

Stephan Appel

Brandschutz im Detail

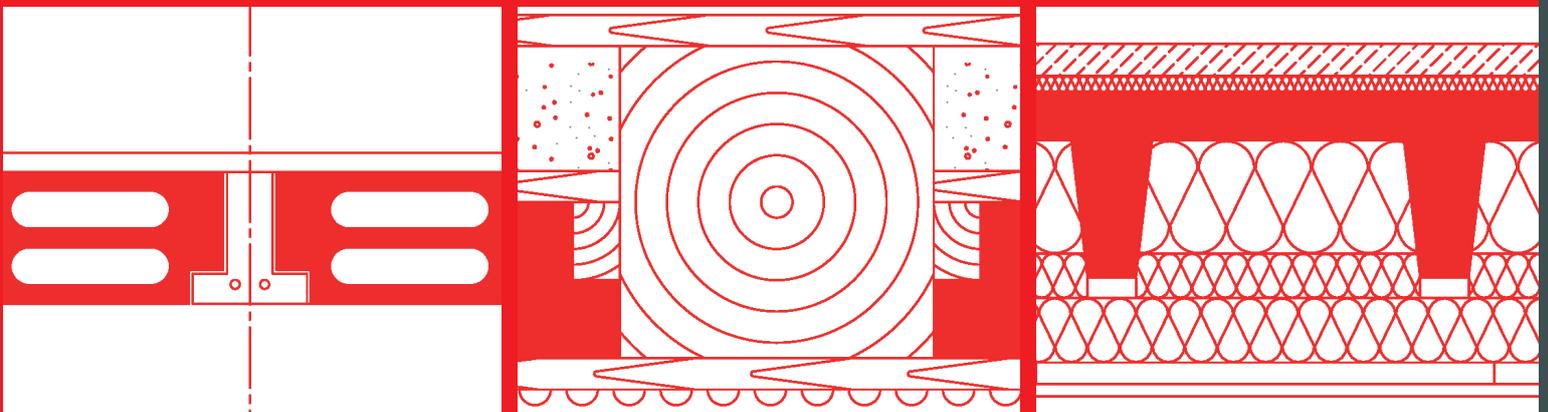
Decken

Bewertung von Decken im Bestand

2. Auflage



FeuerTrutz



Stephan Appel

Brandschutz im Detail
Band 3 – Decken

Brandschutz im Detail

Band 3 – Decken

Bewertung von Decken im Bestand

mit 102 Abbildungen und 116 Tabellen



mit digitalen Arbeitshilfen auf www.feuertrutz.de

Stephan Appel, Architekt, Dipl. Ing (FH), M.Eng.

ist selbstständiger Sachverständiger in Volkach. Gutachten für Gericht und Privat zum Thema Brandschutz & Bauschäden sowie Brandschutzkonzepte sind seine Passion. Als Inhaber von A.S. TRAINING referiert er zum Thema Brandschutz & Gebäudeschäden, sowohl extern als auch in den eigenen Räumlichkeiten im Hotel Vier Jahreszeiten. Für die Weiterbildung des Nachwuchses ist er tätig als Vorsitzender des Prüfungsausschuss für Bauzeichner an der IHK, ist Ausbilder für Bauzeichner & Maurermeister.

RM Rudolf Müller

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

© FeuerTrutz Network GmbH, Köln 2018

Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk einschließlich seiner Bestandteile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne die Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme.

Maßgebend für das Anwenden von Normen ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist. Maßgebend für das Anwenden von Regelwerken, Richtlinien, Merkblättern, Hinweisen, Verordnungen usw. ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der jeweiligen herausgebenden Institution erhältlich ist. Zitate aus Normen, Merkblättern usw. wurden, unabhängig von ihrem Ausgabedatum, in neuer deutscher Rechtschreibung abgedruckt.

Das vorliegende Werk wurde mit größter Sorgfalt erstellt. Verlag und Autor können dennoch für die inhaltliche und technische Fehlerfreiheit, Aktualität und Vollständigkeit des Werkes und seiner elektronischen Bestandteile (CD-ROM, DVD, Internetseiten) keine Haftung übernehmen.

Wir freuen uns, Ihre Meinung über dieses Fachbuch zu erfahren. Bitte teilen Sie uns Ihre Anregungen, Hinweise oder Fragen per E-Mail: lektorat@feuertrutz.de oder Telefax: 0221 5497-140 mit.

Korrektorat: Sandra Nowack, Aachen

Umschlaggestaltung: Hardy Kettlitz, Berlin

Druck und Bindearbeiten: Westermann Druck Zwickau GmbH, Zwickau

Printed in Germany

ISBN 978-3-86235-321-7 (Buch-Ausgabe)

ISBN 978-3-86235-322-4 (E-Book-Ausgabe als PDF)



Umfassend informiert:

Ihr roter Faden für die Planung und Ausführung
im vorbeugenden Brandschutz



 **FeuerTrutz**
Network für Brandschutz

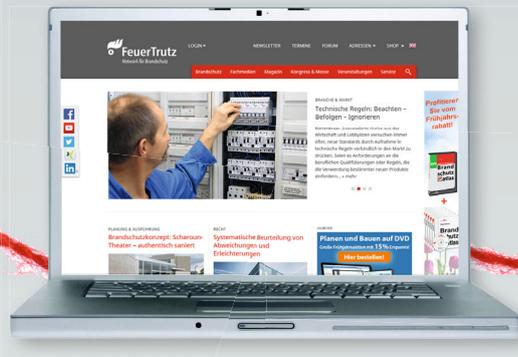


Weitere Informationen finden Sie unter
www.feuertrutz.de

RM Rudolf Müller

Umfassend informiert:

Ihr roter Faden für die Planung und Ausführung im vorbeugenden Brandschutz



FeuerTrutz Messe



FeuerTrutz Seminare



Weitere Informationen finden Sie unter www.feuertrutz.de

RM Rudolf Müller

Vorwort

In der täglichen Anwendung des vorbeugenden Brandschutzes bringt die brandschutztechnische Bewertung von Deckenkonstruktionen immer wieder erhebliche Probleme mit sich. So führen Gebäudesanierungen und Umnutzungen sowie die damit einhergehende Betrachtung der Bauteile, unter den risikoorientierten Gesichtspunkten der neuen Normen, häufig zu Konfliktsituationen. Insbesondere bei älteren Gebäuden kann die aktuelle Normung nicht umgesetzt werden, da sinnvolle Lösungen unter Berücksichtigung der „alten Vorschriften“ fehlen. Die Veränderung und Anpassung der neuen, aktuellen Vorschriften kann manchmal eine Möglichkeit sein, Altes unter neuen Gesichtspunkten zu betrachten und neue Lösungsansätze zu finden. Genau an diesem Punkt setzt das vorliegende Buch an: Durch die spezielle Betrachtung der Normenauslegung und Erkenntnisse neuer Prüfverfahren leistet es einen Beitrag zur sachgerechten brandschutztechnischen Einordnung vorhandener Bauteile ohne den Bezug zu den bauzeitlichen Normen zu verlieren. Die Erläuterungen im Buch sollen helfen, zwischen dem „sturen Anwenden“ und dem sinnvollen Erkennen sowie problemorientierten Planen und Bewerten von alten Normen unterscheiden zu können.

Dieses Buch wurde als Handlungsempfehlung für den Praktiker im Bereich der Brandschutzbemessung im Bestand erstellt. Die zweite Auflage wurde, bedingt durch den Wandel der Vorschriften und Normen, um mehrere Kapitel erweitert. Die handlungsorientierten Kapitel und Abschnitte bieten eine wertvolle Hilfestellung, Konzepte und Gedankenansätze zu erarbeiten. Einleitend wird eine kurze Übersicht über die wesentlichen Baustoffe und deren materialspezifische Eigenschaften im Hinblick auf die Temperaturveränderungen im Brandfall gegeben. Zudem wird notwendiges Hintergrundwissen für die nachfolgende Arbeit mit den Normen und der Bauteilbetrachtung aufgefrischt. Daran anschließend wird für die wesentlichen Baustoffe und Bauarten anhand der gültigen sowie alter Normen und Richtlinien aufgezeigt, wie die Konstruktionen zu bewerten sind. Die Kapitel sind dabei baustoffspezifisch getrennt und nach geometrischen Besonderheiten differenziert. Beton, Holz, Stahl sowie Verbundkonstruktionen werden mit ihren Eigenarten erläutert und durch eine umfassende Analyse der Schwachpunkte und Besonderheiten hinsichtlich ihrer Konstruktion beschrieben. Jedes baustoffspezifische Kapitel besitzt dazu einen einleitenden historischen Abriss mit einer Übersicht und Hinweisen auf wissenswerte Merkmale der Verarbeitung oder der technologischen Entwicklung.

