Simulation Biodegradation Test.

OECD 315 (2008): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 315: Bioaccumulation in Sediment-dwelling Benthic Oligochaetes.

OECD 317 (2010): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 317: Bioaccumulation in Terrestrial Oligochaetes.

OECD 403 (2009): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 403: Acute Inhalation Toxicity.

OECD 404 (2015): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 404: Acute Dermal Irritation/Corrosion.

OECD 405 (2021): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 405: In Vivo Eye Irritation/Serious Eye Damage.

OECD 407 (2008): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 407: Repeated Dose 28-Day Oral Toxicity Study in Rodents.

OECD 420 (2001): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 420: Acute Oral Toxicity – Fixed Dose Procedure.

OECD 423 (2001): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 423: Acute Oral Toxicity – Acute Toxic Class Method.

OECD 424 (1997): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 424: Neurotoxicity Study in Rodents.

OECD 429 (2010): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 429: Skin Sensitization: Local Lymph Node Assay.

OECD 430 (2015): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 430: In Vitro Skin Corrosion: Transcutaneous Electrical Resistance Test Method (TER).

OECD 431 (2019): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 431: In Vitro Skin Corrosion: Reconstructed Human Epidermis (RhE) Test Method.

OECD 436 (2009): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 436: Acute Inhalation Toxicity - Acute Toxic Class Method.

OECD 452 (2018): OECD Guideline for Testing of Chemicals. Test No. 452: Chronic Toxicity Studies.

Oggi beton (2021): Brandschutzmöbel. <https://oggi-beton.de/brandschutzmoebel/> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Otto, M. (2012): Brandschutz in Justizvollzugsanstalten, Beuth Verlag GmbH, 1. Auflage.

Parker, D., Bussink, J., Grampel, van de H.T., Wheatley, G.W., Dorf, E.-U., Ostlinning, E., Reinking, K., Schubert, F., Jünger, O. and Wagener, R. (2012): Polymers, High-Temperature. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Pereira, C.M.C. and Martins, M.S.S. (2014): Flame Retardancy of Fiber-Reinforced Polymer Composites Based on Nanoclays and Carbon Nanotubes. In: Papaspyrides C.D. and Kiliaris P. (Hrsg.): Polymer Green Flame Retardants. Chapter 17. Elsevier.

pinfa (2017): Innovative and Sustainable Flame Retardants in Building and Construction. Hg. v. Pinfa – Phosphorus, Inorganic and nitrogen Flame Retardants Association.

Plum, A (2016): Brandlasten in Rettungswegen - Grundlagen für Einzelfallbetrachtungen. 15. Brandschutz-Tagung der Ingenieurakademie West am 14.06.2016 in Düsseldorf.

Porcher Industries (2021): Dekorationsstoffe. <https://www.porcher-ind.com/interior-design-de> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Posner, S. (2004): Survey and technical assessment of alternatives to decabromodiphenylether (decaBDE) in textile applications. Order No. 510 792, Sundbyberg, September 2004 Publisher: Swedish Chemicals Inspectorate (<https://www.kemi.se/en/publications/pms/2004/pm-5-04-survey-and-technical-assessment-of-alternatives-to-decabromodiphenyl-ether-decabde-in-textile-applications>) (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

PSA-BV (1996): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen bei der Arbeit (PSA-Benutzungsverordnung – PSA-BV). <https://www.gesetze-im-internet.de/psa-bv/PSA-BV.pdf> (zuletzt aufgerufen am 28.02.2020).

PyroTex (2021): Schutz- und Sicherheitsfaser, Anwendungsbereiche. <https://pyro-tex.de/de/> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

RiSU (2019): Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht. Empfehlung der Kultusministerkonferenz, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 09.09.1994 in der Fassung vom 14.06.2019.

