
Bauphysik

Brandschutz

Prof. Dr.-Ing. Petra Rucker-Gramm

*Vorlesungsunterlagen nur für studentische
Zwecke. Eine Weitergabe oder
Vervielfältigung, auch auszugsweise,
ist nur nach schriftlicher Genehmigung
durch die Verfasserin erlaubt.*

Brandschutz – Wozu?



Brandschutz – Wozu?

Brände brechen häufig
unter dem Dach aus



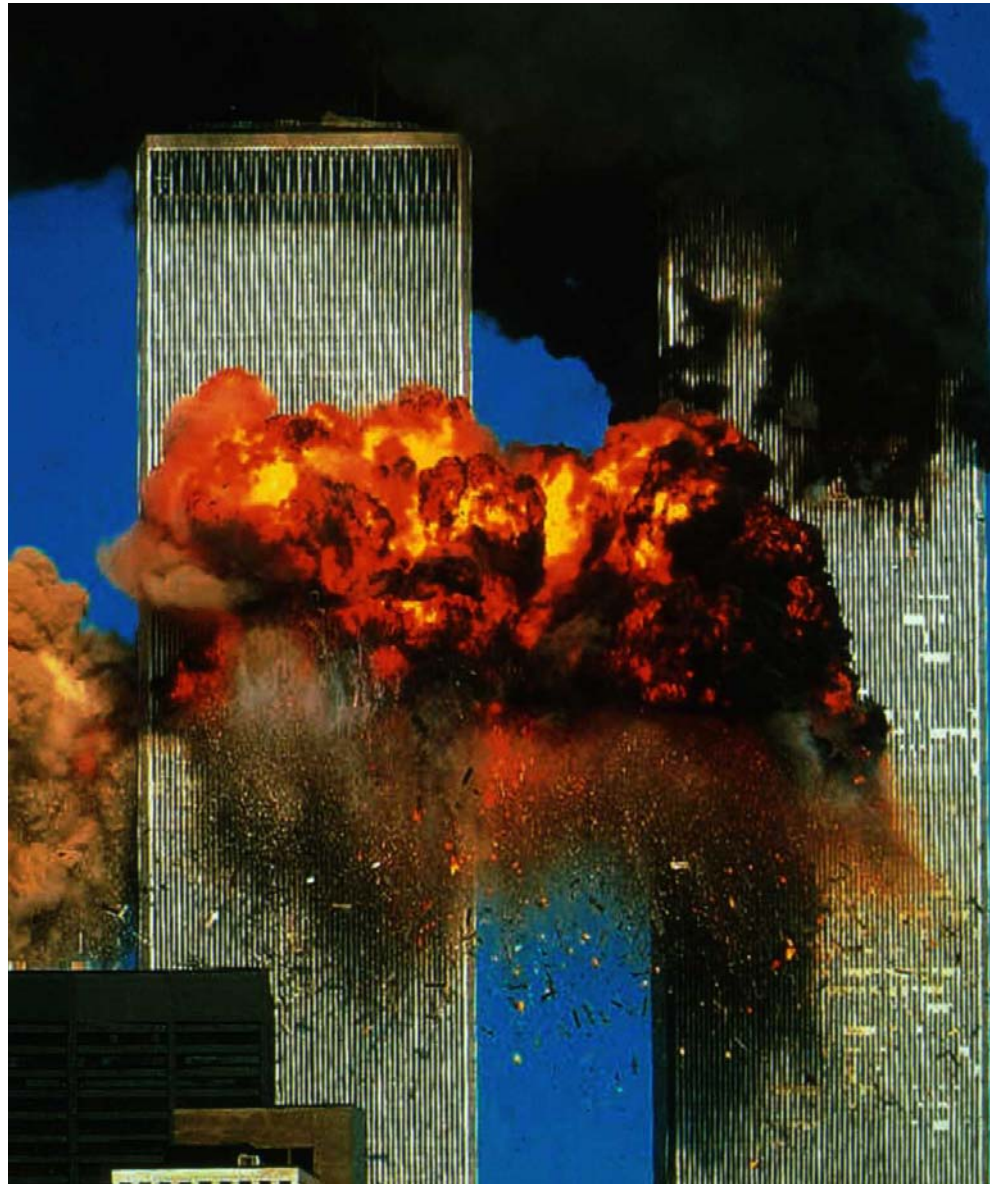
Brandschutz – Wozu?



Brand in einem Dachgeschoss

Brandschutz – Wozu?

Bekanntestes Beispiel:
Brand im Twin-Tower



Brandschutz – Wozu?