Die neue Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VV TB) wird uns in der Zukunft auch im Zusammenhang mit Umbauten im Bestand beschäftigen. Einige Länder haben die VV TB bereits eingeführt, alle fehlenden sollen noch folgen. Die landesspezifischen Anpassungen sorgen jedoch dafür, dass wir neben den 16 Landesbauordnungen, die teilweise sehr schlank gehalten sind, 16 verschiedene VV TB erhalten, bei deren Anblick man sicherlich nicht sofort auf eine schlanke Ausführung kommen wird.

Als weiteres neues Kapitel wurde das Thema Öffnungen in Decken ergänzt. Dieses Kapitel zeigt die Konflikte auf, die bei aktuellen bauordnungsrechtlichen Betrachtungen entstehen können. Aktuelle Entwicklungen zeigen, dass sich auch im Bereich der Musterbauordnung neue Bewegungen abzeichnen, die möglicherweise schon in den nächsten Jahren Früchte tragen könnten. Klare und eindeutig verständliche Regelungen für die Planer und die ausführenden Firmen werden benötigt, um auch in Zukunft das „Problem mit Öffnungen in Decken“ ganzheitlich lösen und/oder bewerten zu können.

Die Erfassung von Konstruktionen vor Ort unter Einbeziehung wesentlicher Verfahren und Möglichkeiten der Überprüfung ist als eigenständiges Kapitel im Buch enthalten. Checklisten zur Bauteilerfassung und Beschreibungen von Prüfverfahren werden gemeinsam mit vollständigen Gerätelisten sowie Kurzbeschreibungen der Verfahren zur Verfügung gestellt. Ein weiteres Kapitel befasst sich speziell mit verschiedenen Möglichkeiten der Verbesserung der Feuerwiderstandsdauer. Dabei soll das Buch die Möglichkeiten der verschiedenen Verfahren und Materialarten aufzeigen. Anhand anschaulicher Beispiele werden exemplarische Lösungen vorgestellt und verschiedene Lösungsansätze erläutert. Ein umfangreicher Katalog mit Zeichnungen aller Bauarten rundet das Buch ab und gibt dem Praktiker die Möglichkeit, den gesuchten Deckentyp zu bewerten.

In der 2. Auflage wurden Konstruktionen aufgenommen, die eventuell eine Feuerwiderstandsklasse nicht erreicht haben, um die manchmal ganz geringen Unterschiede der einzelnen Konstruktionen zu zeigen, die zwischen Erfolg und Scheitern liegen. Häufig sind es nur Kleinigkeiten, die aber eine große Ursache haben können. Wenige Millimeter können dabei ausschlaggebend sein.

Die Zeichnungen enthalten, soweit verfügbar, die erforderlichen Systemdaten wie Spannweite, Schichtaufbauten, Höhe, Eigengewicht, maximale Belastbarkeit sowie die Feuerwiderstandsdauer nach DIN 4102-4 bzw. nach DIN EN 13501. Zu den jeweiligen Deckentypen sind die Bauzeit, Hersteller oder, soweit vorhanden, die prüfende Stelle und ein Verweis auf ein Prüfzeugnis oder eine Systemprüfung aufgeführt. Die verschiedenen betrachteten Deckentypen orientieren sich dabei an den Kapiteln bzw. der Struktur des Buches und werden analog dazu in der Reihenfolge Beton, Holz und Stahl dargestellt.

Stephan Appel
Juni 2018



Hinweis zum Download-Angebot

Die im Anhang abgedruckten Zeichnungen und die Checkliste stehen Buchkäufern zum Download bereit unter:

www.feuertrutz.de/download-bid-decken-2018

Alle Arbeitshilfen sind im Buch mit  gekennzeichnet.

FeuerTrutz Medien – Ihre mobile Brandschutzbibliothek



Mit **FeuerTrutz Medien** haben Sie alle Publikationen von FeuerTrutz immer zur Hand:

- Brandschutzatlas
- FeuerTrutz Magazin
- zahlreiche Fachbücher (E-Books)

So haben Sie **in einer Anwendung alle wichtigen Fachinformationen** zum vorbeugenden Brandschutz **auch unterwegs oder auf der Baustelle jederzeit griffbereit**: sowohl als App für iOS und Android als auch als Browser-Anwendung für Ihren Laptop.



Weitere Informationen unter
www.feuertrutz.de/app


Network für Brandschutz

Inhalt

	Einleitung	15
1	Grundlagen	17
1.1	Grundlagen der Brandlehre	17
1.1.1	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen	20
1.1.2	Auslegung und Bemessung nach Einheitstemperaturzeitkurve	22
1.1.3	Auslegung und Bemessung nach Naturbrandkurven	23
1.1.4	Auslegung und Bemessung nach weiteren Bemessungskurven	24
1.1.5	Kritische Temperaturen von üblichen verwendeten Baustoffen	25
1.1.6	Brandrisiko und die Einflussfaktoren	27
1.2	Grundlagen im Baurecht	33
1.2.1	Bauordnungsrecht in der historischen Entwicklung	34
1.2.2	Bauordnungsrechtliche Anforderungen am Beispiel der Musterbauordnung 2012	37
1.2.3	Grundlagen in der MVV TB	43
1.2.4	Bauordnungsrechtliche Anforderungen in der europäischen Umsetzung	49
1.3	Grundlagen des Bestandsschutzes	52
1.4	Grundlagen in der Tragwerksplanung	53
1.5	Versagensarten bei brandbeanspruchten tragenden Bauteilen	57
1.5.1	Versagen von Stahlbeton-Bauteilen	58
1.5.2	Versagen von Holzbauteilen	61
1.5.3	Versagen von Stahlbauteilen	64
1.6	Historische Entwicklung von Deckenkonstruktionen	66
2	Deckenkonstruktionen	69
2.1	Decken aus Stahlbeton oder Spannbeton	70
2.1.1	Decken aus Stahlbeton- und Spannbetonplatten aus Normalbeton und Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge	83
2.1.2	Decken aus Spannbeton-Hohldielen und Porenbetonplatten	93
2.1.3	Stahlbeton- und Spannbetondecken aus Fertigteilen	96
2.1.4	Stahlbeton- und Spannbeton-Rippendecken ohne Zwischenbauteile	99

2.1.5	Stahlbeton-Balkendecken mit Balken oder Rippendecken mit Zwischenbauteilen aus sonstigen Baustoffen	119
2.1.6	Stahlsteindecken	123
2.1.7	Stahlbetondecken mit eingebetteten Stahlträgern sowie Kappendecken	126
2.2	Decken mit tragenden Teilen aus Holz	133
2.2.1	Decken aus Holztafeln	138
2.2.2	Decken mit vollständig freiliegenden Holzbalken	146
2.2.3	Decken mit vollständig oder teilweise verdeckten Holzbalken	159
2.3	Decken mit tragenden Teilen aus Stahlträgern	166
2.3.1	Decken aus Stahlträgern	170
2.3.2	Decken aus Stahlträgern mit Unterdecken	175
2.4	Decken aus Verbundkonstruktionen	191
2.4.1	Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton	192
2.4.2	Verbundkonstruktionen aus Stahlprofilblechen und Beton	194
2.4.3	Verbundkonstruktionen aus Holz und Beton	196
2.5	Einflussfaktoren auf die Feuerwiderstandsdauer von Deckenkonstruktionen	201
2.5.1	Ein- bzw. mehrseitige Brandbeanspruchung	201
2.5.2	Bauteilabmessungen	202
2.5.3	Konstruktionsart	202
2.5.4	Statischer Aufbau	202
2.5.5	Ausnutzungsgrad der Konstruktion	203
2.5.6	Anbringen von Schutzbekleidungen	203
2.5.7	Brandgefahren und -lasten in der Konstruktion	203
2.5.8	Alterungsbedingte Veränderungen	209
2.6	Zulässige Installationen an Deckenkonstruktionen	210
2.6.1	Zulässige Installationen in und durch Unterdecken	211
2.6.2	Zulässige Konstruktionsschichten und Beschichtungen	211
2.7	Öffnungen in Deckenkonstruktionen	212
3	Erfassung und Diagnose von Deckenkonstruktionen im Bestand	217
3.1	Aufmaßmethoden und Genauigkeiten	218
3.2	Untersuchung von Decken aus Stahlbeton	221
3.3	Untersuchung von Decken aus Holz	222
3.4	Untersuchung von Decken mit Stahlträgern	223

