

HAWK - HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFT UND KUNST

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

Baukonstruktion und Bauphysik in der Fakultät Bauwesen Hildesheim

**Vorlesungsskripte zur Bauphysik
Bachelorstudium**

Brandschutz

Inhaltsverzeichnis

1	Zweck des Brandschutzes	3
1.1	Einführung.....	3
1.2	Brandschutzmaßnahmen.....	4
2	Der Brandverlauf	4
2.1	Übersicht.....	4
2.2	Phasenverlauf eines Brandes.....	5
2.3	Arten von Bränden.....	6
2.4	Auswirkung von Bränden.....	7
2.4.1	Ausbreitung in Nachbarräume.....	8
2.4.2	Temperaturwirkungen.....	8
2.4.3	Verbrennungswärme (Vw).....	9
3	Brennbarkeit und Feuerwiderstand	9
3.1	Vorschriften.....	9
3.1.1	Landesbauordnung (LBauO).....	9
3.1.2	Übersicht und Auszug aus Musterbauordnung des Bundes; 20.Juli. 1990.....	10
3.1.3	Normen.....	11
3.1.4	Teile der DIN 4102.....	12
3.1.5	DIN 18 230: Baulicher Brandschutz im Industriebau.....	12
3.2	Brennbarkeit, Feuerwiderstand und Brandstoffklassen.....	13
3.2.1	Baustoffe nach DIN 4102.....	13
3.2.2	Brennbarkeit von Baustoffen:.....	13
3.2.3	Normbrand.....	14
3.3	Feuerwiderstandsklassen bei Bauteilen:.....	16
3.3.1	Abbruchkriterium für Brandversuch an raumabschließenden Bauteilen.....	16
3.3.2	Bauaufsichtliche Bezeichnung der Feuerwiderstandsklassen:.....	16
4	Brandverhalten verschiedener Bauprodukte	19
4.1	Bauteile verschiedener Gebäudearten.....	19
4.2	Konstruktionsteile.....	19
4.2.1	Mauerwerk.....	19
4.2.2	Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen.....	20
4.2.3	Beton und Stahlbeton.....	22
4.2.4	Stahl.....	25
4.2.5	Fenster, Verglasungen.....	27
4.2.6	Brandwände.....	27
4.2.7	Feuerschutzabschlüsse.....	28
5	Brandschutzkonzepte und Brandschutzmaßnahmen	29
5.1	Brandschutzkonzepte.....	29
5.2	Brandschutzmaßnahmen.....	30
5.3	Brandschutz auf der Baustelle.....	33
6	Entstehung und Ablauf eines Brandes	33
6.1	Entstehung eines Brandes.....	33
6.2	Ablauf eines Brandes (grundsätzlich drei Phasen):.....	33
7	Brandbelastung	34
7.1	Brandlast.....	34

7.2	Brandlast auf Teilflächen.....	35
8	Brandmodelle	36
8.1	Gebäude	36
8.2	Brandsimulationsmodelle	36
8.3	Zweck der Modellbildung	37
8.4	Anforderungen an Modelle.....	37
8.5	Was ist für die Praxis erforderlich?	37
8.6	Abbrandmodelle → Abbrandfaktor m	37
8.7	Sprinklerparameter	38
8.8	Brandsimulation	38
8.8.1	Unterschiede für Berechnung der Massenströme.....	38
8.8.2	Aussagen für die praktische Anwendung	38
8.8.3	Grenzen für die Anwendbarkeit von Brandsimulationsmodellen	39

1 Zweck des Brandschutzes

1.1 Einführung

- Lebenserfahrung:

Alles was brennbar ist, hat auch schon gebrannt und wird wieder brennen, nach einer Statistik in 12 europäischen Staaten zwischen 1970 – 1975 folgende Kosten:

- durch Brände entstehen globale Kosten von ca. 1 % des Bruttosozialproduktes
- bei einem derzeitigen BSP in Deutschland: etwa 30 Milliarden DM/Jahr

Aufteilung (ohne Transport- und Kfz Brände):

- | | | |
|--|------|--|
| ▪ direkte Kosten (Sachschäden) | 30 % | = 9 Milliarden DM (= 110 DM/Einwohner) |
| ▪ vorbeugender Brandschutz (Bau) | 30 % | = 9 Milliarden DM |
| ▪ Feuerwehr | 15 % | = 4,5 Milliarden DM |
| ▪ Versicherung (Verwaltung) | 15 % | = 4,5 Milliarden DM |
| ▪ indirekte Kosten (Betriebsunterbrechung) | 5 % | = 1,5 Milliarden DM |
| ▪ Menschenleben | 5 % | = 1,5 Milliarden DM |
| ▪ Forschung und Information | | wenige Millionen |

(dabei sind nicht versicherte Schäden unberücksichtigt, weil nur abschätzbar)

Personenschäden

- ca. 700-800 Tote, davon ca. 600 Tote im Wohnbereich

Anzahl der Brände:

- etwa 1 mal pro Einwohner und Tag in Europa
- in Asien 1/3, in USA 3 mal so oft
- in Europa also: 810 Brände am Tag, 300 000 Brände im Jahr

Brandschutz:

- Schutz von Leben und Gesundheit,
- Schutz der Sachwerte der Nachbarn und des Eigentums

Bauingenieure und Stahlbauer müssen Kenntnis besitzen:

- geltende Gesetze und Bestimmungen
- bauliche Umsetzung bei der Planung und Ausführung

1.2 Brandschutzmaßnahmen

Brandschutzmaßnahmen können grundsätzlich in 2 Hauptgruppen unterteilt werden:

- A: Verbeugender, baulicher Brandschutz (bauliche, betriebliche Maßnahmen)
- B: Abwehrender Brandschutz (Rettungsmaßnahmen, Löschen usw.)

Die beiden Maßnahmen haben das Ziel:

1. Personenschutz:

- Schutz der Insassen des Brandobjektes und des Rettungspersonals
- hinreichende Tragfähigkeit der Gebäude(-teile): Feuerwiderstand, kein Einsturz

2. Sachschutz:

- umfasst sowohl das Vermögen der Nachbarschaft als auch eigenes Vermögen
- bei der Planung von Bauwerken: Verhinderung von Brandausdehnung durch widerstandsfähige Wände und Decken
- nach dem Brand: Restauration beschädigter, nicht funktionsfähiger Bauteile

Inhalt der Vorlesung:

- nicht der abwehrende Brandschutz, d.h. in der Regel die Arbeit der Feuerwehr,
- sondern der bauliche Brandschutz, als ein Teil des vorbeugenden Brandschutzes.

2 Der Brandverlauf

2.1 Übersicht

Startbedingung:

- brennbarer Stoff plus Sauerstoff plus Zündenergie treffen zusammen

Risiko für Brandentstehung ist abhängig von:

- Art und Menge der möglichen Zündquellen
- örtliche Gegebenheit bzgl. Wärmetransport
- Vorhandensein von Sauerstoff
- Art und Lagerung der brennbaren Stoffe (Brandlast)

Entzündungsmöglichkeit brennbarer Stoffe muss immer unterstellt werden. Alles was brennbar ist hat schon einmal gebrannt und wird auch wieder brennen. (D.h. Brände sind statistische Ereignisse, quasi wie Wind und Wetter)

Unterscheidung in:

- Entstehungsbrand
- Fortentwickelter Brand
- Vollbrand

Vorgang der Selbstentzündung:

- Oxydation erzeugt Wärme
- Temperatursteigerung und Wärmestau beschleunigen die Oxydation
- Steigerung bis zum Brennen

Parallelerscheinungen eines Brandes:

- Flammen und Flammstrahlung
- hohe Temperaturen (Strahlung und Konvektion); Beanspruchung der Bauteile, Wärmeleitung
- Raumentwicklung (toxische Brandgase, O₂-Mangel im Raum, Sichtbehinderung)
- brennendes Abtropfen
- korrosive Auswirkungen der entstandenen Gase (Konstruktionsreste, Sanierung)
- Umweltbelastung

2.2 Phasenverlauf eines Brandes

Temperaturentwicklung eines Brandes zeigt charakteristischen Phasenverlauf

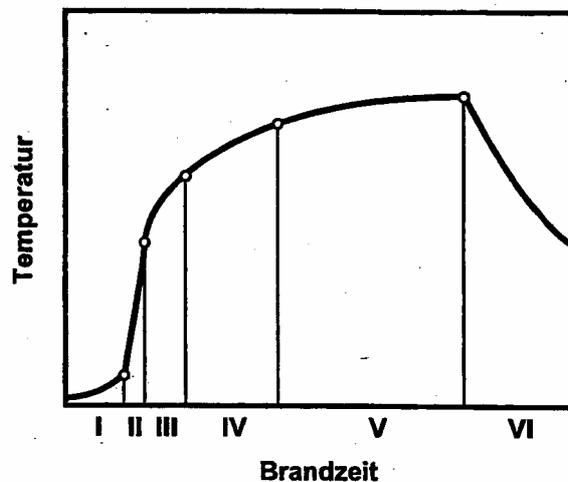


Bild 2-1 Schematisierte Darstellung der Brandphasen: Brandtemperatur über die Brandzeit

- I: Brandentstehung (Zündung)
- II: Ausbreitung im Raum (flash-over)
- III: Volle Entwicklung im Raum/Abschnitt
- IV: Brandübersprung (Etage zu Etage, Gebäude zu Gebäude)
- V: Flächenbrand
- VI: Abklingen

Brandphasen

I. Brandentstehung:

- Ein Stoff wird gezündet.

II: Brandentwicklung:

- Ausbreitung der Feuerflammen
- Anstieg der Raumlufitemperatur infolge freiwerdender Wärme
- Feuerübersprung (flash-over) auf die gesamte Brandlast des Raumes, d.h. die gesamten brennbaren Gegenstände des Raumes werden gezündet

III. Vollbrand:

- Ausdehnung des Brandes über die Raumschließungsflächen hinaus

IV. Brandübersprung:

- Das Feuer verlässt die Grenzen des Brandraumes und greift infolge Konvektion und Strahlung die benachbarten Räume und Gebäude an

II. Flächenbrand:

- der Brand hat sich über weite Flächen ausgebreitet

VI. Abklingen:

- Brand klingt allmählich ab, wenn das brennende Material nicht mehr ausreicht, die Brandtemperatur zu steigern oder sie zu halten.