Anzahl der Brände

- etwa 1 Brand pro 100.000 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



Auswirkung von Bränden

- Die direkten und indirekten Brandschäden betragen in Deutschland etwa 0,2 % des Bruttoinlandproduktes, d.h. ca. 2,5 bis 3 Mrd. Euro pro Jahr



[Bundesverband der deutschen Ziegelindustrie]

Auswirkung von Bränden

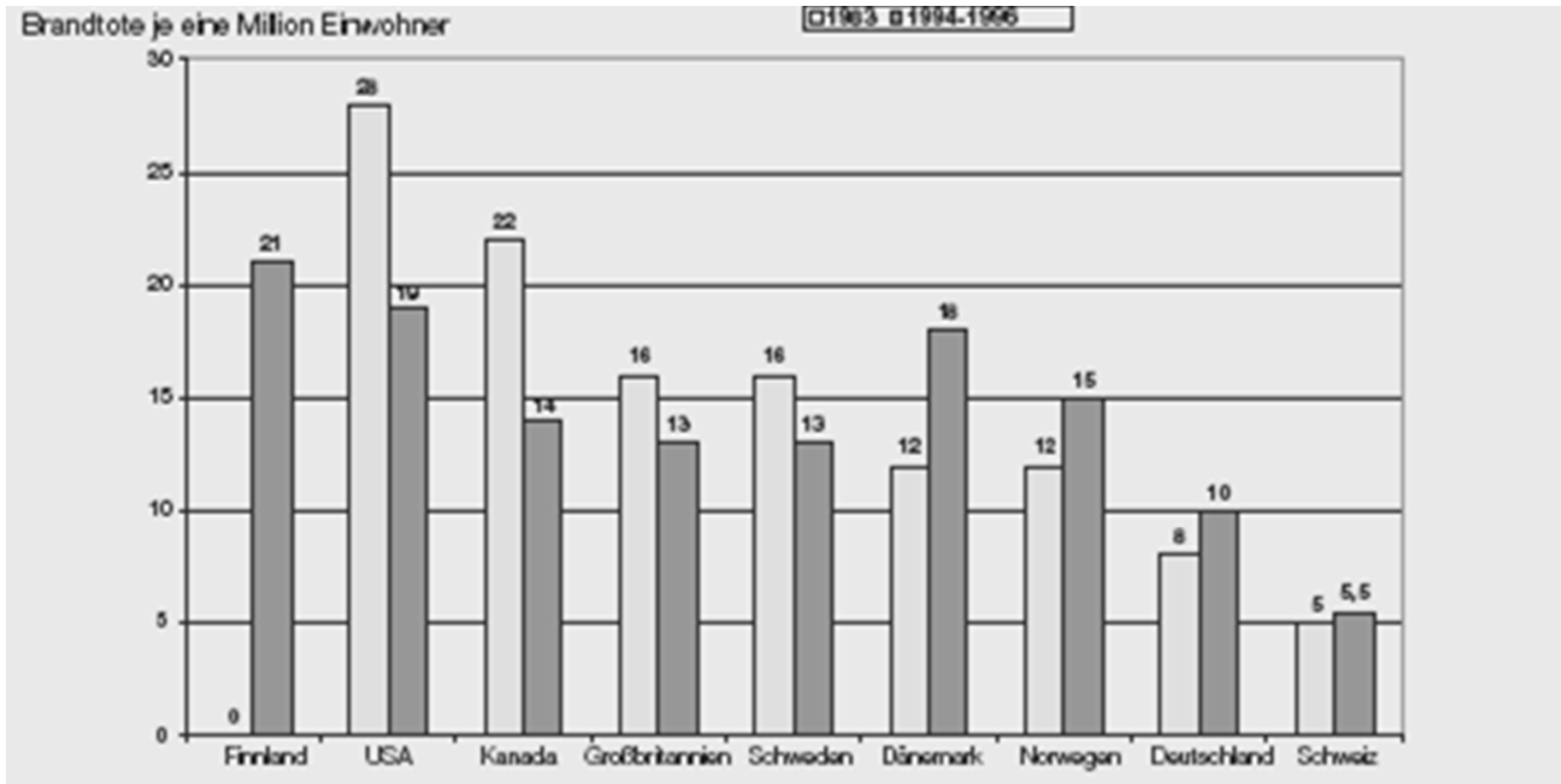
Aufteilung der Kosten

(ohne Transport- und Kfz Brände; nur versicherte Schäden)

- direkte Kosten (Sachschäden)	30 % (= 55€/Einwohner)
- vorbeugender Brandschutz (Bau)	30 %
- Feuerwehr	15 %
- Versicherung (Verwaltung)	15 %
- indirekte Kosten (z.B. Betriebsunterbrechung)	5 %
- Menschenleben	5 %
- Forschung und Information	0,0x %