3.5	Untersuchung von Decken aus Verbundkonstruktionen	224
3.6	Untersuchungen am Bauteil	224
3.6.1	Karbonatisierung von Beton	226
3.6.2	Verfahren zur Feststellung der Betondeckung	230
3.6.3	Klopfproben an Decken	232
3.6.4	Feuchtigkeitsmessungen an Decken	233
3.6.5	Betondruckfestigkeitsprüfungen an Decken	235
3.6.6	Schichtdickenmessung von Dämmschichtbildnern	237
4	Brandschutztechnische Ertüchtigung von Deckenkonstruktionen	241
4.1	Verbesserung der Feuerwiderstandsdauer von Decken von oben	241
4.1.1	Verbesserungsmaßnahmen durch Estriche von oben	242
4.1.2	Verbesserungsmaßnahmen durch Dämmstoffe von oben	244
4.1.3	Verbesserungsmaßnahmen durch Reduzierung der Belastung des Tragsystems von oben	244
4.2	Verbesserungsmaßnahmen von Decken von unten	245
4.2.1	Verbesserungen durch Putz- und Mörtelschichten	246
4.2.2	Verbesserungen durch Plattenverkleidungen	254
4.2.3	Schutzanstriche und Beschichtungen	263
4.3	Brandschutz bei Verbindungsmitteln	263
4.4	Untersuchung zum wirtschaftlichen Vergleich der Sanierung von Holzbalkendecken	267
5	Zusammenfassung	283
	Inhalt Anhang	285
	Abkürzungsverzeichnis	551
	Literatur- und Quellenverzeichnis	555
	Stichwortverzeichnis	567

Einleitung

„Stein, Eisen, Holz:

Die Brennbarkeit von Bauwerken und ihre Widerstandskraft gegen die zerstörende Wirkung des Feuers hängen in hohem Maße von den Eigenschaften der zum Aufbau verwendeten Materialien ab. Zu den wichtigsten Baustoffen zählen Steine, Eisen und Holz. Für die Beurteilung der Feuersicherheit eines Gebäudes ist die Kenntnis von dem Verhalten dieser Baumaterialien im Feuer von wesentlicher Bedeutung. Wichtige Schlüsse in dieser Hinsicht können aus sachgemäß durchgeführten, in der Praxis möglichst angeglichenen Brandversuchen gezogen werden; weit höher zu werten sind aber die bei Brandfällen gemachten Beobachtungen und die dabei gesammelten Erfahrungen. Nur die Baustellenerfahrung lässt ein abschließendes Urteil über das Verhalten der Baustoffe gegen Feuereinwirkung zu. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Baustoffe hinsichtlich der Feuersicherheit allgemein können daher nur in wirklichen Brandfällen einwandfrei festgestellt werden.“

(aus: Fachausschuss für Holzfragen, 1932, S. 7f.)

Dieses Werk setzt sich mit der Thematik der „Bewertung der Feuerwiderstandsdauer von Deckenkonstruktionen im Bestand“ auseinander.

Decken sind flächige Bauteile, die in nahezu allen Gebäuden vorkommen. Sie müssen grundlegende und vielfältige Aufgaben erfüllen.

„Aufgaben

- *Vervielfältigung der überbauten Grundfläche durch Stapelung von Nutzraum*
- *Lastabtragung zu den Wänden und Stützen*
- *horizontaler Raumabschluss*

Anforderungen

- *geringes Eigengewicht (niedrigere Transportkosten, schlankere Tragelemente, einfachere Fundierung)*
- *Tragfähigkeit (Erzielung großer Spannweiten bzw. Aufnahme hoher Lasten)*
- *Steifigkeit (Vermeidung größerer Durchbiegungen, Schwingungsanfälligkeit)*
- *Schallschutz*
- *Brandschutz*
- *Wärmeschutz*
- *geringe Bauhöhe (optimale Nutzung der verfügbaren Baukubatur)*
- *einfache Herstellung“*

(aus: Pech, Kolbitsch & Zach, Baukonstruktionen – Decken, 2006, S. 1)

Decken sind in der Regel als raumabschließende Bauteile eingebaut. Sie können aufgrund ihrer besonderen Konstruktion entweder tragend und aussteifend oder nichttragend bzw.

ohne aussteifende Funktion ausgeführt sein. Das vorliegende Werk befasst sich vorwiegend mit den tragenden Deckenkonstruktionen, an die aus bauordnungsrechtlicher Sicht, abhängig vom Einbauort, der Gebäudeklasse, der Höhenlage und weiteren Einflussfaktoren, verschiedene Anforderungen gestellt werden.

Mit den im Zusammenhang mit diesem Werk entwickelten Hilfsmitteln soll der Leser in die Lage versetzt werden, die verschiedenen Deckenarten in die Bauart einzustufen und die Feuerwiderstandsdauer der Konstruktion zu ermitteln oder annäherungsweise zu bestimmen.

Das Buch ist für Architekten, Fachplaner für vorbeugenden Brandschutz und andere Gruppen, die Deckenkonstruktionen bewerten müssen, als Nachschlagewerk konzipiert. Aufgrund der zahlreichen verschiedenen Deckentypen ist es schwer möglich, jeden einzelnen Deckentyp in dieser Abhandlung zu erfassen. Der Verfasser beschränkt sich daher auf weitverbreitete Deckentypen und weist nur vereinzelt auf besondere Konstruktionsformen oder die damit verbundenen Lösungsvarianten hin.

1 Grundlagen

Dieses Kapitel befasst sich mit den wesentlichen Grundlagen der Brandlehre, dem Bauordnungsrecht im historischen Ablauf bis in die Phase der Harmonisierung der europäischen Vorschriften sowie mit dem Bestandsschutz.

Weiterhin werden in dem Kapitel die wesentlichen Aspekte der Tragwerksplanung vermittelt, die notwendig sind, um die Bewertung der Einflussfaktoren einer Decke sicher bestimmen zu können.

1.1 Grundlagen der Brandlehre

Eine Verbrennung kann nur stattfinden, wenn drei wesentliche Kriterien gleichzeitig erfüllt sind. Man redet daher üblicherweise vom Verbrennungsdreieck.

Für eine Verbrennung müssen ein brennbarer Stoff, die zum Stoff zugehörige, kritische Temperatur und die für die Verbrennung erforderliche Menge an Sauerstoff vorhanden sein. Ist eines dieser Kriterien nicht erfüllt oder nur in geringem Umfang vorhanden, so kann keine Verbrennung stattfinden oder sie kann sich nicht ausbreiten. Bei der brandschutztechnischen Bemessung geht man immer davon aus, dass alle drei Voraussetzungen dauerhaft erfüllt sind. Es wird lediglich unter Anwendung verschiedener Sonderbauvorschriften und ingenieurmäßiger Rechenverfahren eine genaue Betrachtung der vorhandenen Brandlasten vorgenommen.

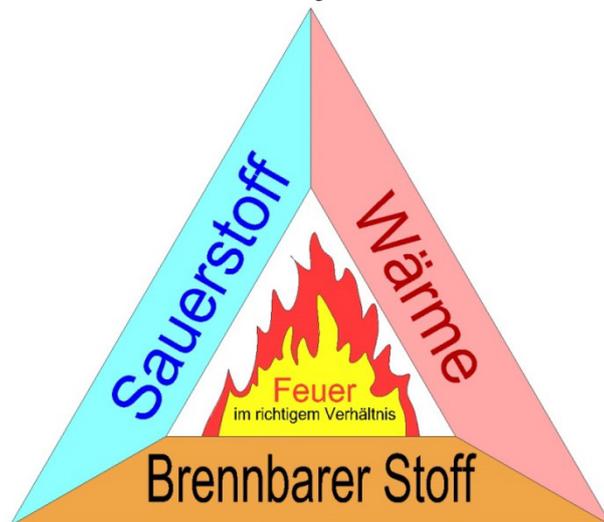


Abb. 1: Verbrennungsdreieck (Quelle: Appel & Wagenbrenner, 2009, S. 2)

Eine Verbrennung ist eine thermische Zersetzung eines Stoffes, bei der große Energiemengen in Form von Wärme frei werden.