Verlauf eines Brandes wird beeinflusst durch:

- die Brandlast (Verbrennungswärme, Holzgleichwert), d.h. Menge und Art des brennbaren Materials deren Verteilung im Raum
- Konzentration und Lagerungsdichte der Brandlast
- den Brandraum (Geometrie, Unterteilung, Form)
- Umschließungsflächen des Raumes thermische Eigenschaften der Bauteile, die den Brandraum umschließen (Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität)
- Lüftungsverhältnisse (Sauerstoffzufuhr, Ventilationsbedingungen)
- Löschmaßnahmen

2.3 Arten von Bränden

Man unterscheidet:

1. ventilationsgesteuerter Brand
2. brandlastgesteuerter Brand

1. ventilationsgesteuerter Brand

- Restsauerstoffmenge tritt hier nicht auf
- gesamter zugesteuerter Sauerstoff wird verbraucht
mehr Rauch, viel CO, reaktionsfreudiges Gemisch, das dann in einem anderen Raum weiterbrennen kann
- Luftmangel
- Ablauf wird durch die verfügbare Luftmenge geregelt
- die Menge der brennbaren Stoffe spielt eine geringe Rolle
→ Langsamer Abbrand
→ Lange Branddauer

Bsp.: Keller- oder Bunkerbrände

Bei kleinen Räumen (wenig Sauerstoff im Raum) kann geschlossenes Fenster zum Erlöschen des Brandes führen, bevor hohe Temperaturen (Verlust des Raumabschlusses) erreicht werden; bei großen Räumen ist geschlossenes Fenster unerheblich, da genug Sauerstoff vorhanden ist um große Temperaturen zu entwickeln)

2. brandlastgesteuerter Brand

- ausreichend Zuluft
 - Ablauf wird durch Art, Menge und Verteilung der brennbaren Stoffe bestimmt
 - schnellerer Abbrand
 - kürzere Branddauer
- Bsp.: Brände im Freien

Für (kleine) Räume gilt:

- zuerst brandlastgesteuert (genug Sauerstoff)
- Sauerstoff wird knapp \Rightarrow ventilationsgesteuert
- bei späteren Luftzutritt (d.h. Fenster zerspringen, Feuerwehr öffnet Tür): wieder brandlastgesteuert

2.4 Auswirkung von Bränden

Verbrennung/Vorgänge

- Pyrolyse = Abbau einer Substanz durch Erhitzen unter Luftabsetzung (Überführung des Brandguts in gasförmige Phase) = thermische Zersetzung chemischer Verbindungen
- Sauerstoffreduktion (Energiefreisetzung)
 - \rightarrow freiwerdende Energie
 - \rightarrow Produktion von Rauchgasen (CO_2 , H_2O , CO , C_nH_m , SO_2 , HCl) abhängig von der Art der Brandlast und den Ventilationsbedingungen
- ggf. Nachverbrennung in der Umgebung (falls zu wenig O_2 für eine vollständige Verbrennung zur Verfügung stand); in der Abluft befinden sich brennbare Bestandteile, die dann bei Luftzutritt verbrennen können:
 - Brand nur lokal vor Öffnung
 - nur in Vollbrandphase
 - schnelle Verbrennung: Explosion, Verpuffung, Detonation

Rauchgase

Kriterien sind:

- Temperatur (Konvektion, Strahlung)
- Toxizität
 - Anteil der Stoffe
 - Einwirkdauer
- Sichtbehinderung
 - Art der Verbrennung
 - Anteil der Stoffe (Anteil Frischluft) (stöchiometrische Verbrennung = es ist genug Sauerstoff vorhanden)

Umweltbelastung

- Toxizität des Rauchgases (Brandgase): Personen und Umweltgefährdung
 - Hauptbestandteile: Kohlenmonoxid, CO_2 , Chlorwasserstoff, Schwefeldioxid
 - Dioxine, Furane (PVC-Kabel mit Kupfer); unvollständige Verbrennung von Kunststoffen bei Temperaturen von 200 - 800 °C
- Kontamination des Löschwassers, daher erforderlich: Löschwasserrückhaltung
- Brandrückstände

- Chloride bei Verbrennung von PVC; aus Cl-Gas + Löschwasser (Korrosion von Stahl), da Chloride in die Betonkonstruktion dringen
- Dioxine
- kontaminierter Brandschutt (Sondermüll)

2.4.1 Ausbreitung in Nachbarräume

Ausbreitungswege:

- über Türen in Flure (definiert als Fluchtwege) und Nachbarräume
- über Fenster in darüber liegende Geschosse
- über Lüftungsleitungen und Kanäle, elektrische Leitungen
- über Wände und Decken bei Verlust des Raumabschlusses
- über Dachflächen auf angrenzende Bereiche

generell gilt zu bedenken:

- Ausbreitung über Flure in der Regel langsamer als anders, d.h. Ausbreitung horizontal langsamer als vertikal
- über dem Feuer liegende Räume sind stärker gefährdet als darunter liegende

Ausbreitung auf Nachbargebäude

- über Fenster auf gegenüberliegende Gebäude
- über Dachflächen auf angrenzende Gebäude
- über Funkenflug auf Nachbargebäude
- über Wände in angrenzende Gebäude

Wärmeausbreitung

- Wärmemitführung (Konvektion)
 - Transport von Wärme mittels bewegter Gase
 - Kontakt
 - Strömungsmechanik
- Wärmestrahlung
 - Wärmetransport durch elektromagnetische Wellen
 - ohne Kontakt
 - starke Abnahme mit zunehmender Entfernung
 - starke Zunahme bei Temperaturerhöhung
- Wärmeleitung
 - Wärmeausbreitung in einem materiellen Träger

2.4.2 Temperaturwirkungen

- Bauteile
 - Tragfähigkeit und mechanische Eigenschaften werden ungünstig verändert
 - Erhitzung durch Strahlung und Konvektion
 - Verlust der raumabschließenden Wirkung
 - Verlust der Tragfähigkeit
- Menschen
 - Hitze:

- Verbrennungen durch Konvektion und Strahlung
- Behinderung der Flucht und Rettung sowie Brandbekämpfung

Temperaturen hängen ab von:

- Brandlast und Zuluftverhältnissen
- Wärmeabzug durch Öffnungsflächen
- thermische Eigenschaften der Umfassungsbauteile

2.4.3 Verbrennungswärme (Vw)

Beispiele	Vw in kWh/kg	Beispiele	Vw in kWh/kg	Beispiele	Vw in kWh/kg	Vw in kWh/m ³
Feste Stoffe		Flüssige Stoffe		Gasförmige Stoffe		
Holz	4,8	Alkohol	7,8	Acetylen	14,0	16,3
Braunkohle	5,8	Benzol	11,5	Butan	13,1	35,0
Steinkohle	8,4	Dieselöl	12,2	Methan	10,2	20,0
Magnesium	7,2	Benzin	12,0	Kohlendioxid	3,6	7,1
Phosphor	7,2	Heizöl	12,5	Propan	13,3	26,8
Polyäthylen	12,2	Pentan	12,7	Stadtgas	9,0	4,6
Polystyrol	11,0	Oktan	13,1	Wasserstoff	34,3	3,1
PVC	6,0					
Schwefel	3,5					
Stearin	11,3					

Tab. 2-1 Verbrennungswärme verschiedener Stoffe

3 Brennbarkeit und Feuerwiderstand

3.1 Vorschriften

Anforderungen an die Bauausführung ergeben sich hinsichtlich Brandschutz aus den Landesbauordnungen (LBauO); technisches Regelwerk ist die Norm DIN 4102.

3.1.1 Landesbauordnung (LBauO)

Forderungen zum Brandschutz:

- Lage auf dem Grundstück und zur Nachbarbebauung
- Brandverhalten der Baustoffe und Bauteile
- Größe und Schutz der Brandabschnitte
- Lage und Gestaltung der Rettungswege

3.1.2 Übersicht und Auszug aus Musterbauordnung des Bundes; 20.Juli. 1990

Erster Teil:	- Allgemeine Vorschriften	Zweiter Teil:	- Das Grundstück und seine Bebauung
Dritter Teil:	- Bauliche Anlagen		
	Abschnitt I	- Gestaltung	
	Abschnitt II	- Allgemeine Anforderungen an die Bauausführung	
	Abschnitt III	- Bauprodukte, Einrichtungen und Bauarten	
	Abschnitt IV	- Wände, Decken, und Dächer	
	Abschnitt V	- Treppen, Rettungswege, Aufzüge und Öffnungen	
	Abschnitt VI	- Haustechnische Anlagen und Feuerungsanlagen	
	Abschnitt VII	- Aufenthaltsräume und Wohnungen	
	Abschnitt VIII	- Besondere bauliche Anlagen	
Vierter Teil	- Die am Bau Beteiligten		
Fünfter Teil	- Bauaufsichtsbehörden und Verwaltungsverfahren		
Sechster Teil	- Ordnungswidrigkeiten, Rechtsvorschriften		

▪ § 17 Brandschutz

(1) Bauliche Anlagen müssen so beschaffen sein, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.

(2) Leichtentflammbare Baustoffe dürfen nicht verwendet werden; dies gilt nicht für Baustoffe, wenn sie nach in Verbindung mit anderen Baustoffen nicht leichtentflammbar sind.

(3) Feuerbeständige Bauteile müssen in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen; dies gilt nicht für feuerbeständige Abschlüsse von Öffnungen.

(4) Jede Nutzungseinheit mit Aufenthaltsräumen muss in jedem Geschoss über mindestens zwei voneinander unabhängige Rettungswege erreichbar sein. Der erste Rettungsweg muss in Nutzungseinheiten, die nicht zu ebener Erde liegen, über mindestens eine notwendige Treppe führen; der zweite Rettungsweg kann eine mit Rettungsgeräten der Feuerwehr erreichbare Stelle oder eine weitere notwendige Treppe sein. Ein zweiter Rettungsweg ist nicht erforderlich, wenn die Rettung über ein Treppenhaus möglich ist, in den Feuer und Rauch nicht eindringen können (Sicherheitstuppenraum). Gebäude, deren zweiter Rettungsweg über Rettungsgeräte der Feuerwehr führt und bei denen die Oberkante der Brüstung notwendiger Fenster oder sonstiger zum Anleiten bestimmter Stellen mehr als 8 m über der festgelegten Geländeoberfläche liegt, dürfen nur errichtet werden, wenn die erforderlichen Rettungsgeräte der Feuerwehr vorgehalten werden.

(5) Bauliche Anlagen, bei denen nach Lage, Bauart oder Nutzung Blitzschlag leicht eintreten oder zu schweren Folgen führen kann, sind mit dauern wirksamen Blitzschlagenanlagen zu versehen

Siehe dazu auch Landesbauordnung (LBO) der einzeln Länder.

Sonderverordnungen

z.B. für Versammlungsstätten, Geschäftshäuser, Garagen, Krankenhäuser

Richtlinien:

Ergänzend zu den Verordnungen, enthalten detailliertere Angaben (Industriebau-, Hochhaus-, Schulbaurichtlinie, Richtlinie für die Verwendung brennbarer Baustoffe im Hochbau) z.B. Umweltschutz (Richtlinie)

→ Bemessung von Löschwasserrückhalteanlagen bei der Lagerung wassergefährdender Stoffe

Sonstiges

- Arbeitsrecht
- Umweltrecht
- Gewerberecht
- Chemikaliengesetz
- Technische Regeln
- Normen

3.1.3 Normen

DIN 4102: „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“

- definiert Brennbarkeitsgrad von Baustoffen
- definiert Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen
- legt dar, wie der in den Bauordnungen geforderte Brandschutz zu realisieren ist
- macht Untersuchung des Brandverhaltens durch Normprüfungen zur Pflicht

1	2	3	4	5	
Zeile		bauaufsichtliche Anforderung	mind. Klasse	nach Teil	Bemerkungen, Hinweise
1	Baustoffe	dürfen nach Einbau nicht leichtentflammbar sein; brennbar, normalentflammbar	B 2	1	Mindestanforderung für Baustoffe, Verbot von B 3-Baustoffen (leichtentflammbar)
2		schwerentflammbar	B 1	1	allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich ¹⁾ Güteüberwachung
3		nichtbrennbar	A 1/A 2	1	
4	Bauteile	feuerhemmend	F 30 – B	2	also für 30 min im Normbrand widerstandsfähig
5		selbstschließende und feuerhemmende Tür	T 30	5	allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich ¹⁾
6		feuerhemmend und in den tragenden Bauteilen aus nichtbrennbaren Baustoffen	F 30 – AB	2	s. Erläuterung im Text Seite 10.57 oben
7		feuerbeständig	F 90 – A	2	Keine Bedenken gegen F 90 – AB
8		selbstschließende und feuerbeständige Tür	T 90	5	allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich ¹⁾
9		Brandwand	–	3	über „feuerbeständig“ hinausgehende Anforderungen
10		widerstandsfähig gegen Feuer (Verglasungen)	G 60	13	allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich
11		Lüftungsleitungen: Feuer und Rauch nicht in andere Brandabschnitte übertragen	L 30 bis L 120	6	sonst in Wand- und Deckenebene Klappen \geq K 30 nach Teil 6 verwenden. Zulassung erforderlich
		Fahrschachttüren: wie oben	–	5	Zulassung erforderlich ¹⁾
12		Vorkehrungen gegen Brandübertragungen (Rohre u. Leitungen)	R 30 bis R 120	11	Kabelschotts mit Klassen S 30 bis S 180 nach Teil 9
13	harte Bedachung	–	7	Flugfeuer, Wärmestrahlung	

¹⁾ Soweit nicht durch DIN 4102 Teil 4 und eingeführte Konstruktionsnorm ausgenommen.