Rofa Bekleidungswerk (2021): Gewebe und Material. <https://www.rofa.de/Gewebeinformationen/Gewebe-Material/> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Rothon, R. and Hornsby, P.R. (2014): Fire Retardant Fillers for Polymers. In: Papaspyrides, C.D. and Kiliaris, P. (2014) (Hrsg.): Polymer Green Flame Retardants. Elsevier.

Sächsische Versammlungsstättenverordnung vom 7. September 2004 (SächsGVBl. S. 443), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 8. Oktober 2014 (SächsGVBl. S. 647) geändert worden ist.

SAM (2017): Fragen und Antworten zur POP-Abfall-ÜberwV. Hg. v. Sonderabfall-Management-Gesellschaft Rheinland-Pfalz mbH (SAM).

Simon, S. (2006): Untersuchungen zur systematischen Entwicklung von intumeszierenden Hochleistungsbrandschutzbeschichtungen. Dissertation, TU Braunschweig.

Stec, A. A. and Hull, T. R. (2014): Influence of Fire Retardants and Nanofillers on Fire Toxicity. In: Papaspyrides, C. D. and Kiliaris, P. [Hrsg.]: Polymer Green Flame Retardants. Elsevier.

Suter Kunststoffe AG (2021): swiss-composite info. Basalt, Fasern und Gewebe. <https://www.swiss-composite.ch/pdf/I-Basalt-Fasern-Gewebe.pdf> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Tarkett (2021): Linoleum – Was ist das? https://boden.objekt.tarkett.de/de_DE/node/linoleum-was-ist-das-1551 (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Technische Regel ISO/TR 2801 (2007): Schutzkleidung gegen Hitze und Flammen – Allgemeine Empfehlungen für die Auswahl, Pflege und Verwendung von Schutzkleidung.

Textile World (2021): Diolen Introduces Diofort® Multifilament Yarn. <https://www.textileworld.com/textile-world/fiber-world/2007/09/diolen-introduces-diofort-multifilament-yarn/> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

TRBA 250 (2014): Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe - Biologische Arbeitsstoffe im Gesundheitswesen und in der Wohlfahrtspflege. GMBI. 2014 Nr. 10/11 vom 27. März 2014, S. 206, 4. Änderung: GMBI. Nr. 15 vom 2. Mai 2018, S. 259, Hrsg.: Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe –ABAS über Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund.

Trevira (2021): Trevira CS: Funktionsweise. <https://www.trevira.de/trevira-cs/trevira-cs-wie-trevira-cs-funktioniert> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

TRGS 526 (2008): Technische Regeln für Gefahrstoffe - Laboratorien, GMBI S. 295-314 [Nr. 15] vom 02.04.2008, Hrsg.: Ausschuss für Gefahrstoffe AGS - Geschäftsführung über Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund.

Troitzsch, J. (2016): Flammschutzmittel. In: Maier, R.-D. und Schiller, M. [Hrsg.]: Handbuch Kunststoff Additive. Hanser Verlag München, Seite 195.

TTI (2021): Schutzbekleidungsgewebe aus Kermel® und Mischungen. <https://tti-intern.de/anwendungen/produkte/kermel-und-mischungen> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

UBA (2003): Leitfaden zur Anwendung umweltverträglicher Stoffe. Für die Hersteller und gewerblichen Anwender gewässerrelevanter chemischer Produkte. Teil Eins: Fünf Schritte zur Bewertung von Umweltrisiken. Hrsg. Umweltbundesamt (<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2325.pdf>) (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

UBA (2008): Bromierte Flammschutzmittel – Schutzengel mit schlechten Eigenschaften? Hrsg. Umweltbundesamt (<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3521.pdf>) (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

UBA (2016): Flammschutzmittel in Produkten. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/schadstoffe-in-produkten/flammschutzmittel-in-produkten> (zuletzt aufgerufen: 16.12.2021).