Bei der Entstehung eines Brandes gibt es drei wesentliche Phasen der Brandentwicklung.

- a) Entzündung und Entwicklungsphase
Bei der Entzündungsphase mit der anschließenden Entwicklungsphase, bei der der Brand auf einen lokalen Bereich begrenzt bleibt, entstehen geringe bis mittlere Temperaturen.
- b) Vollbrandphase
In der Vollbrandphase sind alle im Raum befindlichen brennbaren Materialien am Feuer beteiligt. Der Brand breitet sich über die gesamte Raumfläche aus. In dieser Phase werden die höchsten Temperaturen des Feuers erreicht.
- c) Abkühlphase
In der Abkühlphase sinkt die Temperatur und der Brand erlischt aufgrund fehlender Temperatur und mangelnden Angebots an brennbaren Materialien.

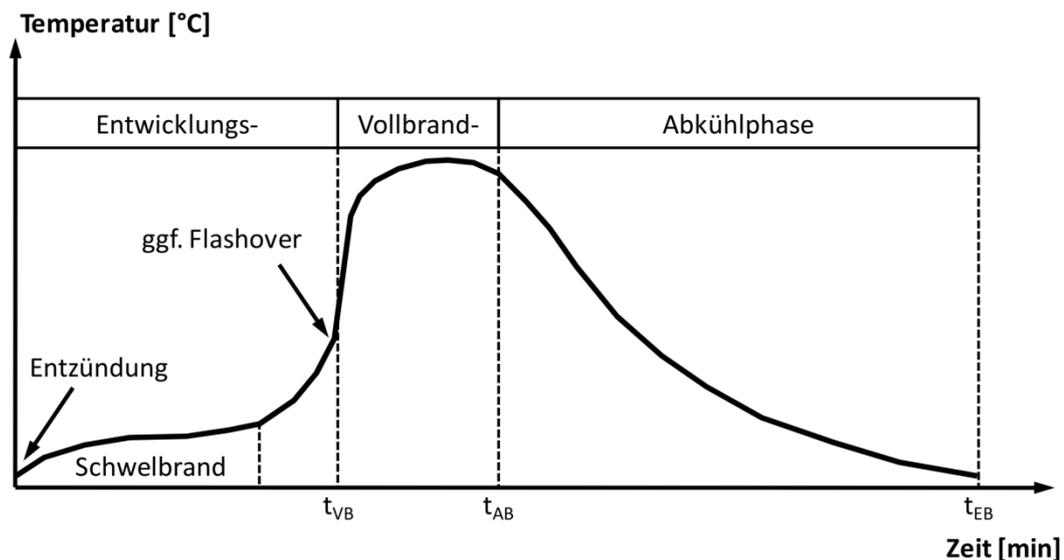


Abb. 2: Schematische Entwicklung eines natürlichen Brandverlaufs (Quelle: Klein, Dr. J, Dissertation, 2009-02, S. 10)

Tabelle 1: Energieverlauf eines natürlichen Feuers (Quelle: Klein, Dr. J; Dissertation, 2009-02, S. 10. Tabelle wurde nach "Schneider, U.; 2002; Grundlagen der Ingenieurmethoden im Brandschutz; Werner Verlag; Düsseldorf" erstellt)

Brandphase	Temperaturbereich (°C)	Energiefreisetzung (kWh/m ²)
Entzündungsphase	20–50	< 25
Schwelbrandphase	50–150	25–50
Entwicklungsphase	150–500	50–200
Vollbrandphase	500–1.250	200–1.200
Abkühlphase	1.250–20	< 200

„Der Flashover (dt. Durchzündung, je nach Schreibweise auch Flash-Over, Flash-over, F/O genannt) ist eine Phase innerhalb eines Brandereignisses und bezeichnet den schlagartigen Übergang eines Schadenfeuers (z.B. Zimmerbrand) von der Entstehungsphase hin zur Vollbrandphase. Dieser Vorgang ereignet sich zumeist sehr rasch über den gesamten Brandraum. Die Definition der Internationalen Organisation für Normung für den Flashover

lautet: „Der schnelle Übergang aller Oberflächen brennbarer Materialien eines Raums hin zu einem Feuer.“ Im Brandschutzingenieurwesen wird der Flashover als Grenze zwischen der Entstehungsphase (Pre-Flashover) und dem Vollbrand (Post-Flashover) eines Zimmerbrandes beschrieben. Allgemeines Kriterium für den Flashover ist der Anstieg der Raumtemperatur auf 500 – 600 °C, eine Wärmestromdichte (der Flammen und des Rauches) von 15 bis 20 kW/m² oder herausschlagende Flammen aus den Raumöffnungen. Die Dauer bis zum Flashover ist stark von den Faktoren der Brandraumgröße, Ventilation und Brandlast abhängig.“ (Website, Feuerwehr Bad Königshofen, 17.11.2013)

Man unterscheidet bei den einzelnen Brandverläufen auch nach brandlastgesteuerten und ventilationsgesteuerten Brandverläufen. Die weiteren Untersuchungen beziehen sich auf den brandlastgesteuerten Verlauf, wie er mit der Einheitstemperaturzeitkurve als Prüfgrundlage für die Prüfung von Baustoffen und Bauteilen verwendet wird.

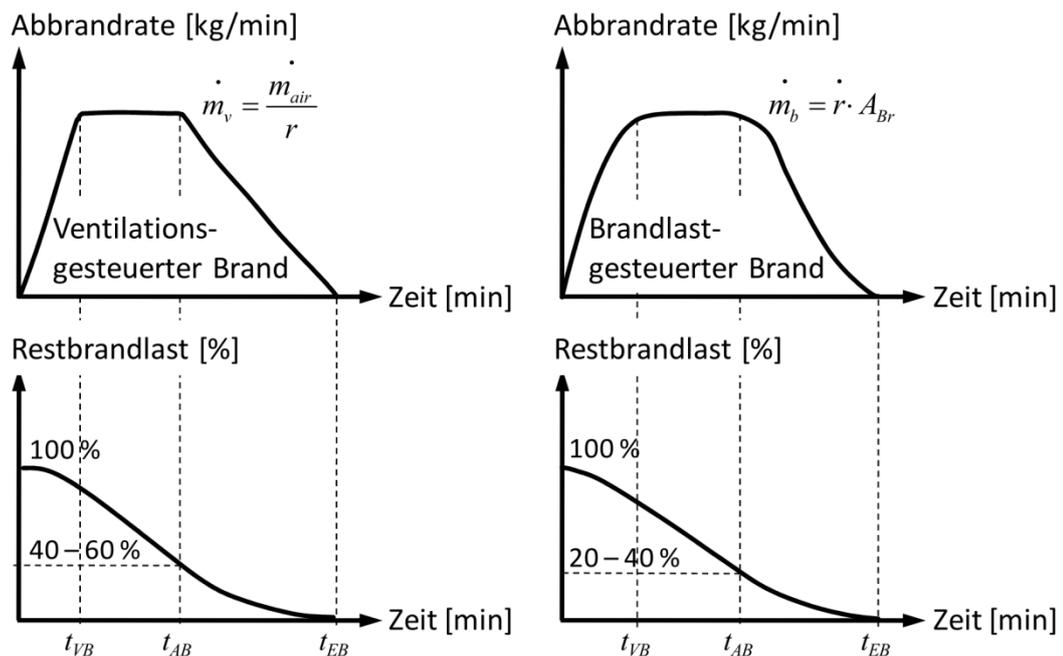


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Abbrandrate und Restbrandlast (Quelle: Klein, Dr. J., Dissertation, 2009-02, S. 12. Abbildung wurde nach "Bryl S., Frangi T., Schneider U.; 1987; Simulation von Modellbränden in Räumen - Alternative Methoden zur Beurteilung von Brandschutzmassnahmen; SIA 15" erstellt.)

Der Unterschied der Brandentwicklung, insbesondere die vorhandene Restbrandlast, spiegelt den wesentlichen Unterschied der beiden Brandverläufe wider.

Ein ventilationsgesteuerter Brand hat zum Zeitpunkt des Abklingens des Brandes t_{AB} noch eine höhere Restbrandlast und somit möglicherweise ein geringeres Schadensausmaß.