Tab. 3-1 Verbale bauaufsichtliche Anforderungen und ihre Übersetzung in der DIN 4102

3.1.4 Teile der DIN 4102

- T1: Brandverhalten, d.h. temperaturabhängige Veränderung von Materialkennwerten der Baustoffe, Brennbarkeit (Baustoffklassen)
- T2: Begriff Feuerwiderstandsklasse (F30 - F 180)
- T3: Anforderungen an Brandwände und nichttragende Außenwände
 - Brandwände = F 90, aus nichtbrennbaren Baustoffen
 - Pendelstoßprüfung mit 3000 Nm
- T4: Katalog, der Angaben über geprüfte Baustoffe und Bauteile enthält (vgl. Ziffer 4.4)
- T5: Feuerschutzabschlüsse und Abschlüsse in Fahrschächten
 - Türen, Tore, Rollläden, Klappen, ... sollen den Durchtritt von Feuer durch Wand- oder Deckenöffnungen verhindern Normkriterien = T2 (ohne Pendelstoßprüfung)
- T6, T9, T11: Anforderungen an Ausbauelemente, wie Lüftungsleitungen, Absperrvorrichtungen, Abschottungen für Kabeldurchführungen, Rohrummantelung, Installationsschächte und Abschottungen,
 - sollen Feuer nicht in benachbarte Räume leiten
- T7: Kriterien für Bedachungen
 - Probendach wird mit Holzwolle belegt, diese angezündet
 - Dach darf nicht in Brand geraten
- T8: Beschreibung eines Kleinprüfstandes
 - Untersuchung von Wärmefreisetzung von Baustoffen, Wärmedurchgang durch Dämmplatten/matten, Alterungsbeständigkeit, Schwel feuerverhalten von dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen.
- T12: Funktionserhalt von elektrischen Kabelanlagen
- T13: Brandschutzverglasungen
 - darf unter Eigenlast nicht zusammenbrechen
- T14: Bestimmung der Flammenausbreitung von Bodenbelägen und -beschichtungen
 - bei Beanspruchung mit einem Wärmestrahler
- T15: Beschreibung des Brandschachts
 - Prüfgerät zur Prüfung der Entflammbarkeit von Baustoffen
- T16: Durchführung der Prüfung zu T15
 - Ergebnisse Grundlage zur Erteilung des Prüfzeichens
- T17: Verhalten von Dämmschichten
- T18: Dauerfunktionstüchtigkeit von Türen und Abschlüssen
 - Gewährleistung, dass Feuerschutzabschlüsse in Brandfall auch dann wirksam werden, wenn Tür schon lange in Gebrauch war

3.1.5 DIN 18 230: Baulicher Brandschutz im Industriebau

- rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer
 - Ziel: Einheitliche brandschutztechnische Bemessung von Industriebauten mit festlegbarer Brandbelastung
 - Ermittlung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer der tragenden bzw. raumabschließenden Bauteile, infolge des Abbrandes der in einem Brandbekämpfungsabschnitt befindlichen Einflussgrößen
 - Einflussgrößen:
 - + Brandlast in Abhängigkeit von ihrer Größe und Anordnung im Brandbekämpfungsabschnitt
 - + Ventilationsbedingungen und Wärmeabzugsmöglichkeiten
 - + Größe des Brandbekämpfungsabschnitts

- + Gebäudehöhe/Anzahl der Geschosse
- + Möglichkeit der Brandbekämpfung einschließlich automatischer Feuerlöschanlagen

⇔ Punkte haben unterschiedlich hohen Einfluss auf den Brandverlauf Berücksichtigung durch gewichtete Bewertungsfaktoren in der Berechnung

Mit Hilfe einer rechnerischen Brandbelastung werden für alle Einzelbauteile erforderliche Brandschutzklassen ermittelt (Brandschutzklassen sind dann Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102 zugeordnet)

3.2 Brennbarkeit, Feuerwiderstand und Brandstoffklassen

In den Anfangsphasen des Brandes ist das Verhalten von Baustoffen, in den letzten Phasen das der Bauteile bestimmend.

Brandmodelle und Brandsimulationsmodelle:

- im Brandmodell werden Gebäude und Brandschutzmaßnahmen berücksichtigt
- es gibt Zonenmodelle (Einraum-, Mehrraummodelle) und Feldmodelle.

3.2.1 Baustoffe nach DIN 4102

- Prüfungen
 - Brandofen A1, A2 (Temperatur, Entflammung)
 - Brandschacht A2, B1
 - Beflammung B2 (Weiterbrennen und brennendes Abtropfen)
- Klassifizierung
 - Baustoffklassen (A,B)
 - Feuerwiderstandsklassen (F,W,T,G,...)
- Nachweis durch
 - Brandversuche
 - DIN 4102 Teil 4 Katalog bereits nachgewiesener Bauteile/Baustoffe
 - sonstiger Nachweis (Prüfzeichen, Zulassung)
- Der Nachweis für die Baustoffklasse muss auf dem Baustoff selbst oder auf der Verpackung angebracht werden (mit dem Prüfzeichen der bauaufsichtlich vorgeschriebenen Güteprüfung).

3.2.2 Brennbarkeit von Baustoffen:

Die Einteilung erfolgt in Klassen:

- Klasse A (nicht brennbar)
- Klasse B (brennbar = Unterscheidung nach Entflammungsgrad)

Des weiteren erfolgt eine Einteilung in Baustoffklassen

- Baustoffe der Klasse A1:
klassische Baustoffe ohne brennbare Bestandteile (Beton, Stahl, Ziegel, Ziegel-Mauersteine, Kalksandsteine)

- Baustoffe der Klasse A2:
Baustoffe, die in geringem Umfang brennbare Bestandteile enthalten, aber die Normprüfung bestehen. (Gipskartonplatten, Leichtbetone, Polystyrolzuschlag).
- Baustoffe der Klasse B1:
schwer entflammbare Baustoffe (z.B. Holzwolleleichtbauplatte)
- Baustoffe der Klasse B2:
normal entflammbare Baustoffe (z.B. Holz)
- Baustoffe der Klasse B3:
leicht entflammbare Baustoffe (z.B. Polystyrol-Hartschaumplatten ohne Brandschutzausrüstung)
B3 Baustoffe dürfen nur eingebaut werden, wenn sie nach dem Einbau nicht mehr leicht entflammbar sind. (z.B. unter Estrich verlegt werden)
- Nachweis für Klassen B1, A1/A2 erfolgt durch Prüfzeichen

3.2.3 Normbrand

Einheitliche Prüf- und Beurteilungsgrundlagen bzgl. brandtechnisches Verhalten:

- die Einheitstemperaturkurve (ETK) wurde international eingeführt.
- Prüfung in der Brandkammer: thermische Belastung nach ETK.

Die Temperatur in der Brandkammer = Temperatur vor Brandbeginn + Brandtemperatur

$$\vartheta = \vartheta_0 + 345 \log(8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3-1)$$

mit

ϑ :	Temperatur beim Brand	[$^{\circ}\text{C}$]
ϑ_0 :	Temperatur vor Brandbeginn, in der Regel Zimmertemp.	[$^{\circ}\text{C}$]
t:	Brandzeit	[min]

(d.h. zu den Temperaturangaben der Einheitstemperaturkurve ist die Umgebungstemperatur vor Brandbeginn, in der Regel 20 $^{\circ}\text{C}$ zu addieren)

- Unter Wärmebeanspruchung gemäß ETK werden die Bauteile im Labor einer Feuerwiderstandsprüfung unterzogen.
- Maßstab, an dem das Brandverhalten der Bauteile in Bauwerken gemessen und verglichen werden kann
- ETK gibt einen wirklichen Brand annähernd wieder:
 - simuliert nicht unterschiedlich schnellen Anstieg auf unterschiedlich hohe Temperatur in der Erwärmungsphase
 - kein Verlauf der Abkühltemperatur

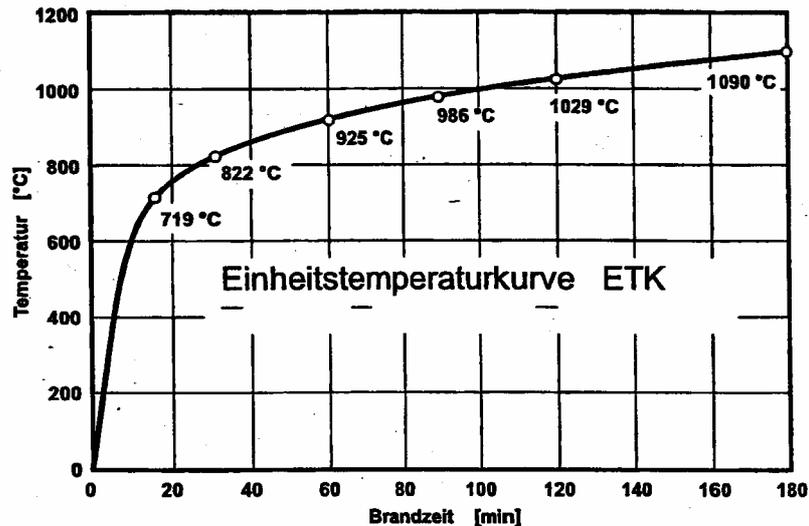


Bild 3-1 Einheitstemperaturkurve ETK

Temperaturverlauf über die Brandzeit gemäß Einheitstemperaturkurve (ETK) nach DIN 4102. Die an der Kurve markierten Punkte bei den Zeiten 30, 60, 90, 120 und 180 min entsprechen den Temperaturen, bei denen Bauteilklassifizierungen vorgenommen werden.

Beispiel: Brandraumlufttemperatur bei Holzbränden in Abhängigkeit von der Branddauer

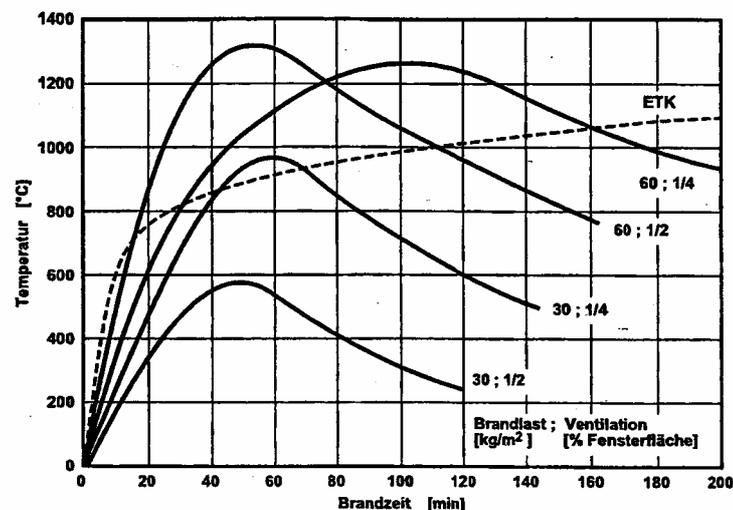


Bild 3-2 Zusammenhang zwischen der Brandtemperatur und der Brandzeit bei Holzbränden

Als Parameter sind die Brandlast in kg Holz je m² Raumbodenfläche und die Ventilationsöffnung [in % Fensterfläche] aufgetragen: z.B. „30; 1/2“, gibt die Brandtemperatur an, die beim Abbrand von 30 kg Holz je m² Bodenfläche entsteht, wenn die Hälfte der Raumumschließungsfläche offen ist. Die gestrichelte Kurve im Bild gibt die ETK wieder.