UBA (2021): Bioakkumulation in der PBT-Bewertung. <https://www.umweltbundesamt.de/bioakkumulation-in-der-pbt-bewertung?parent=49281> (zuletzt aufgerufen: 16.12.2021).

UK NRW (2017a): Sichere Kita - Allgemeinen Anforderungen. Hrsg.: Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.

UK NRW (2017b): Sichere Kita – Schlafräum. Hrsg.: Unfallkasse Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.

UN (2019): Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS).

US EPA (2011): Design for the Environment Program Alternatives. Assessment Criteria for Hazard Evaluation. Herausgeber: U.S. Environmental Protection Agency. Office of Pollution Prevention & Toxics. Version 2.0

US7484256B2 (2006): Fire retardant cover for mattresses. Harrison R. Murphy, II Juraj Michal Daniel Slavik, Ronald Sytz (<https://patents.google.com/patent/US7484256B2/en>) (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

US8940209B2 (2006): Polyetherimide polymer for use as a high heat fiber material. Irene Dris, Ann Marie Lak, Craig Wojcicki (<https://patents.google.com/patent/US8940209B2/en>) (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

US20090214832 (2009): Floor panel with a fire-resistant coating. Boucke, E., 7. Oktober 2009.

van der Veen, I. and de Boer, J. (2012): Phosphorus flame retardants: Properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis. Chemosphere, Nr. 88, 2012, S. 1119 – 1153.

VdF NRW (2016): Fachempfehlung zur brandschutztechnischen Beurteilung von Kindertagesstätten. Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in NRW (AGBF NRW), Arbeitsgemeinschaft der Leiter hauptamtlicher Feuerwehren (AGHF NRW) und Verband der Feuerwehren in NRW e. V. (VdF NRW), Wuppertal.

VdS 2226 (2008): Krankenhäuser, Pflegeheime und ähnliche Einrichtungen zur Unterbringung oder Behandlung von Personen. Richtlinien für den Brandschutz. Hrsg.: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV), Köln.

VdS 2357 (2014): Richtlinien zur Brandschadensanierung. Hrsg.: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV), Köln.

VdS 3547 (2014): Brandschutzkonzepte und Brandschutznachweise. Hinweise und Information zur Planung und Prüfung. Hrsg.: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV), Köln.

Verordnung (EG) Nr. 440/2008 der Kommission vom 30. Mai 2008 zur Festlegung von Prüfmethoden gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH).

Verordnung (EG) 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 in der Fassung vom 01.05.2020.

Verordnung (EG) 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission in der Fassung vom 01.01.2020.

VstättVO M-V (2003): Verordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Versammlungsstättenverordnung – VstättVO M-V) vom 28. April 2003.

Wakelyn, P.J. (2008): Environmentally friendly flame-resistant textiles. In: A.R. Horrocks and D. Price (2008) Advances in Fire Retardant Materials. Woodhead Publishing and Maney Publishing on behalf of The Institute of Materials, Minerals & Mining CRC Press.

Weigand und Wiederschein (2021): Standardkatalog über nicht brennbare Möbel, Wandverkleidungen, Ramm-schutz, Fußboden und Bilder. <https://www.weigand-wiederschein.de/download/Weigand-Wiederschein-Kom-plettkatalog-Brandschutzinneneinrichtung.pdf> (zuletzt aufgerufen am 16.12.2021).

Weil, E. D. and Levchik, S.V. (2016): Flame retardants for plastics and textiles. Practical applications. 2nd Edi-tion, Hanser Verlag München, ISBN 978-1-56990-578-4.

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (2007): Hinweise des Wirtschaftsministeriums Baden-Württem-berg über den baulichen Brandschutz in Krankenhäusern und baulichen Anlagen entsprechender Zweckbestim-mung. Vom 26. April 2007 – Az.: 5-2615.5/25.

ZNWB (2008): Arbeitshilfen zum Schulbau. Hrsg.: Sekretariat der Kultusministerkonferenz, Berlin.