1.1.1 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen

Baustoff ist die Sammelbezeichnung für die im Bauwesen verwendeten Stoffe. Aus Baustoffen werden Bauteile hergestellt.

Man unterscheidet dabei im Wesentlichen in die folgenden Gruppen:

- Natürliche Baustoffe (Holz, Naturstein, Schotter, Kies, Sand),
- künstliche Baustoffe (Glas, Keramik, Binker, Ziegel, Schlacken),
- Bindemittel (Gips, Kalk, Mörtel, Zement),
- Dämmstoffe (Gesteinswolle, Glaswolle, Schaumstoffe),
- Kunststoffe (Thermoplaste, Duroplaste, Elastomere),
- Bauhilfsmittel (Dichtstoffe wie Asphalt, Bitumen, Teer, Acryl, Silikon).

Baustoffe können nach der Art ihrer Herkunft in natürliche oder künstliche Baustoffe, nach ihren chemischen Eigenschaften in organische oder anorganische Baustoffe oder bezüglich ihres Verhaltens gegen Feuer und Wärme in brennbare oder nichtbrennbare Baustoffe unterteilt werden.

Sie werden außer nach ihren Eigenschaften noch in folgende Stoffarten untergliedert:

- Gemenge,
- Lösungen,
- reine Stoffe.

Im Hinblick auf die brandschutztechnischen Eigenschaften werden Baustoffe nach verschiedenen Kriterien unterschieden:

- Brennbarkeit bzw. Brennbarkeitsgruppe,
- Ausdehnungsverhalten bei Temperatureinwirkung,
- Wärmeleit- und Temperaturleitfähigkeit,
- mechanisches und thermisches Verformungsverhalten,
- Feuerwiderstand und temperaturabhängige Reaktion auf Feuer,
- thermisches Festigkeitsverhalten.

Aus diesen verschiedenen Eigenschaften oder einer Kombination dieser Eigenschaften werden im Wesentlichen die Möglichkeiten zur Erhöhung des Feuerwiderstandes abgeleitet.

Bauteile sind aus einem oder mehreren Baustoffen gefertigte Teile einer baulichen Anlage. Die wesentlichen Bauteile eines Gebäudes sind Wände, Decken, Stützen, Treppen und Dächer.

Bauteile werden in sechs wesentliche Gruppen unterteilt:

1. **Tragende Bauteile**

Sie müssen große Lasten aufnehmen. Ihre Zerstörung hat großen Einfluss auf die Standfestigkeit einer baulichen Anlage.

2. **Aussteifende Bauteile**

Sie müssen die auf ein Bauwerk einwirkenden Horizontalkräfte aufnehmen. Decken und Wände haben oft gleichzeitig tragende und aussteifende Funktion.

3. **Raumabschließende Bauteile**
Bauteile wie Decken, Innen-, Außen- oder Trennwände können als typische raumabschließende Bauteile auch gleichzeitig tragend sein.
4. **Nichttragende Bauteile**
Bauteile wie Wände, Verkleidungen und raumbildende Einbauten, die keine tragenden oder aussteifenden Funktionen besitzen.
5. **Dekorative Bauteile**
Sie sind statisch und brandschutztechnisch ohne Bedeutung. Sind sie brennbar, können sie die Brandausbreitung begünstigen.
6. **Sonderbauteile**
So können alle Bauteile bezeichnet werden, die besondere Funktionen in einem Gebäude besitzen (Feuerschutzabschlüsse, Lüftungsleitungen, sonstige technische Anlagen).

Das Brandverhalten und der Feuerwiderstand von Bauteilen sind abhängig von der Brandbeanspruchung, vom statischen System des Bauteils, dessen Abmessungen sowie von den spezifischen Materialkennwerten der verwendeten Baustoffe und der Ausnutzung der Festigkeit in Folge von außen einwirkender Kräfte und Lasten. Das Brandverhalten kann durch eine geschickte Kombination verschiedener Baustoffe positiv beeinflusst werden. Die Anordnung von Bekleidungen in Form von Ummantelung, Putzen, Unterdecken und Vorsatzschalen kann die Feuerwiderstandsdauer positiv beeinflussen. Im Zuge der weiteren Untersuchung und Bemessung wird immer davon ausgegangen, dass eine regelgerechte und qualitätsgerechte Ausführung der Bauteile vor Ort vorliegt. Die handwerkliche Ausbildung der Anschlüsse, Auflagerpunkte, Befestigungen und Verbindungsmittel wird in einem späteren Kapitel bei der Erfassung der Bauteile vor Ort im Detail behandelt.

Baustoffe werden nach deutscher Normung (DIN 4102) in verschiedene Baustoffklassen unterteilt. Die Baustoffe untergliedern sich dabei in nichtbrennbare und brennbare Baustoffe.

Tabelle 2: Baustoffklassen nach DIN 4102-1:1998-05

Baustoffklasse	Bauaufsichtliche Benennung
A A 1 A 2	nichtbrennbare Baustoffe
B B 1 B 2 B 3	brennbare Baustoffe schwer entflammbare Baustoffe normal entflammbare Baustoffe leicht entflammbare Baustoffe

„Die Kurzzeichen und Benennungen dürfen nur dann verwendet werden, wenn das Brandverhalten auf der Grundlage dieser Norm ermittelt worden ist.“

(DIN 4102 Teil 1, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, 1998-05, S. 3)

Baustoffe der Baustoffklasse B 3 sind generell im Bauwesen nicht zugelassen.

Die Feuerwiderstandsklassen, nach denen die Anforderungen an die Bauteile definiert werden, sind ebenfalls in der DIN 4102 zu finden.

Tabelle 3: Feuerwiderstandsklassen in Anlehnung an die DIN 4102-2:1977-09 (Quelle: DIN 4102 Teil 2, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, 1997-09, S. 3)

Feuerwiderstands- klasse	Feuerwiderstandsdauer in Min.	Beschreibung
F 30	≥ 30	feuerhemmend
F 60	≥ 60	hochfeuerhemmend
F 90	≥ 90	feuerbeständig
F 120	≥ 120	hochfeuerbeständig
F 180	≥ 180	höchstfeuerbeständig

Im Rahmen des geregelten Bauordnungsrechts sind nur die ersten drei Feuerwiderstandsklassen in das Baurecht übernommen. Die Feuerwiderstandsklassen F 120 und F 180 spielen in der Regel im Baurecht keine Rolle.

Die versicherungstechnischen Angaben und Anforderungen können diese Feuerwiderstandsklassen jedoch ohne Weiteres im Bereich von Sonderbauten fordern.

1.1.2 Auslegung und Bemessung nach Einheitstemperaturzeitkurve

Die Prüf- und Bewertungsgrundlage für die brandschutztechnische Bewertung von Bauteilen wird im europäischen Raum nach der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) festgelegt. Sie stellt die Basis für zahlreiche Prüfverfahren für Bauteile dar, die in der grundlegenden Norm für den vorbeugenden Brandschutz in Deutschland enthalten sind. Die Prüfverfahren sind in der DIN 4102 in den Teilen 2, 3, 5, 6, 9, 11 genauer erläutert. Im Teil 2 der DIN 4102, Ausgabe September 1977, wird die Einheitstemperaturzeitkurve mathematisch beschrieben.