Durch Normbrandversuche nicht erfasst:

- gegenseitige Beeinflussung der Bauteile (thermische Dehnungen)
- Verhalten von Bauteilen mit sehr großen Abmessungen
 - konstruktive Maßnahme: Anordnung von Dehnfugen

3.3 Feuerwiderstandsklassen bei Bauteilen:

- Einstufung in eine Feuerwiderstandsklasse
Prototyp (2 Prüfkörper) muss die Kriterien einer Normprüfung über eine Prüfdauer (= Feuerwiderstandsklasse oder höher) bei Wärmebeanspruchung gemäß der Einheitstemperaturkurve erfüllen
- Brandverhalten von Bauteilen wird beschrieben durch die Feuerwiderstandsdauer
- Feuerwiderstandsdauer gibt die Mindestdauer an, während der ein Bauteil bestimmte Anforderungen einer Normprüfung erfüllen muss.

3.3.1 Abbruchkriterium für Brandversuch an raumabschließenden Bauteilen

auf der feuerabgekehrten Seite darf sich die Bauteiloberflächentemperatur

- im Mittel um nicht mehr als 140 K,
- an ungünstigen Stellen um nicht mehr als 180 K erhöhen.
- an keiner Stelle eines raumabschließenden Bauteils (einschl. Fugen, Stöße, Anschlüsse) dürfen Flammen durchtreten (bzw. ein angehaltener Wattebausch sich entzünden)
- raumabschließende Wände müssen einer Festigkeitsprüfung mittels Pendelstoß von 20 Nm widerstehen

Feuerwiderstandsklassifizierung ergibt sich daraus:

- Angabe in Zeit [min]
- aber: Zeitintervalle: (30, 60, 90, 120, 180 min)
- Widerstandsklasse aus Zeitintervall, bevor Kriterium erreicht wird z.B. bei Versuchsdauer 105 min: F90

3.3.2 Bauaufsichtliche Bezeichnung der Feuerwiderstandsklassen:

- feuerhemmend: ≡ F 30, F 60
- feuerbeständig: ≡ F 90
- hoch feuerbeständig: ≡ F 120, F 180

Angaben:

- F 90-A: alle Schichten sind mindestens 90 Minuten im Brandversuch nicht brennbar
- bis AB: wenigstens die wesentlichen Bestandteile sind nicht brennbar

Zusatzangaben:

- F 30-B: Feuerhemmend aus brennbaren Baustoffen (z.B. reines Holzhaus)
- F 30-AB: Feuerhemmend, in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen (z.B. Holzhaus, die tragenden Teile, wie Stützen mit Unterzüge, aus Beton, Stahl oder dergl.)
- F 30-A: Feuerhemmend, aus nicht brennbaren Baustoffen (z.B. Haus im Mauerwerksbauart mit Betondecken)
- F 30-BA: Feuerhemmend, aus brennbaren Baustoffen mit Oberflächen aus nichtbrennbaren Baustoffen (z.B. Holzhaus, innen und außen mit Gipskartonplatten verkleidet)

Gruppen	Klassen	Bemerkungen
Baustoffe	<u>A</u> : A 1 A 2	<u>nicht brennbar</u> A 1: nur anorganische Anteile A 2: organische Anteile begrenzt
	<u>B</u> : B1 B2 B3	<u>brennbar</u> : schwer entflammbar normal entflammbar leicht entflammbar
Tragende Bauteile <u>F</u> eu ^{er} widerstand	F 30 F 60	feuerhemmend
	F 90	feuerbeständig
	F 120 F 180	hochfeuerbeständig
Brandwände	A + F 90 +	Sonderanforderungen (dynamische Lastenteilung) genormter Pendelschlag von 3000 Nm
Komplextrennwände	A + F 180 +	Stoßbeanspruchung von 4000 Nm (Versicherungstechnisch)
Feuerschutzabschlüsse (<u>T</u> üren)	T 30 T 60	feuerhemmend
	T 90	feuerbeständig
	T 120 T 180	hochfeuerbeständig
Nichttragende Außen <u>w</u> ände	W 30 W 60 W 90 W 120 W 180	erleichterte Prüfbedingungen gegenüber F-Bauteilen
<u>L</u> üftungsleitungen	L 30 L 60 L 90 L120	Feuer bzw. Rauch darf nicht über Geschosse oder Abschnitte hinweg übertragen werden
<u>K</u> lappen	K 30 K 60 K 90	
Fahrschächte		Wie bei Lüftungsleitungen und Klappen
Gläser	G30 bis G180	Angaben über: Prüfung; Weichwerden, Schmelzen, Loch- und Rissbildung
	F 30 bis F90	feuerhemmend bis feuerbeständig

Tab. 3-2 Zusammenstellung der in der Bundesrepublik festgelegten Baustoffklassen und Feuerwiderstandsklassen sowie ihre Benennung

Bauteile \ Gebäude	Frei stehende Wohngebäude mit nicht mehr als einer Wohnung ¹⁾	Wohngebäude geringer Höhe mit nicht mehr als zwei Wohnungen	Gebäude geringer Höhe (kein Fußboden eines Aufenthaltsraumes über 7 m)	Andere Gebäude
Tragende und aussteifende Wände, Pfeiler und Stützen	keine	F 30 - B	F 30 - B	F 90 - AB
wie vor, jedoch in Kellergeschossen	keine	F 30 - AB	F 90 - AB	F 90 - AB
wie vor, jedoch in Geschossen im Dachraum, über denen Aufenthaltsräume möglich sind	keine	F 30 - B	F 30 - B	F 90 - B
Nichttragende Außenwände, nichttragende Teile von Außenwänden	keine	keine	keine	A oder F 30
Oberflächen von Außenwänden, Außenwandbekleidungen und Dämmstoffe in Außenwänden	B 2	B 2 ²⁾	B 2 ²⁾	B 1
Trennwände	-	F 30 - B	F 30 - B	F 90 - AB
wie vor, jedoch in obersten Geschossen von Dachräumen	-	F 30 - B	F 30 - B	F 90 - B
Gebäudeabschlußwände	-	F 90 - AB	Brandwand ³⁾	Brandwand
Gebäudetrennwände	-	F 90 - AB	Brandwand ³⁾	Brandwand
Decken	keine	F 30 - B	F 30 - B	F 90 - AB
Decken über Kellergeschossen	keine	F 30 - B	F 90 - AB	F 90 - AB
Decken im Dachraum, über denen Aufenthaltsräume möglich sind	keine	F 30 - B	F 30 - B	F 90 - B
¹⁾ Gilt auch für andere frei stehende Gebäude ähnlicher Größe sowie für frei stehende landwirtschaftliche Betriebsgebäude. ²⁾ Bei der Verwendung normalentflammbarer Baustoffe (B 2) muß durch geeignete Maßnahmen eine Brandausbreitung auf Nachbargebäude verhindert werden. ³⁾ Auch F 90 - AB zulässig, wenn diese wie Brandwände eingebaut werden (§ 33, Absatz 2 bis 6).				

Tab. 3-3 Mindestanforderungen des baulichen Brandschutzes nach der BauO NRW (1996) Beispiel für Sonderbauordnung

4 Brandverhalten verschiedener Bauprodukte

Bauteile in Gebäuden sind konstruktiv entweder tragend oder nicht tragend, außerdem gibt es Verkleidungen und Dämmschichten. Im Brandfall muss die Standsicherheit eines Bauwerks über eine vorgegebene Mindestdauer hinweg gewährleistet sein. Raumabschließende Bauteile müssen so ausgebildet sein, dass ein Brand nicht von einem Gebäudeteil, Raum bzw. Geschoss in einen anderen dringen kann (Abschottung). Verkleidungen dürfen Feuer nicht weiterleiten.

4.1 Bauteile verschiedener Gebäudearten

Für die verschiedenen Bauteile von Gebäuden sind in den Landesbauordnungen die einzuhaltenden Feuerwiderstandsklassen angegeben, unterschiedlich je nach Gebäudeart.

- Gebäude geringer Höhe, Fußboden ≤ 7 m über Geländeoberfläche
- Gebäude mittlerer Höhe, Fußboden ≤ 22 m über Geländeoberfläche
- Gebäude mit bis zu 2 Wohnungen

sowie Sonderbauten, darunter sind u.a. zu verstehen Hochhäuser (Aufenthaltsräume in $h > 22$ m), Hochregale, Verkaufsstätten, Versammlungsstätten, Sportstätten, Krankenhäuser, Heime, Gaststätten, Schulen, Hochschulen, Garagen, fliegende Bauten. Für Sonderbauten werden durch Baurecht und durch die Feuerversicherer weitergehende Anforderungen gestellt.

„§ 26 Tragende Wände, Pfeiler und Stützen BauO“

(1) Tragende Wände sind feuerbeständig, in Gebäuden mit geringer Höhe feuerhemmend herzustellen. Dies gilt nicht für oberste Geschosse von Dachräumen“

Das bedeutet:

- Gebäude mittlerer Höhe F 90-AB
d.h. Feuerwiderstandsklasse 90 (im Feuer Standsicherheit mindestens 90 Minuten), und in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Stoffen.
- Gebäude geringer Höhe F 30-B
d.h. Feuerwiderstandsklasse 30, auch wenn brennbare Baustoffe verwendet werden.
- Gebäude mit bis zu 2 Wohnungen keine Anforderungen

4.2 Konstruktionsteile

4.2.1 Mauerwerk

- wenig Erwärmung durch geringe Wärmeleitfähigkeit und große Wärmespeicherfähigkeit. Die Feuerwiderstandsfähigkeit wird durch Putz noch vergrößert

Mindestwerte von Wänden aus Mauerwerk und Wandbauplatten nach DIN 4102 Teil 4 (einseitige Brandbeanspruchung). Die (...) - Werte gelten für Wände mit beidseitigem Putz.

Zeile	Konstruktionsmerkmale	Feuerwiderstandsklasse		
		F 30-A	F 60-A	F 90-A
1	Mindestdicke d in mm nichttragender Wände aus Porenbeton-Block- und Plansteinen, Bauplatten und Planbauplatten nach DIN 4165/66	75 (50)	75 (75)	100 (75)
	Leichtbeton-Hohlwandplatten DIN 18 148, Wandbauplatten DIN 18 162, Vollsteinen DIN 18 152, Mauersteinen aus Beton DIN 18 153	50 (50)	70 (50)	95 (70)
	Mauerziegeln DIN 105 Teile 1 bis 4, Mauerwerk aus Ziegelfertigteilen nach DIN 1053 Teil 4	115 (70)	115 (70)	115 (100)
	Kalksandsteinen DIN 106 Teile 1, 1 A 1 und 2	70 (50)	115 (70)	110 (100)
	Wandbauplatten aus Gips DIN 18 163 für Rohdichten $\geq 0,6 \text{ kg/dm}^3$	60	80	80
2	Mindestdicke d in mm ¹⁾ tragender Wände aus Porenbeton-Block- und Plansteinen nach DIN 4165	115 (115)	175 (150)	240 (175)
	Leichtbeton Hohlblöcken DIN 18 151, Vollsteine-/Blöcken DIN 18 152, Beton-Mauersteinen	175 (140)	175 (140)	175 (140)
	Mauerziegeln DIN 105 Teil 1 (Voll- und Hochlochziegel)	115 (115)	115 (115)	175 (115)
	Mauerziegeln DIN 105 Teil 2 (Leichtlochziegel Rohdichteklasse $\geq 0,8$)	- (115)	- (115)	- (115)
	Mauerwerk aus Ziegelfertigbauteilen DIN 1053 Teil 4	115 (115)	165 (115)	165 (165)
	Kalksandsteinen DIN 106 Teile 1, 1 A 1 und 2	115 (115)	115 (115)	115 (115)
3	Mindestdicke/-breite d/b ¹⁾ von tragenden Pfeilern bzw. nichttraumabschließenden Wandteilen (Wand: 2 ungeteilte Steine und $A \geq 0,1 \text{ m}^2$) aus Vollziegeln DIN 105 Teil 1	175/490 oder 240/365 300/300 115/ (365)	175/615 oder 240/490 300/365 115/990	175/730 oder 240/615 300/490 115/(990)
	aus Kalksandsteinen DIN 106 Teile 1, 1 A 1 und 2	175/240 240/175	175/240 240/175	175/300 240/240
	1) Geringere Dicken bei Ausnutzungsfaktoren < 1 zulässig. Einzelheiten s. DIN 4102 Teil 4			

Tab. 4-1 Konstruktionsmerkmale von Bauteilen für verschiedene Feuerwiderstandsklassen

4.2.2 Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen

- bei Erwärmung erfolgt eine thermische Zersetzung in Holzkohle und brennbare Gase
- wird Holz ohne Bekleidung dem Brand ausgesetzt, verbleibt ein mit der Zeit abnehmender, durch Holzkohle geschützter tragfähiger Restquerschnitt
- Feuerwiderstandsklasse ungeschützter tragender Holzbauteile hängt somit im wesentlichen vom Ausgangsquerschnitt und der Spannungsausnutzung ab.
- je nach Bekleidung (Gipskartonplatten und nicht brennbare Dämmstoffe) ist F90+B erreichbar, da die Entzündung des tragenden Holzes verzögert wird.

Zeile (Variante)	Konstruktionsmerkmale Abkürzungen: MF = Mineralfaser-Platten oder -Matten	Holzrippen		Bepankung(en) und Bekleidung(en) Mindestdicke von		Dämmschicht Mindest-			Feuerwiderstandsklasse Benennung
		Mindestabmessungen	zul. Spannung	Holzwerkstoffplatten (Mindestrohdicke $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$)	Gipskarton-Bauplatten F (GKF)	Dicke von Mineralfaser-Platten oder -Matten	Rohdicke	Dicke von Holz- wolle- Leicht- bau- platten	
mm x mm	N/mm ²	mm	mm	mm	mm	kg/m ³	mm		
1		40 x 80 ²⁾	2,5	13 ³⁾		80	30		F 30-B
2			2,5	13 ³⁾		40	50		
3			1,25	8 ³⁾		60	100		
4			2,5	13 ³⁾				25	
5			2,5	0	12,5 ⁷⁾	60	30		
6			2,5	2 x 16 ⁴⁾		80	30		F 60-B
7			2,5	2 x 16 ⁴⁾		60	50		
8			1,25	19 ⁵⁾		80	100		
9			0,5	8	12,5 ⁷⁾	80	100		F 90-B
10			0,5	2 x 19 ⁶⁾		100	100		
11			0,5	2 x 19 ⁶⁾				75	

²⁾ Bei nichttragenden Wänden muß $b_1 \times d_1 \geq 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ sein.
³⁾ Einseitig ersetzbar durch GKF-Platten mit $d \geq 12,5 \text{ mm}$ oder GKB-Platten mit $d \geq 18 \text{ mm}$ oder $d \geq 2 \times 9,5 \text{ mm}$.
⁴⁾ Die jeweils raumseitige Lage darf durch Gipskarton-Bauplatten entsprechend Fußnote 3 ersetzt werden.
⁵⁾ Einseitig ersetzbar durch GKF-Platten mit $d \geq 18 \text{ mm}$.
⁶⁾ Die jeweils raumseitige Lage darf durch Gipskarton-Bauplatten F mit $d \geq 18 \text{ mm}$ ersetzt werden.
⁷⁾ Anstelle von 12,5 mm dicken GKF-Platten dürfen nach GKB-Platten mit $d \geq 18 \text{ mm}$ oder $d \geq 2 \times 9,5 \text{ mm}$ verwendet werden.

Tab. 4-2 Raumbeschließende Wände aus Holztafeln, auch unter Verwendung von Gipskartonplatten nach DIN 4102 Teil 4 (weitere Angaben siehe direkt in der Norm)

Zeile	Brandbeanspruchung	statische Beanspruchung		Mindestbreite b in mm bei einem Seitenverhältnis h/b von							
		Druck	Biegung	1 2 4 6 1 2 4 6							
				Brandbeanspruchung dreiseitig				Brandbeanspruchung vierseitig			
$\frac{\sigma_D l}{\text{zul } \sigma_K}$	$\frac{\sigma_B l^3}{\text{zul } \sigma_B^3}$	und einem Abstützungsabstand s bzw. einer Knicklänge s_k in m von 2,0 m/5,0 m									
1	Brettschichtholz	1,0	0,0	148/169	139/158	135/153	134/151	169/202	147/168	139/157	136/154
2		0,8	0,0	132/146	124/134	121/128	120/126	148/164	131/145	124/134	122/130
3			0,2	141/157	132/147	127/142	127/143	164/190	140/157	131/146	130/145
4		0,6	0,0	116/119	110/110	107/107	106/106	130/139	116/118	110/110	108/108
5			0,4	134/146	124/131	119/130	121/139	158/173	133/145	123/134	123/142
6		0,4	0,0	100/100	95/95	92/92	91/91	112/112	100/100	95/95	93/93
7			0,6	125/131	114/116	111/126	114/139	153/162	125/130	114/129	116/141
8		0,2	0,0	80/80	80/80	80/80	80/80	90/90	80/80	80/80	80/80
9			0,8	115/116	102/108	102/123	107/138	147/151	114/116	105/126	109/140
10		0,0	0,2	80/80	80/80	80/80	80/80	80/80	80/80	80/80	80/80
11			1,0	100/100	84/100	92/120	101/138	140/140	99/108	95/123	103/140
12	Vollholz (Beispiele)	1,0	0,0	163/203	151/190	-	-	187/229	161/202	-	-
13		0,6	0,4	148/171	135/154	-	-	177/204	146/169	-	-
14		0,4	0,6	139/153	125/137	-	-	172/190	138/152	-	-
15		0,0	1,0	114/114	96/114	-	-	160/160	113/123	-	-

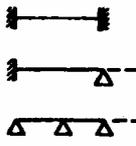
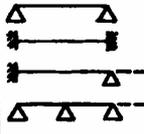
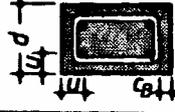
¹⁾ zul $\sigma_B^2 = 1,1 k_B$ zul σ_B mit $1,1 k_B \leq 1,0$

Tab. 4-3 Mindestbreite b unbekleideter Stützen und Balken der Klasse F 30-B aus Voll- und Brett-schichtholz bei dreiseitiger und vierseitiger Beanspruchung

4.2.3 Beton und Stahlbeton

- Verhalten abhängig von der Zusammensetzung
- Einflüsse auf Makro- und Mikrostruktur (physikalisch, chemisch und mineralogisch)
- Festigkeit abhängig von Belastung (einachsig, mehrachsig, Zug, Druck).
- steigende Temperatur:
 - Elastizität (E-Modul) nimmt ab
 - Festigkeit nimmt ab
 - Dehnungen werden größer bei kleinerer Bruchlast
- bei Gesamtverformung bei konstanter Druckbeanspruchung überlagern sich
- thermische Dehnung sowie lastabhängige Verformung. (Zusammensetzung spielt eine entscheidende Rolle.)
- Relaxation diskontinuierlich (Feuchtigkeit)
- thermische Dehnung deutlich nicht linear
- Wärmeleitfähigkeit λ im wesentlichen vom Zuschlag abhängig, unterhalb 100 °C deutlicher Einfluss der Feuchtigkeit
- spezifische Wärmekapazität c_p (gleiche Einflüsse wie λ)
- Temperaturleitfähigkeit ($a = \lambda/\rho c_p$) nimmt mit zunehmender Temperatur ab, zusätzlicher Einfluss der Feuchte
- Stahlbeton:
 - feuerwiderstandsfähig bei Einhaltung bestimmter Abmessungen im Mindestquer-schnitt und in der Betonüberdeckung der Bewehrungsstähle.
- Gefahren können von den Bewehrungsstählen im Biege-/Zugbereich ausgehen
- im Brandfall Gefährdung der Bewehrungsstähle in der Zugzone
- Beton ist in der Druckzone in der Regel ausreichend feuerbeständig

⇒ Mindestabdeckung der Stahlbewehrung durch Beton oder Putz erforderlich.

Zeile	Bauteil, Konstruktionsmerkmale, Maße in mm Beton: Normalbeton \geq B 25 Stahl: Betonstahl nach DIN 1045	statisches System	Feuerwiderstandsklasse Benennung		
			F 30-A	F 90-A	
1	Balken mit $b \geq 250$, $\varnothing_B \geq 6$, $c_B \geq 15$ und n Längsstäben mit $d_s \geq 10$ bei dreiseitiger Brandbeanspruchung bei statisch bestimmter Lagerung Mindestachsabstand u seitlicher Mindestachsabstand u_s , Mindeststabzahl n bei einlagiger Bewehrung			DIN 1045 DIN 1045 DIN 1045	40 ¹⁾ 50 ¹⁾ 4
1.1					
1.2	bei statisch unbestimmter Lagerung (Durchlaufbalken: $\min l \geq 0,8 \max l$) mit besonderer oben liegender Bewehrung ²⁾ Mindestachsabstand u seitlicher Mindestachsabstand u_s , Mindeststabzahl n bei einlagiger Bewehrung		DIN 1045 DIN 1045 DIN 1045	DIN 1045 DIN 1045 4	
2	Platten mit $d \geq 100$ Mindestachsabstand u bei freier Auflagerung Mindestachsabstand u bei eingespannten oder durchlaufenden Platten ²⁾ mit $\min l \geq 0,8 \max l$			DIN 1045 DIN 1045	35 DIN 1045
3	Stützen mit $d \geq 300$, $\varnothing_B \geq 8$, $c_B \geq 20$ und $d_s \geq 14$ Mindestachsabstand u		DIN 1045	DIN 1045	
4	Wände mit $h/d \geq 25$ Mindestdicke d Mindestachsabstand u		120 DIN 1045	170 35	
¹⁾ Bei den angegebenen Mindestachsabst. ist es notwendig, die Betondeckung $c_B > 15$ zu wählen. ²⁾ Die oben liegende Bewehrung muß jeweils um $0,15 l$ gegenüber DIN 1045 verlängert werden und mit $0,2 a_{s,Stütz}$ durchlaufen.					