$$\theta - \theta_0 = 345 \lg(8t + 1)$$

Gleichung 1: Berechnung der Einheitstemperaturzeitkurve

θ Brandraumtemperatur in Kelvin

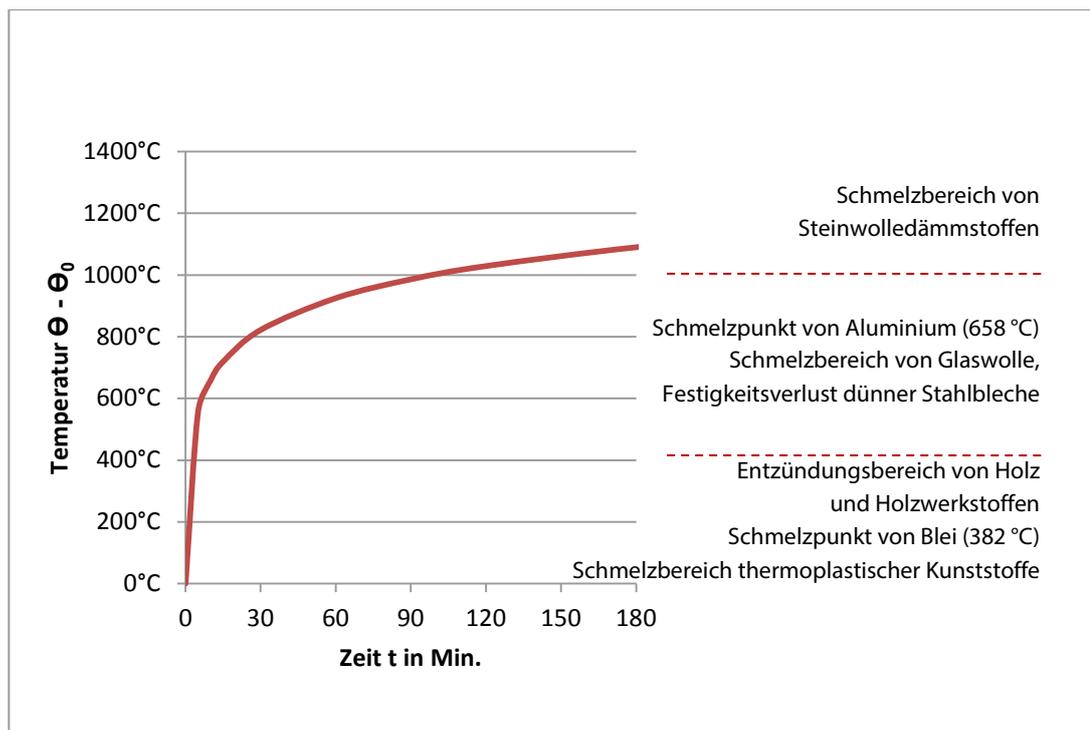
θ_0 Temperatur der Probekörper bei Versuchsbeginn in Kelvin

t Zeit in Min.

Die Brandraumtemperatur steigt zu Beginn der Brandentwicklung sehr schnell. Nach den ersten 5 Min. steigt sie zwar weiter, jedoch in wesentlich geringerer Geschwindigkeit. In Tabelle 4 wird die Entwicklung der Brandraumtemperatur in den ersten 120 Min. eines Vollbrandes gezeigt.

Tabelle 4: Bemessungswerte der Einheitstemperaturzeitkurve (nach: DIN Taschenbuch 120, Brandschutzmaßnahmen, 1994, S. 20)

Zeit t in Min.	Temperatur im Brandraum
0	0 °C
5	556 °C
10	658 °C
15	719 °C
30	822 °C
60	925 °C
90	986 °C
120	1.029 °C

**Abb. 4:** Einheitstemperaturzeitkurve nach DIN 4102 Teil 2

Ermittelt man rein mathematisch betrachtet die Fläche unter der Einheitstemperaturzeitkurve, so erhält man die freigesetzte Wärmemenge bis zum Zeitpunkt t . Die Berechnung wird mit Integralrechnung durchgeführt.

1.1.3 Auslegung und Bemessung nach Naturbrandkurven

Die Prüf- und Bewertungsgrundlage für die brandschutztechnische Bewertung nach Naturbrandkurven ist aktuell nur unter besonderen Nachweisen zulässig.

Die Erfahrungen und individuellen Berechnungen in der Planung und Ausführung von Sonderbauten, insbesondere im Bereich der Industrie, haben auf Grundlage von Brandlastberechnungen nach DIN 18230 zu Erfahrungswerten im Bereich der Individualbemessung geführt. Naturbrandkurven bilden den Verlauf eines Brandes unter sehr speziellen, nicht genormten Parametern ab. Im Vergleich zur Einheitstemperaturzeitkurve können

Naturbrandkurven einen Verlauf mit schneller ansteigenden Temperaturen, aber auch einen Verlauf mit deutlich niedrigeren Temperaturen oder einen langsameren Brandverlauf besitzen. Die Bemessung nach Einheitstemperaturzeitkurve geht davon aus, dass die vorhandene Brandlast nie aufgebraucht ist und ein Feuer sich daher kontinuierlich ausbreiten und erhalten kann.

Eine Naturbrandkurve zeigt einen Brandverlauf, der speziell auf den Materialeigenschaften oder dem örtlich vorliegenden Szenario basiert.

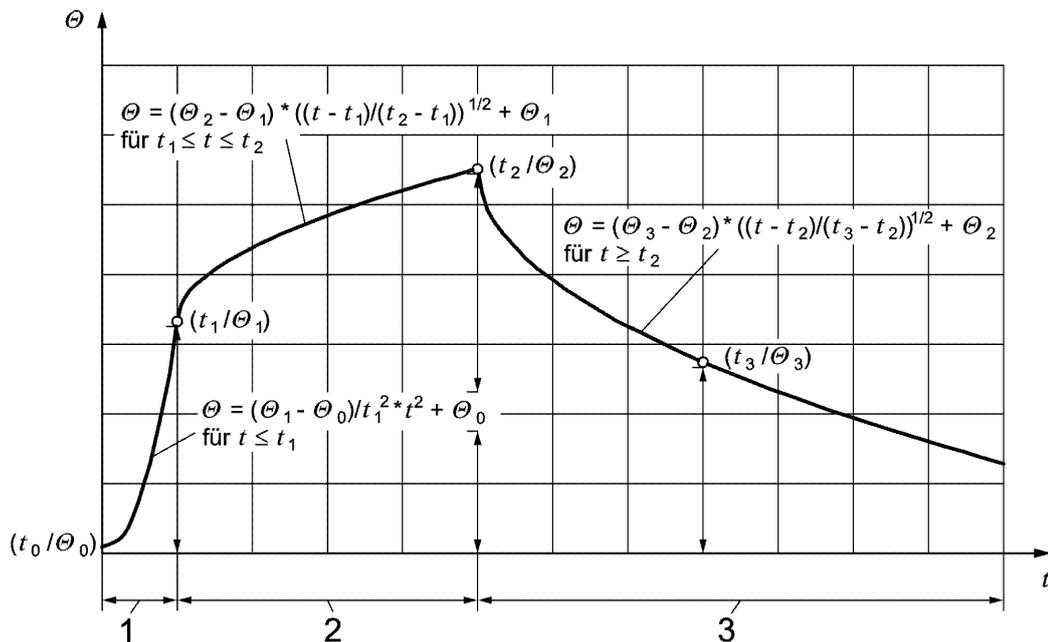


Abb. 5: Naturbrandkurve mit Berechnungsparametern (Quelle: DIN EN 1991 Teil 1-2, Einwirkungen auf Tragwerke, Allgemeine Regeln – Brandeinwirkungen auf Tragwerke, 2010-12, S. 11)

1.1.4 Auslegung und Bemessung nach weiteren Bemessungskurven

Die Prüf- und Bemessungsgrundlage für die brandschutztechnische Bewertung kann auch nach weiteren Bemessungskurven erfolgen. Diese bedürfen jedoch immer einer besonderen Vereinbarung mit der zuständigen Bauaufsichts- und/oder Prüfbehörde, da sie für die Bemessung bauaufsichtlich noch nicht verbindlich eingeführt sind.

Die Bemessungskurven veranschaulichen jeweils ein spezielles Brandszenario.

Die Hydrocarbon-Kurve wird für Brandereignisse zugrunde gelegt, bei denen Stoffe beteiligt sind, die sehr schnell eine hohe Energiefreisetzung und damit verbunden einen hohen Temperaturanstieg haben (z.B. Öle und Kunststoffe).

Weitere Kurven bilden die speziellen Brandverläufe bei Schwelbränden, Tunnelbränden und weiteren Szenarien ab. Sie sind jedoch nicht für Mischbrandlasten, wie sie im klassischen Hochbau vorhanden sind, anzuwenden.

Die Abb. 6 zeigt verschiedene Bemessungskurven mit ihren spezifischen Verläufen im Vergleich zur Einheitstemperaturzeitkurve.