Tab. 4-4 Mindest-Querschnittsabmessungen und -achsabstände für Regelfälle des Ortbetonbaus nach Kordin/Meyer-Ottens: Beton-Brandschutz-Handbuch (1981)

Zeile	Konstruktionsmerkmale	Feuerwiderstandsklasse		
		F 30-A	F 60-A	F 90-A
1	unbekleidete Stützen bei mehrseitiger Brandbeanspruchung Mindestdicke d in mm bei Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,3$ Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 0,7$ Ausnutzungsfaktor $\alpha_1 = 1,0$ Mindestachsabstand der Bewehrung	150	150	180
		150	180	210
		150	200	240
		Mindestwerte für c nach DIN 1045		
2	unbekleidete Stützen bei einseitiger Brandbeanspruchung Mindestdicke d in mm Mindestachsabstand der Bewehrung	120	120	140
		Mindestwerte für c nach DIN 1045		
3	Stützen mit Putzbekleidung Die angegebenen Maße dürfen bei Anordnung einer mit Drahtgeflecht nach DIN 1200 bewehrten Putzbekleidung auch unterschritten werden, wenn als Ersatz für je 10 mm Normalbeton 8 mm Putzmörtel der Gruppen P II und P IV a bis P IV c nach DIN 18 550 Teil 2, zusätzlich 5 mm Glättputz über Bewehrung, verwendet wird. Einzelheiten in DIN 4102 Teil 4. Verbleibende Mindestdicken jedoch	140	140	160

Tab. 4-5 Mindestdicke und Mindestachsabstand der Bewehrung von Stahlbetonstützen aus Normalbeton nach DIN 4102 Teil 4

Zeile	Konstruktionsmerkmale 	Feuerwiderstandsklasse		
		F 30-A	F 60-A	F 90-A
1	Mindestachsabstände $u^1)$ und $u_s^1)$ sowie Mindeststabzahl $n^2)$ der Zugbewehrung unbekleideter, einlagig bewehrter Balken bei einer Balkenbreite b in mm von u in mm u_s in mm n	80	≤ 120	≤ 150
		25	40	55 ³⁾
		35	50	65
		1	2	2
2	bei einer Balkenbreite b in mm von u in mm u_s in mm n	120	160	200
		15	35	45
		25	45	55
		2	2	3
3	bei einer Balkenbreite b in mm von u in mm u_s in mm n	160	200	250
		12	30	40
		22	40	50
		2	3	4
4	bei einer Balkenbreite b in mm von $u = u_s$ in mm n	≤ 200	≤ 300	≤ 400
		12	25	35
		3	4	5
		1) Zwischen den u - und u_s -Werten darf für andere Balkenbreiten b geradlinig interpoliert werden. 2) Die geforderte Mindeststabzahl n darf unterschritten werden, wenn der seitliche Achsabstand u_s pro entfallendem Stab jeweils um 10 mm vergrößert wird: Stabbündel gelten als ein Stab. 3) Die Tabellenwerte gelten auch für Spannbetonbalken; die Mindestachsabstände u und u_s sind jedoch um die folgenden Δu -Werte zu erhöhen. Bei vergüteten Drähten mit $\text{crit } T = 450^\circ\text{C}$ um $\Delta u = 5$ mm und bei kaltgezogenen Drähten und Litzen mit $\text{crit } T = 350^\circ\text{C}$ um $\Delta u = 15$ mm. Sofern die Mindestachsabstände u oder u_s mit 12 mm angegeben sind, dürfen die Δu -Werte um 2 mm verringert werden.		

Tab. 4-6 Zugbewehrung von 1- bis 4seitig beanspruchten, statisch bestimmt gelagerten Stahlbetonbalken aus Normalbeton nach DIN 4102 Teil 4

4.2.4 Stahl

- Verhalten abhängig von Zusammensetzung und Herstellung
- kalt verformte Baustähle verlieren Verfestigung bei $T > 400 \text{ °C}$
- warm behandelte verlieren Verfestigung, wenn Behandlungstemperatur wieder erreicht, bzw. überschritten wird
- Fließgrenze der Stähle temperaturabhängig
- E-Modul nimmt mit steigender Temperatur ab (näherungsweise für alle Stahlsorten gleich)
- thermische Dehnung bis etwa 700 °C konstant: $\alpha_{th} = 1,4 \cdot 10^{-5}/\text{K}$
- Wärmeleitfähigkeit nimmt bei den meisten Baustählen mit steigender Temperatur ab (hoch legierte Stähle u. U. zunehmend)
- spez. Wärmekapazität c_p nimmt mit zunehmender Temperatur zu
- Dichte praktisch konstant $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
- Temperaturleitfähigkeit ($a = \lambda/\rho c_p$) nimmt mit zunehmender Temperatur ab
- Erwärmung Stahlprofile ohne und mit Bekleidung
 - Profilkfaktor U/A
 - λ/d der Bekleidung dominierend

Stahlbauteile:

- wegen der hohen Stahlfestigkeit besitzen tragende Stahlbauteile nur geringe Querschnitte
- Stahlbauteile erreichen wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit im Brandfall rasch ($< 30 \text{ min}$) „kritische Temperaturen“ (ca. 500 °C); Streckgrenze des Stahls sinkt auf die im Bauteil jeweils vorhandene Stahlspannung ab;
- um F 30 bis F 180 zu erreichen sind u.a. Bekleidungen erforderlich (z.B. Putze, Platten mit Faserzusätzen (z.B. Gipskarton- oder Faserzementplatten), Unterdecken, Vorsatzschalen)
- erforderliche Leistungsfähigkeit der Bekleidung steigt mit zunehmendem Verhältnis von beflamtem Umfang zur Stahlquerschnittsfläche
- thermische Ausdehnung der Stahlbauteile darf keine Verformung von Wänden usw. bewirken
- freie Ausdehnungsmöglichkeit ohne Zwängungsspannungen ist konstruktiv vorzusehen

U/A	Mindestputzdicke d in mm über Putzträger gemäß Schemazeichnung bei Verwendung von Putz aus						Mindestbekleidungs- dicke d von Gipskarton- platten	
	Mörtelgruppe P II oder P IVc n. DIN 18 550 T 2		Mörtelgruppe P IVa oder P IVb n. DIN 18 550 T 2		Vermiculite- oder Perlitmörtel n. DIN 4102 T 4		Gipskartonbauplatten F (GFK) n. DIN 18 180	
m^{-1}	Stützen	Träger	Stützen	Träger	Stützen	Träger	Stützen	Träger
	F30 F90	F30 F90	F30 F90	F30 F90	F30 F90	F30 F90	F30 F90	F30 F90
< 90	15	45	5	-	10	35	5	15
90 bis 119	15	45	5	-	10	35	5	15
120 bis 179	15	45	5	-	10	45	5	15
180 bis 300	15	55	5	-	10	45	5	25

Tab. 4-7 Stützen und Träger mit Bekleidung aus Putz oder Gipskartonplatten (DIN 4102 Teil 4)

Zeile	Bekleidung aus	Feuerwiderstandsklasse		
		F 30	F 60	F 90
1	Stahlbeton nach DIN 1045 oder bewehrtem Gasbeton nach DIN 4223 ¹⁾	50 (30)	50 (30)	50 (40)
2	Mauerwerk oder Wandbauplatten nach DIN 1053 Teil 1 bzw. DIN 4103 Teil 1 unter Verwendung von			
2.1	Gasbeton-Blocksteinen oder -Bauplatten nach DIN 4165 bzw. DIN 4166 oder Hohlblocksteinen, Vollsteinen bzw. Wandbauplatten aus Leichtbeton nach DIN 18 151, DIN 18 152, DIN 18 153 und DIN 18 162	50 (50)	50 (50)	50 (50)
2.2	Mauerziegeln nach DIN 105 (Langlochziegel ausgenommen) oder Kalksandsteinen nach DIN 106 Teil 1 und Teil 2 oder Hüttensteinen nach DIN 398	52 (52)	52 (52)	71 (52)
2.3	Wandbauplatten aus Gips nach DIN 18 163 Teil 1	60 (60)	60 (60)	80 (60)
3	Gipskarton-Bauplatten F (GKF) nach DIN 18 180	12,5 ²⁾	12,5 + 9,5	3 x 15

¹⁾ Einzelheiten s. DIN 4102 Teil 4 ²⁾ Ersetzbar durch ≥ 18 mm GKB DIN 18 180
 Die ()-Werte gelten für Stützen aus Hohlprofilen, die vollständig ausbetoniert sind, sowie für Stützen mit offenen Profilen, bei denen die Flächen zwischen den Flanschen vollständig ausbetoniert, vermörtelt oder ausgemauert sind.
 Bekleidungen aus Beton müssen konstruktiv bewehrt sein. Sofern vorgefertigte Bekleidungsteile verwendet werden, ist die Eignung von Fugen, Anschlüssen und Verbindungsmitteln gesondert zu prüfen. Mauerwerk oder Platten müssen im Verband errichtet werden. Die Bekleidung darf unmittelbar am Stahl anliegen. Bekleidungen, außer Gipswandbauplatten und Gipskartonplatten, sind durch Stahlbügel ≥ 5 mm \varnothing in Abständen von 250 mm in der Bekleidungsmitte zu bewehren.

Tab. 4-8 Mindestbekleidungsdicke d in m von Stahlstützen mit $U/A \leq 300$ m^{-1} mit einer Bekleidung aus Beton oder Mauerwerk

- Stahlverbundkonstruktionen:
- Brandverhalten günstiger gegenüber unbekleideten Stahlbauteilen, da Stahlquerschnitt durch Beton abgedeckt und damit der Beflammung entzogen.

4.2.5 Fenster, Verglasungen

- Fenster mit Normalglas gelten als ungesicherte Öffnungen
- Brandschutzverglasungen
- G-Verglasungen bleiben während der Brandbeanspruchung transparent, verhindern nur den Flammen- und Brandgasdurchtritt (nicht den Durchtritt von Wärmestrahlung)
 - keine Flammen auf der abgekehrten Seite
- F-Verglasungen: zwischen mindestens 2 Glasscheiben befindet sich eine Brandschutzschicht, die bei der Brandbeanspruchung einen undurchsichtigen wärmedämmenden Schaum bildet, welche Wärmestrahlung verhindert
 - keine Flammen auf der abgekehrten Seite
 - angehaltener Wattebausch darf sich nicht zünden
 - vom Feuer abgekehrte Seite darf sich nicht um mehr als 140 K erwärmen

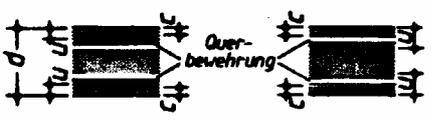
4.2.6 Brandwände

§ 29 Brandwände BauO des Bundes „(1) Brandwände müssen feuerbeständig und aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Sie dürfen bei einem Brand ihre Standsicherheit nicht verlieren und müssen die Verbreitung von Feuer auf andere Gebäude oder Gebäudeabschnitte verhindern.“

- dienen der Bildung von Brandabschnitten als Gebäudetrennwände oder Gebäudeabschlusswände
- müssen der Feuerwiderstandsklasse F90-A angehören
- dürfen beim Brand ihre Standsicherheit nicht verlieren
- Öffnungen in Brandwänden sind unzulässig. In inneren Brandwänden können sie gestattet werden, wenn sie mit selbstschließenden Abschlüssen der Klasse T 90 oder mit Verglasungen der Klasse F 90 gesichert werden
- Durchführungen von Kabeln und Lüftungsleitungen müssen z.B. mit Klappen von 90 Min. Feuerwiderstandsdauer gesichert sein.
- Bauteile mit brennbaren Baustoffen dürfen Brandwände nicht überbrücken
- Bauteile dürfen in Brandwände nur soweit eingreifen, dass der verbleibende Wandquerschnitt die Feuerwiderstandsklasse F 90 behält
- äußere Brandwände sind zu errichten als Abschlusswände von Gebäuden, die an der Nachbargrenze oder in $\leq 2,5$ m Abstand dazu errichtet werden.
- innere Brandwände sind zu errichten zwischen aneinander gebauten Gebäuden, innerhalb von Gebäuden in Abständen von ≤ 40 m.
- Ausführung: bei Gebäuden mittlerer Höhe 30 cm über Dach, sonst bis unmittelbar unter die Dachhaut.
- Ausführung von Brandwänden nach DIN 4102 T 4 bzw. Tabellenbuch

z.B. Normalbeton	200 mm
bewehrter Beton	120 mm
Mauerwerk	240 mm (Mauerziegel, Kalksandstein; $\rho \geq 1,4$)
- für Gebäude geringer Höhe F 90-AB
- Gebäude mit bis zu 2 Wohnungen: vom Gebäudeinneren F 30

vom Gebäudeäußeren F 90

Zeile	Schemaskizze für bewehrte Wände 	Zulässige Schlankheit h_g/d (h_g = lichte Geschoßhöhe)	Mindestdicke d in mm, falls Brandwand		Mindestachsabstand a in mm
			einschalig	zweischalig	
1	Wände aus Normalbeton nach DIN 1045 bewehrt, tragend	25	140	2x120	25
	bewehrt, nichttragend unbewehrt	Bemessung nach DIN 1045	120 200	2x100 2x180	nach DIN 1045
2	Wände aus Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge nach DIN 4232 der Rohdichteklasse $\geq 1,4$ $\geq 0,8$	Bemessung nach DIN 4232	250 300	2x200 2x200	-
3	Wände aus bewehrtem Porenbeton nichttragende Wandplatten der Festigkeitsklasse 4,4, Rohdichteklasse $\geq 0,7$, Festigkeitsklasse 3,3, Rohdichteklasse $\geq 0,6$	nach Zulassungsbescheid	175	2x175	20
	tragende, stehend angeordnete Wandtafeln der Festigkeitsklasse 4,4, Rohdichteklasse $\geq 0,7$		200	2x200	30
4	Wände aus Mauerwerk nach DIN 1053 Teil 1 und 2 unter Verwendung von Normalmörtel der Mörtelgruppe II, II a, oder III, III a	Bemessung nach DIN 1053 Teile 1 und 2 (Exzentrizität $e \leq d/3$)			
	Steine nach DIN 105 Teil 1 Rohdichteklasse $\geq 1,4$ $\geq 1,0$ DIN 105 Teil 2 $\geq 0,8$		240 300 365	2x175 2x175 2x240	-
	Steine nach DIN 106 Teil 1 Rohdichteklasse $\geq 1,4$ $\geq 0,9$ 0,8		240 300 300	2x175 2x200 2x240	
	Steine nach DIN 4165, DIN 18 151 bis 18 153 Rohdichteklasse $\geq 0,6$		300	2x240	

Tab. 4-9 Zulässige Schlankheit, Mindestwanddicke und Mindestachsabstand von ein- und zweischaligen Brandwänden nach DIN 4102 Teil 4 (Auszug)

4.2.7 Feuerschutzabschlüsse

- Feuerschutzabschlüsse sind bewegliche und selbstschließende Abschlüsse für Wände, die der Beanspruchung des Normbrandes (DIN 4102, T. 5) ohne Verlust des Raumabschlusses standhalten
- Türschließer verleihen Feuerschutzabschlüssen die Eigenschaft „selbstschließend“
- Feuerschutzabschlüsse bedürfen als Brauchbarkeitsnachweis in der Regel einer „allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung“ und sind werkmäßig dauerhaft zu kennzeichnen

5 Brandschutzkonzepte und Brandschutzmaßnahmen

5.1 Brandschutzkonzepte

- Brand rechtzeitig entdecken (Brandmelder) und löschen (Sprinkler)
 - frühzeitiger Löscheinsatz mit guten Erfolgsaussichten
 - Abschnittsbildung durch bauliche Barrieren zur Begrenzung eines Brandes
- konstruktiver Brandschutz
 - Gebäude übersteht größeres Feuer
 - Sicherstellen der Wirkung der tragenden und raumabschließenden Bauteile
- Ausbrand und Einsturz akzeptieren (Nachbarschaftsschutz)

Die Erfüllung der im folgenden genannten Anforderungen ist für ein Bauvorhaben jeweils nachzuweisen.

ANFORDERUNG	FUNDSTELLE DER VORSCHRIFT
Löschwasserversorgung	Art. 17(1) MBO
Zwei voneinander unabhängige Rettungswege	Art. 17(4) MBO
Feuerwehrezufahrt	Art. 17(4) MBO
Blitzschutz	Art. 17(5) MBO
Tragende Wände, Pfeiler, Stützen	Art. 25 MBO
Außenwände	Art. 26 MBO
Trennwände	Art. 27 MBO
Brandabschnitte	Art. 28 MBO
Decken und Böden	Art. 29 MBO
Dächer	Art. 30 MBO
Treppen	Art. 31 MBO
Treppenträume und Ausgänge	Art. 32 MBO
Notwendige Flure	Art. 33 MBO
Fenster	Art. 35 MBO
Aufzüge	Art. 34 MBO, AufzV
Lüftungsanlagen, Installationsschächte u. -kanäle, Leitungsanlagen	Art. 37 MBO u.a.
Feuerungsanlagen, Wärme- und Brennstoffversorgungsanlagen	Art. 38 MBO, FeuV
Aufenthaltsräume im Keller	Art. 46 MBO
Aufenthaltsräume im Dachgeschoss	Art. 46 MBO
Garagen	Art. 48 MBO, GaV

Tab. 5-1 Brandschutztechnische Anforderungen gemäß Musterbauordnung (MBO)

Vorbeugung gegen Brandentstehung:

- die Verwendung nicht brennbarer bzw. schwer entflammbarer Baustoffe
- die sichere Ausbildung aller baulichen Einrichtungen, die der Erzeugung von Feuer und Wärme, die der Abführung von Rauchgasen und die der Verteilung von Energie dienen.
- Maßnahme gegen Blitzschlag

5.2 Brandschutzmaßnahmen

- Entstehung eines Brandes vorbeugen
- Flucht und Rettung von Menschen ermöglichen
- Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Gebäudes begrenzen
- Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Gebäude verhindern
- wirksame Löscharbeiten ermöglichen

Entstehung eines Brandes vorbeugen

- gegen Brandeintrag von außen:
 - Blitzschutzanlagen
 - Gebäudeabstände einhalten
 - widerstandsfähige Bedachung und Außenwandverkleidung (so dass Flugfeuer und strahlende Wärme keine Chance haben)
- bei Brand im Gebäude:
 - Haustechnik
 - Rauchverbot
 - Regelmäßige Reinigung
 - Schulung und Unterrichtung von Personal
 - Brandwachen z.B. bei Schweißarbeiten
 - Benennung von Brandschutzbeauftragten
 - Produktionsmittel unter Berücksichtigung von Brandrisiken planen (Industrie)

Flucht und Rettung von Menschen ermöglichen

- außerhalb des Gebäudes
 - Zufahrt für Rettungsfahrzeuge
 - Durchgang zur Gebäuderückseite; ggf. Durchfahrt
 - Flächen für Aufstellung von Rettungsfahrzeugen
 - Anleiterbarkeit der Fassade
- innerhalb des Gebäudes
 - horizontale Rettungswege
 - Gänge
 - Flure, Fluchttunnel, Rettungsbalkone
 - Ausgänge ins Freie
 - vertikale Rettungswege
 - Treppen
 - Treppenräume, Sicherheitstreppenräume
 - Feuerwehraufzug
 - Anforderungen an Rettungswege
 - zulässige Länge und Mindestbreite, Übersichtlichkeit
 - Aufschlagrichtung von Türen
 - Brandverhalten von Baustoffen und Einbauteilen im Bereich von Rettungswegen
 - Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen
 - Entrauchung, Belichtung
 - Hinweisschilder
 - Sicherheitsbeleuchtung

- anlagentechnisch:
 - automatische Brandmeldeanlagen mit Warn- und Alarmierungssignal
 - Fluchtleitsysteme
- betrieblich:
 - Brandschutzordnung
 - Räumungsübungen
 - Benennung von Fluchthelfern

Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Gebäudes begrenzen

- keine leicht entflammaren Baustoffe verwenden
- Löscheinrichtungen für Erstbekämpfung:
 - Handfeuerlöscher
 - Wandhydranten
 - kleine bzw. entstehende Brände können sofort bekämpft werden
- Raumschutzanlagen (bei brandgefährdeten Räumen)
 - Sprinkleranlage
 - Objektschutzanlagen
- Rauchabzug
 - öffnbare Fenster
 - Rauchabzugsanlagen/Zwangslüftung
 - große Räume: Rauchschrzen
- Abschnittbildung (Rauch/Feuer), d.h. es werden bestimmte Anforderungen an Decken und Wände hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer gemacht
 - Geschosse
 - Nutzungseinheiten
 - Flure (Anforderungen an Brandlast, Rauchdichtigkeit)
 - Brandbekämpfungsabschnitte
 - Treppenräume
 - horizontale und vertikale Installationskanäle
- Abschnittbildung durch:
 - Trennwände
 - Decken
 - Außenwände (Feuerüberschlag von Geschoss zu Geschoss)
 - Brandwände
 - Öffnungsabschlüsse (Feuerschutzabschlüsse: Türen, Tore, Verglasungen, Brandschutzklappen)
- Anforderungen an die Bauteile:
 - Tragfähigkeit,
 - Raumabschluss,
 - Wärmedämmung,für bestimmte Zeitdauer (Feuerwiderstandsdauer DIN 4102)
- Anforderungen an die Abschnitte
 - Unterteilung von Fluren in Rauchabschnitte
 - Abstände von Brandwänden
 - Größe von Brandabschnitten abhängig von Einrichtung einer Sprinkleranlage
- Freianlagen
 - Abstände einzelner Anlagen untereinander

- selbsttätige Kühlungseinrichtung
- Schutzwände
- organisatorische Maßnahmen
- Betriebs- oder Werkfeuerwehr

Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Gebäude verhindern

- Mindestabstände und Abstandsflächen (abhängig von Gebäudehöhe und Außenwandbaustoffen)
- Abschnittsbildung gegenüber Nachbargebäuden
 - Gebäudetrennwände
 - Brandwände
 - Komplextrennung
- brennbare Flüssigkeiten vorhanden
 - Auffangbecken
- Bereiche baulich und anlagentechnisch so definieren, dass im Brandfall Abschnitte gebildet werden können
- Raumabschnitte: Verrauchung begrenzen bis zu einer bestimmten Größe des Brandes

Wirksame Löscharbeiten ermöglichen

- außerhalb des Gebäudes
 - Feuerwehrezufahrt
 - Gebäuderückseiten (Durchfahrten)
 - Aufstell- und Bewegungsflächen
 - Anleiterbarkeit
- innerhalb des Gebäudes
 - Rettungswege (= Angriffwege für Feuerwehr)
 - Abschnittsbildung (Rauch, Feuer)
 - Feuerwehraufzug
- ermöglichen frühzeitiger Meldung
 - nichtautomatische Druckknopfmelder
 - automatische Brandmelder (Rauchmelder, Wärmemelder, Flammenmelder, Gasmelder)
 - automatische Gefahrenmeldeanlage
- ausreichende Löschwassermenge/Löschmittel
 - öffentliche Löschwasserversorgung/Hydranten
 - private Löschwasserversorgung
 - Löschmittel, wie Pulver, Schaum, CO₂
- Löschanlüsse in ausreichender Zahl
 - Außenhydranten
 - Steigleitungen
 - Wandhydranten
- Rauch- und Wärmeabzug
 - Rauchabzugsanlagen, ggf. über Zwangslüftung
 - Dachflächenfenster
 - Fassadenfenster
- Notstromversorgung von Brandschutzeinrichtungen
 - Rauchabzugsanlagen
 - Sicherheitsbeleuchtung

- - Feuerwehraufzüge
- organisatorische Maßnahmen
- - Brandschutzpläne
- - Lagepläne
- - Feuerwehreinsatzpläne

5.3 Brandschutz auf der Baustelle

- Absperrung durch Bauzäune
- Flucht- und Rettungswege einrichten
- Feuerlöscheinrichtungen anlegen
- brennbares Material kennzeichnen und getrennt lagern
- brandgefährliche Arbeiten (Schweißen, Brennschneiden, Trennschleifen, Lötens usw.) nur mit der erforderlichen Sorgfalt, Sicherheit und Aufsicht, nur mit Erlaubnisschein durch Bauleitung.