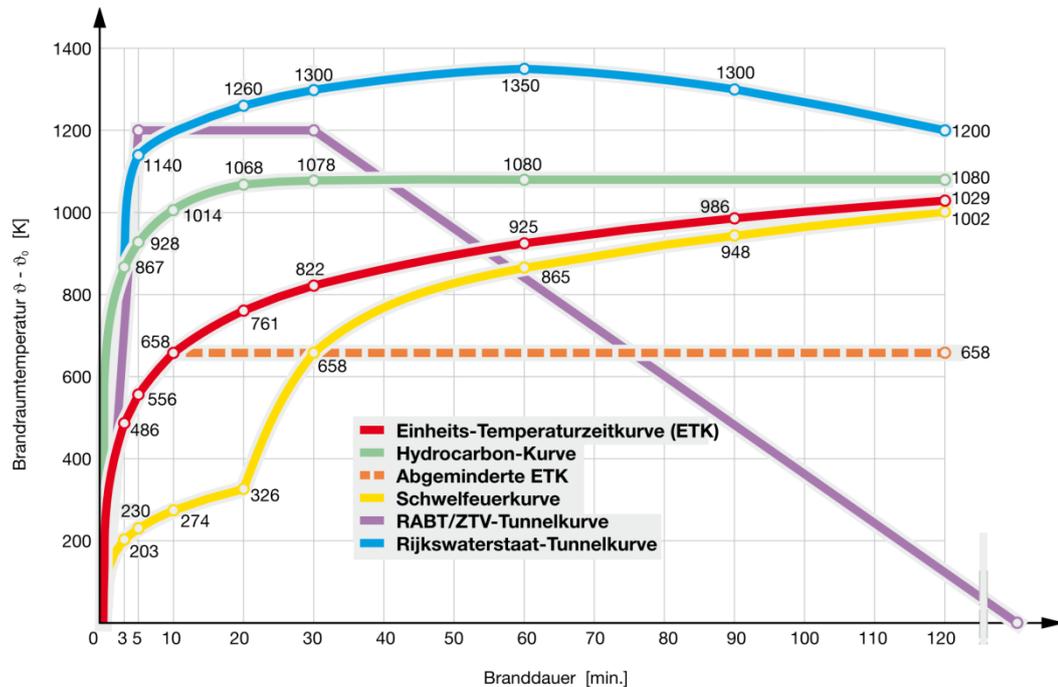


Abb. 6: Kurvendarstellung von Brandverläufen von verschiedenen Brandmodellen (Quelle: Promat-Handbuch, Bautechnischer Brandschutz, A5, S. 228; mit freundlicher Genehmigung der Promat GmbH.)

1.1.5 Kritische Temperaturen von üblichen verwendeten Baustoffen

Für die Bewertung der Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen ist es wichtig, die kritischen Temperaturen von üblichen verwendeten Baustoffen zu kennen.

Prinzipiell muss hier nach den verschiedenen Arten der Temperatur unterschieden werden.

Erweichungstemperatur:

„Temperatur, bei der ein fester Stoff in sich zusammensinken beginnt. [...] Kristalline Stoffe gehen am Schmelzpunkt aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand über. Amorphe Stoffe (z.B. Glas, Plaste) erweichen, bevor sie den flüssigen oder einen flüssigkeitsähnlichen Zustand erreichen.“ (Steinleitner, Brandschutz- und sicherheitstechnische Kennwerte gefährlicher Stoffe, Band 1, 2013, S. 7)

Schmelzpunkt:

„Temperatur, bei der ein Stoff aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand übergeht.“ (Steinleitner, Brandschutz- und sicherheitstechnische Kennwerte gefährlicher Stoffe, Band 1, 2013, S. 13) Der Schmelzpunkt bezieht sich auf einen normalen Umgebungsdruck.

Entflammungstemperatur, Flammpunkt:

„Niedrigste Temperatur eines brennbaren festen Stoffes, bei der er sich mit einer solchen Geschwindigkeit zersetzt, dass die gebildeten brennbaren Pyrolysegase in der Luftschicht unmittelbar über dem festen Stoff die untere Zündgrenze erreichen und deshalb durch eine Zündquelle entflammt werden können.“ (Steinleitner, Brandschutz- und sicherheitstechnische Kennwerte gefährlicher Stoffe, Band 1, 2013, S. 7)

Zündtemperatur:

„Niedrigste Temperatur der Stoffe, bei der in einem Gerät vorgeschriebener Bauart unter vorgeschriebenen Prüfbedingungen und in Luft als Oxidationsmittel beim Erwärmen die exothermen Redoxreaktionen mit so hoher Geschwindigkeit ablaufen, dass es zu einer Zündung kommt.“ (Steinleitner, Brandschutz- und sicherheitstechnische Kennwerte gefährlicher Stoffe, Band 1, 2013, S. 15)

In baulichen Anlagen und Gebäuden werden verschiedene Baustoffe verwendet. Die nachfolgende Tabelle 5 zeigt die Zündtemperaturen und ggf. die Flammpunkte einiger gebräuchlicher Stoffe.

Tabelle 5: Temperaturen von Feststoffen für die Brandentwicklung (vgl. Steinleitner, Brandschutz- und sicherheitstechnische Kennwerte gefährlicher Stoffe, Band 1, 2013)

Temperaturen von Feststoffen in °C				
Stoff	Erweichungs- temperatur	Schmelzpunkt	Flammpunkt	Zünd- temperatur
Baumwolle			ca. 250-300	450
Fichtenholz				280
Holz allgemein				280–340
Holzkohle				300–350
Kohle				240–280
Kork				300–320
Kunststoffe	ca. 80–150			200–300
Stahl (Baustahl)	ca. 723	ca. 900-1500		
Stroh				250–300
Torf				230
Zeitungspapier				175

Die Zuordnung der einzelnen Temperaturen ist abhängig von den Stoffdaten, Luftdruck, Feuchtigkeit des Stoffes oder der Menge an verfügbarem Sauerstoff.

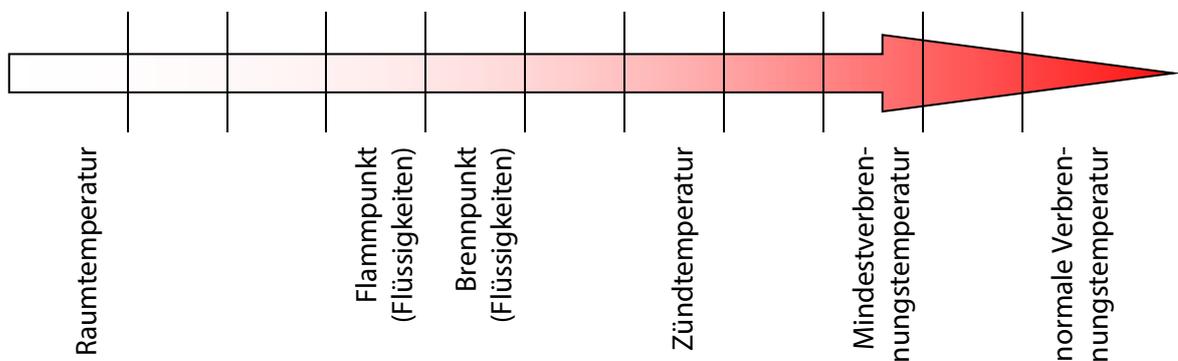


Abb. 7: Temperaturverlauf bei der Brandentwicklung

1.1.6 Brandrisiko und die Einflussfaktoren

Das Risiko einer Brandentstehung resultiert aus vielen Einflussfaktoren und Randbedingungen. Generell kann man ein Risiko als Summierung der risikosteigernden Faktoren unter Bewertung der risiko- oder schadensmindernden Faktoren beschreiben. Ein Risiko kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nicht ausgeschlossen werden. Es kann aber abgemindert und bis auf ein vertretbares Minimum reduziert werden. Ist keine Abminderung möglich, um auf ein vertretbares Maß zu gelangen, so sind weitere Faktoren zu prüfen und die grundlegenden Parameter anzupassen.