6 Entstehung und Ablauf eines Brandes

6.1 Entstehung eines Brandes

Entstehungsbrand ist gekennzeichnet durch:

- Rauchsichtbildung
- Erhitzen der Umgebung des Brandherdes
- Flammenstrahlung (nimmt immer mehr zu)
- Ausbreitung auf weitere Brandlasten in der Nähe
- Ausbreitungsgeschwindigkeit $< 0,5$ m/min

Fortentwickelter Brand (bei großen hohen Hallen mit kleiner bis mittlerer Brandbelastung) ist gekennzeichnet durch:

- keine flash-over
- Brand auf größerer Teilfläche
- hohe Temperaturen im Bereich der Decke
- guter Rauch- und Wärmeabzug
- genügend Sauerstoffzufuhr
- Ausbreitungsgeschwindigkeit $< 1,0$ m/min

Vollbrand (bei kleineren Räumen mit mittlerer bis hoher Brandbelastung oder bei großen Gebäuden mit hoher Brandbelastung) ist gekennzeichnet durch:

- hohe Temperaturen unter der Decke und an der Brandlast (500 - 600 °C)
- flash-over
- plötzliche schlagartige Brandausbreitung mit Ausbreitungsgeschwindigkeiten > 5 m/min bis zu 20 m/s = 1200 m/min
- Flammen schlagen aus Öffnungen
- brandlastgesteuert
- ventilationsgesteuert (sehr unangenehm)

6.2 Ablauf eines Brandes (grundsätzlich drei Phasen):

1. Phase: Schwelbrand nach Zünden des Feuers

- Brandherd breitet sich aus und erhitzt die Raumluft mehr oder weniger schnell. Reicht die Raumlufttemperatur zum Feuerübersprung auf die Brandlast im gesamten Raum aus, nennt man dies flash-over.
 - maßgebende Parameter: Raumvolumen und Brandlast
 - dicht gelagerte Brandlast \Rightarrow lang dauernde Brandentwicklungsphasen (Schwelbrand)
 - Flüssigbrände (z.B. Benzin) \Rightarrow flash-over sehr rasch nach dem Zünden (Schwelbrand entfällt fast)
2. Phase: Erwärmungsphase des Vollbrandes
- starker Anstieg der Raumtemperaturen
 - Dauer wird bestimmt durch die im gesamten Brandraum vorhandene Abbrandenergiemenge
 - umgebende Bauteile werden aufgeheizt
 - eigentlicher Brandangriff auf das Bauwerk
 - maßgebende Parameter: Brandlast, Sauerstoffmenge, die im Brandraum zur Verfügung steht (Brandraumgeometrie, Ventilationsbedingungen), Material, das den Raum umschließt (geringe Wärmeleitfähigkeit \Rightarrow höhere Brandtemperaturen)
3. Phase: Abkühlphase
- Energie des abbrennenden Materials reicht nicht mehr aus, um die Brandraumtemperatur zu steigern oder aufrecht zu erhalten \Rightarrow aus den Brandraum umschließenden aufgeheizten Bauteilen fließt ein Wärmestrom in den Brandraum gerichtet zurück
 - die abnehmende Tendenz der Heißgastemperatur im Brandraum wird weitgehend durch die abgegebene Wärmeenergie der Bauteile bestimmt

7 Brandbelastung

7.1 Brandlast

Das gesamte Wärmepotential der in einem betrachteten Abschnitt befindlichen Stoffe und Materialien, die der Nutzung zuzurechnen sind, sowie der brennbaren Bestandteile des Gebäudes, d.h. Baustoffe in Bauteilen und an Bauteilen, wie Bekleidungen, Beschichtungen und Belägen.

- Art und Menge der brennbaren Stoffe
- rechnerische Brandbelastung (q_r) mit Ermessungsspielraum, da genaue Brandlast meist unbekannt, m-Faktoren nicht für alle Stoffe vorhanden
- Problem: Schätzung
- äquivalente Branddauer

$$t_{\text{äquivalent}} = q_R \cdot c \cdot w \quad [\text{min}] \quad (7-1)$$

mit

q_R rechnerische Brandbelastung [kWh/m²]

c Umrechnungsfaktor zur Erfassung unterschiedlicher thermischer Eigenschaften der Bauteile, die den Brandraum umfassen [min m² /kWh]

w Wärmeabzugsfaktor zur Beschreibung der Ventilationsbedingungen [-]
erforderliche Feuerwiderstandsdauer

$$\text{erf } t_f = \gamma \cdot t_{\text{äquivalent}} \quad [\text{min}] \quad (7-2)$$

Ermittlung der Brandbelastung

Brandlasten aus:

- Produktion/Lagerung
- Betriebsmitteln (z.B. Kabelisolierstoffe)
- Baustoffe

gleichmäßig verteilte Brandlast wird zugrunde gelegt.

7.2 Brandlast auf Teilflächen

Ermittlung aus Bestandsaufnahme

- Inventurlisten
- Werksangaben (Lagerbestand etc.)
- Zuschläge, um Unsicherheiten, Schwankungen auszugleichen
- Sonstige

Inventurlisten

- Rechner- Datei (Kleinteile, Gewischt, Art der Stoffe, Ortsangabe)
- nachprüfen (Tagesbedarf, Durchsatzmenge)

Werksangaben

- Werkfeuerwehr / Brandschutzingenieur
- Begehung vor Ort
 - tendenzieller Eindruck
 - Produktionsabläufe

Zuschläge (ca. 10 - 30 %)

- Notwendigkeit (Unsicherheit bei der Ermittlung, Planungsunsicherheiten, zeitl. Schwankungen)

Sonstige

- Zustand von brandschutztechnischen Einrichtungen
- Brandbelastung aus Baustoffen (Trapezbleche nicht zu berücksichtigen)
- Kabelisolierstoffe
 - mit steigender Automatisierung unsicherer

Teilflächen

- Punktbrandlasten $< 100 \text{ qm}$
- Vergrößerung BBA führt zu geringerem t_d

Verpackung und Ladungsträger

- Brandlast oft erheblich
- m-Faktor lagerungsabhängig

Besonderheiten bei Lagern

- Sprinkleranlage
- Regallager (keine 100 % Ausnutzung anzunehmen, zeitl. Schwankungen)

Abbrandfaktor m

- ermittelt durch äquivalente Branddauer aus Versuchen
 - mit Holzkrippen als Bezugsstoff ($m = 1$, $H_u = 4,8$) Heizwert
 - $w = 10$
 - Änderung in c und w der Norm
 - Zeiteinfluss

8 Brandmodelle

8.1 Gebäude

Gebäude

- Geometrie
- Baustoffe
- Brandlast
- Nutzer \Rightarrow Brandmodell \Rightarrow Auswertung der Ergebnisse des Modells
- Personenschutz, Sachschutz, Umweltschutz
- Brandschutzmaßnahmen
vorbeugend, baulich,
- Erkennung, Bekämpfung

8.2 Brandsimulationsmodelle

Zonenmodelle

- Einraummodelle = ein Raum ohne Dachöffnung mit 1 Fensteröffnung
- Mehrraummodelle = (MRFC) = Multi-room-fire-code
- Systemcodes, unbedeutend
- Feldmodelle = Berechnung ähnlich wie bei Finiten Elementen. Nur hier wird der Druck in jedem Feld berechnet

8.3 Zweck der Modellbildung

Verbindung zwischen Theorie und Praxis

- Brandszenario
 - praktisches Erfahrungsmodell
 - übertragbares Versuchsmodell (Experiment)
 - Rechenmodell (Wärmebilanzmodell)
- Beschreibung der Brandwirkungen
 - Abbrandverhalten des Brandgutes
 - Transport von Rauchgasen und Energie
 - Rauchgaszusammensetzung - Sichtweiten mind. 30 min > 30 - 50 m
 - welche Giftstoffe
 - Bauteilverhalten Wärmemenge bestimmender Faktor

8.4 Anforderungen an Modelle

Brandgeschehen mit angemessenem Aufwand möglichst umfassend beschreiben

- Abbrandverhalten
- Rauchgasschichten
 - Dicke
 - Temperatur
 - Gaszusammensetzung
 - Sichtweite
- Temperaturbelastung von Bauteilen und Einbauten

8.5 Was ist für die Praxis erforderlich?

Funktionserhalt/Standicherheit

- Bauteile
- Komponenten
- Kabel

Verrauchung (Rauch/Ruß; toxische Stoffe)

- Personenrettung
- manuelle Eingriffsmöglichkeiten

Brandfortleitung

8.6 Abbrandmodelle → Abbrandfaktor m

vorgegebener Abbrand, Versuchsergebnisse nachreichen

- Holzkrippenmodell
- temperatur- und ventilationsabhängiges Ölbrandmodell
- temperatur- und ventilationsabhängiges Kabelbrandmodell
- geometrisches Ausbreitungsmodell
- flash-over Simulation

8.7 Sprinklerparameter

- Anordnung der Sprinkler
 - in Plume oder außerhalb Plume
 - Deckenabstand zum Brandherd
 - Sprinklerabstand von Decke
- Größe und Verteilung der Wassertropfen
- Ausströmungsgeschwindigkeit
- Wasserleitung
- Temperatur und Geschwindigkeit in Plume
- RTI

8.8 Brandsimulation

Einsatzbereich

- Beurteilung größerer, komplexerer Bauwerke
 - Nachweis der Brandsicherheit
- Bsp.: Verrauchung, Standsicherheit

8.8.1 Unterschiede für Berechnung der Massenströme

Zonenmodelle	Systemcodes
Berücksichtigung der hydrostatischen Druckverteilung über die Öffnungshöhe	hydrostatische Druckverteilung bleibt unberücksichtigt
	Annahme: Druckdifferenz über die gesamte Höhe konstant
Massenströme können in beide Richtungen auftreten	zwischen 2 Kontrollvolumina kann jeweils nur 1 Massenstrom auftreten, der von dem Volumen mit dem höheren Druck in das Volumen mit niedrigerem Druck strömt

Tab. 8-1 Unterschiede bei der Berechnung der Massenströme

Damit Massenströme in beide Richtungen berücksichtigt werden können, müssen daher an 1 Öffnung 2 Kontrollvolumina angeordnet werden.

- Brandschutzgutachten aufgrund vorgegebenem Brandverlauf
 - Abbrandrate
 - Energiefreisetzung
 - Ermittlung der Brandwirkungen (auftretenden Temperatur
 - Ermittlung von t_F durch Wärmebilanzmodelle oder Vergleich mit ETK
- alle Modelle möglich, Zonenmodell ist einfacher

8.8.2 Aussagen für die praktische Anwendung

- Temperaturentwicklung

- Rauchschtichtentwicklung
- Rauchgaszusammensetzung
- Rauchausbreitung
- Brandausbreitung
- Sichtweitenbestimmung
- Funktionserhalt
- Standsicherheit von Bauteilen und Komponenten

8.8.3 Grenzen für die Anwendbarkeit von Brandsimulationsmodellen

- Abbrandmodelle fehlen \Rightarrow es müssen Annahmen getroffen werden
- Schulung der Anwender (Ausbildung)
- Modellgrenzen einhalten
- Parameterstudien bzgl. Segmentierung

Norm gestattet, dass Bauteile nach Normbrandbeanspruchung von festgelegter Dauer versagen dürfen, mit Ausnahme von Brandwänden gibt es keine Anforderungen hinsichtlich Resttragfähigkeit oder Wiederverwendung

- Sachschutz durch Norm nicht gewährleistet

praktische Anforderungen sind abhängig von Nutzung, Zweck, Gebäudehöhe:

- Erdgeschoss: sehr geringe Anforderungen
- bis 2 Obergeschosse (OG): geringe Anforderungen
- 2-5 OG: normale Anforderungen
- 5-7 OG: hohe Anforderungen
- ab 8. OG: sehr hohe Anforderungen