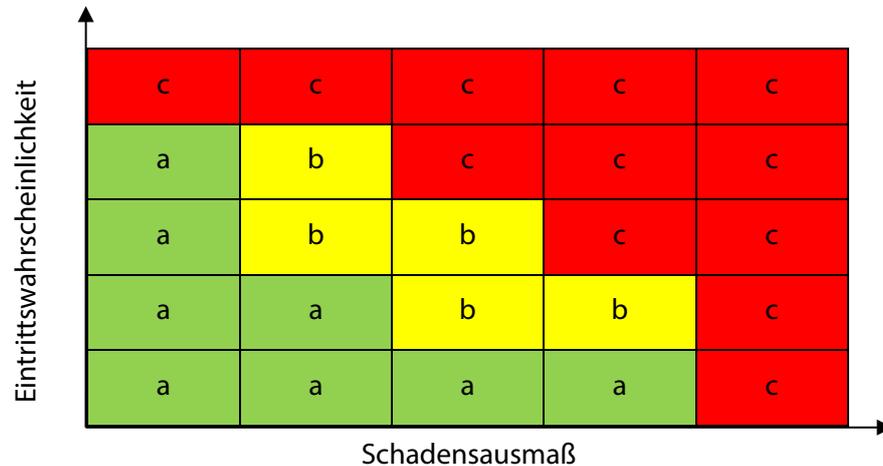


Abb. 8: Risikomatrix Leitfaden Ingenieurmethoden (nach: Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB) der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), 2013, S. 23)

Aus der Beurteilung eines Risikos, unter Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit, ergeben sich somit verschiedene Bereiche der Risikoeinstufung:

- a) Akzeptierbares oder vernachlässigbares Risiko (grün),
- b) mit Auflagen akzeptierbares Risiko (gelb),
- c) nicht akzeptierbares Risiko (rot).

Das Bauordnungsrecht ist für Regelbauten so aufgebaut, dass man sich im „grünen Bereich“, also im Bereich eines akzeptablen oder vernachlässigbaren Risikos befindet. Für Sonderbauten sind die baurechtlichen Grundlagen angepasst und enthalten zum Teil Erleichterungen, zum anderen Teil aber auch deutlich höhere Anforderungen gegenüber einem Regelbaukörper nach Bauordnung.

Generell kann man ein Ablaufschema für die Bewertung von Risiken zugrunde legen.

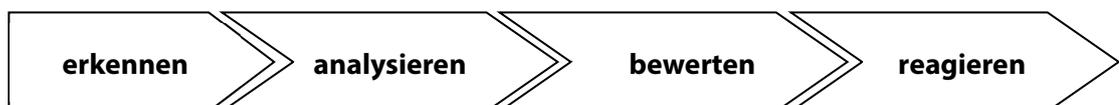


Abb. 9: Schema zum Ablauf einer strukturierten Risikobewertung

In der Literatur sind zahlreiche verschiedene Methoden zur Abschätzung des Risikos vorhanden. Die nachfolgenden Parameter und Abschätzungen beziehen sich speziell auf die Bewertung einer Deckenkonstruktion, ihrer Ausführung und der beeinflussenden Faktoren.

Die Bewertungsfaktoren beziehen sich dabei auf eine Deckenkonstruktion mit Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer. Die Faktoren berücksichtigen zum Teil bauliche Besonderheiten, wie Unterdecken oder Durchdringungen durch Bauteile. Neben der technischen Bewertung des Brandrisikos spielen auch weitere Faktoren eine Rolle, die zur Gesamteinschätzung des Brandrisikos eines Gebäudes führen.

- A) Faktoren der Brandentstehung:
 - a) Zündquellen,
 - b) Brandlasten,
 - c) Brandverhalten.

- B) Faktoren der Umgebung:
 - d) Anzahl der Personen,
 - e) Flucht- und Rettungswege,
 - f) Brandausbreitung,
 - g) Gebäudeklasse,
 - h) Durchdringungen einer Decke.

- C) Faktoren der Schadensvermeidung:
 - i) Brandfrüherkennung,
 - j) Feuerwiderstandsklasse der Bauteile,
 - k) vorhandene Löschmaßnahmen.

A) Gefahr der Entstehung von Brand und Verrauchung			
Beurteilungspunkt	Bewertung	Punkte	Beispiel
Vorhandene Zündquellen [ZQ]	Es sind keine Zündquellen vorhanden.	ZQ = 1	Es befinden sich keine Zündquellen in der Decke als tragende Konstruktionen eingebaut.
	Wenige Zündquellen sind vorhanden, Fehlerfall möglich.	ZQ = 4	Es sind elektrische Betriebsmittel ohne heiße Oberflächen in einer Decke ohne Hohlräume eingebaut, bis max. 7 kWh/m ² nach DIN 4102.
	Überdurchschnittlich viele Zündquellen vorhanden, Fehlerfall leicht möglich.	ZQ = 6	Es sind elektrische Betriebsmittel mit heißen Oberflächen in einer Decke eingebaut oder > 7 kWh/m ² nach DIN 4102.
	Erhebliche Zündquellen sind im Betrieb vorhanden.	ZQ = 8	Wärmestau oder elektrische Betriebsmittel mit heißen Oberflächen sind in Decken mit Hohlräumen in der Konstruktion eingebaut.
Größe der Brandlast [BL] der Konstruktion	Geringes Risiko	BL = 1	Tragende Deckenkonstruktion aus nichtbrennbaren Baustoffen (Beton, Ziegel, ...)
	Durchschnittliches Risiko	BL = 3	Tragende Deckenkonstruktion aus nichtbrennbaren, temperaturkritischen Baustoffen (Stahl, ...)
	Durchschnittliches Risiko	BL = 3	Tragende Konstruktion aus brennbaren Baustoffen mit geschlossener, geschützter Unterseite (Holz)
	Hohes Risiko	BL = 5	Tragende Konstruktion brennbarer Baustoffe mit kritischem Temperaturverhalten und ungeschützter Brandbeanspruchung
Brandverhalten [BV]	Geringes Risiko	BV = 1	Decke aus nichtbrennbaren Baustoffen nach DIN 4102 (Beton, Ziegel, ...) jedoch nicht aus Stahl
	Durchschnittliches Risiko	BV = 2	Überwiegend schwer entflammbar nach DIN 4102 bzw. EN 13 501
	Hohes Risiko	BV = 3	Kritische Werkstoffe oder Kombinationen (ungeschützter Stahl oder Holz)

B) Umgebungsfaktoren			
Beurteilungspunkt	Bewertung	Punkte	Beispiel
Anzahl der Personen im Raum [PE]	Weniger als 6 Personen	PE = 1,0	Wohnungsbau
	6 bis 12 Personen	PE = 1,5	Kleine Büroeinheiten und Arztpraxen, Kanzleien, ...
	12 bis 50 Personen	PE = 1,7	Größere Büros und Verwaltungseinheiten bis 400 m ² und ähnliche Nutzungen
	12 bis 50 Personen	PE = 1,8	Räume der Beherbergung und gastronomischen Bewirtschaftung
	12 bis 50 Personen	PE = 2,5	Bereiche mit Personen mit eingeschränkter Bewegungsfähigkeit (Senioren, Krankenhaus, ...)
Flucht- und Rettungswege [RW]	Geringes Risiko	RW = 0,95	Sehr gute Evakuierungsmöglichkeiten, mehrere Türen direkt ins Freie (mehr als bauordnungsrechtlich gefordert)
	Durchschnittliches Risiko	RW = 1,00	Ausreichend vorhanden und gekennzeichnet, entsprechend den rechtlichen Vorgaben dimensioniert
	Hohes Risiko	RW = 1,05	Ausgänge nach bauordnungsrechtlichen Anforderungen, jedoch lange oder unübersichtliche Wege
Brandausbreitung innerhalb der Konstruktion [BA]	Geringes Risiko	BA = 1,00	Keine Unterdecke oder keine Brandausbreitung innerhalb der Deckenkonstruktion möglich
	Durchschnittliches Risiko	BA = 1,10	Brandausbreitung zwischen klassifizierter Decke und nicht klassifizierter Unterdecke möglich
	Hohes Risiko	BA = 1,50	Brandausbreitung zwischen klassifizierter Decke und klassifizierter Unterdecke möglich
Gebäudeklasse nach Bauordnung [GK]	Geringes Risiko	GK = 0,95	Gebäudeklasse 1
	Geringes Risiko	GK = 1,00	Gebäudeklasse 2
	Durchschnittliches Risiko	GK = 1,50	Gebäudeklasse 3
	Höheres Risiko	GK = 2,00	Gebäudeklasse 4
	Hohes Risiko	GK = 2,50	Gebäudeklasse 5
Durchdringungen der Decke [DD]	Geringes Risiko	DD = 1,0	Keine Durchdringungen oder ordnungsgemäß durchgeführte Leitungen nach MLAR und MLüAR vorhanden
	Durchschnittliches Risiko	DD = 1,50	Durchdringungen vorhanden, Ausführung nicht prüfbar
	Hohes Risiko	DD = 2,50	Durchdringungen ohne qualifizierten Deckendurchgang vorhanden