Auswirkung von Bränden

-....hinzu kommen rd. 600-700 Brandtote im Jahr

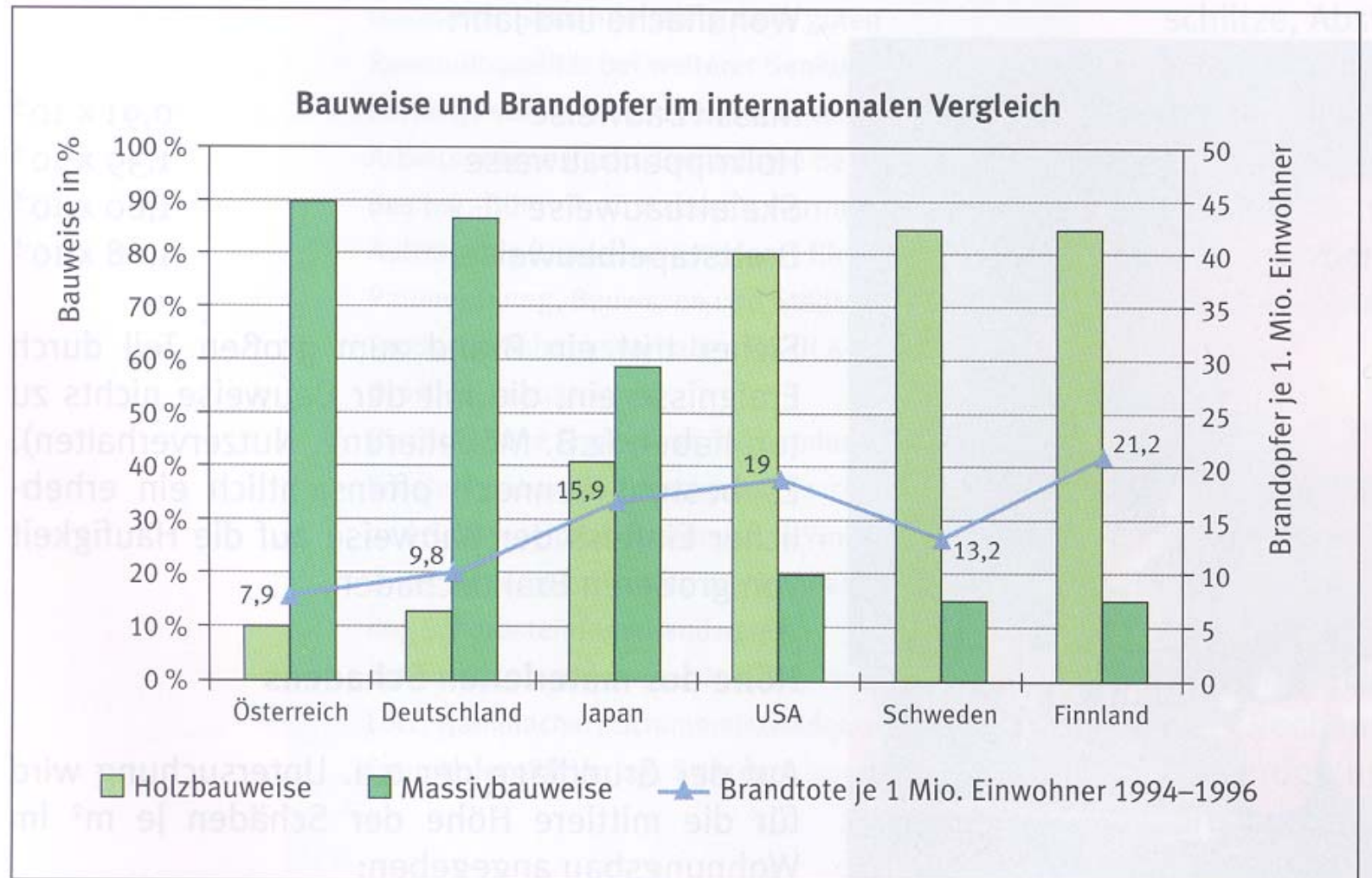


Im internationalen Vergleich liegt Deutschland im unteren Mittelfeld

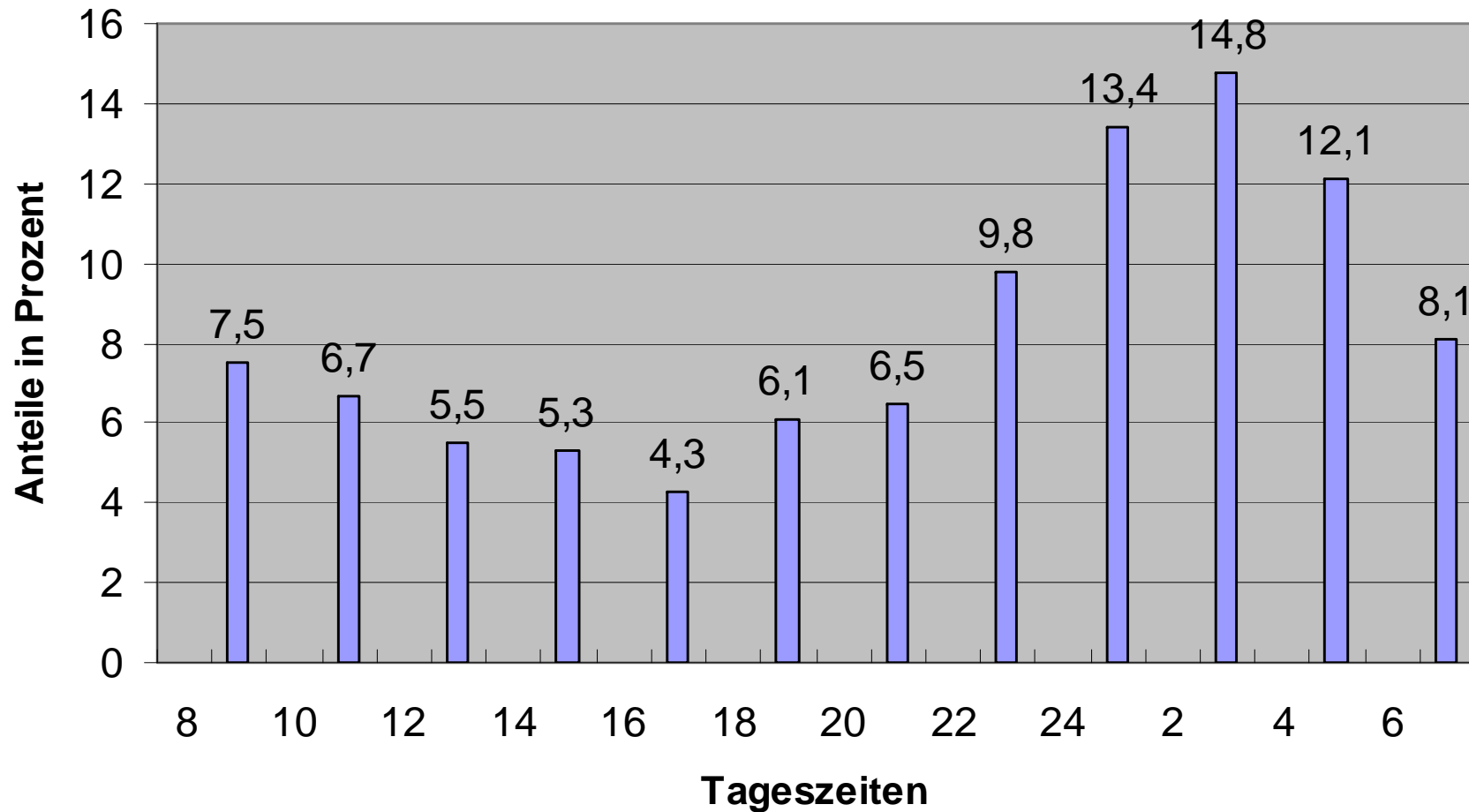
[Bundesverband der
deutschen Ziegelindustrie]

Auswirkung von Bränden

Der Verdacht, dass die Bauweise Einfluss auf Brandopferzahl hat, liegt nahe



Auswirkung von Bränden



Brände in Wohnungen mit Todesopfern, abhängig von der Tageszeit

Gefährliche Irrtümer

Gefährliche Irrtümer

Wenn es brennt, habe ich mehr als zehn Minuten Zeit, die Wohnung zu verlassen

Irrtum:

Sie haben durchschnittlich nur vier Minuten Zeit zur Flucht. Eine Rauchvergiftung kann sogar bereits nach zwei Minuten tödlich sein.

Meine Nachbarn oder mein Haustier werden mich rechtzeitig alarmieren

Irrtum:

Eine gefährliche Fehleinschätzung, wenn man nur zwei Minuten Zeit hat – besonders nachts, wenn Ihr Nachbar schläft und das Haustier im Nebenzimmer ist, ist es zu spät.

Gefährliche Irrtümer

Wer aufpasst, ist vor Brandgefahr sicher

Irrtum:

Elektrische Defekte sind häufig Brandursachen. Auch Brandstiftung im Haus oder im Hausflur sowie ein Brand in der Nachbarwohnung gefährden Sie trotz Ihrer Aufmerksamkeit ganz unverschuldet.

Steinhäuser brennen nicht

Das brauchen Sie auch nicht! Schon Ihre Tapeten oder ca. 100 g Schaumstoff in Ihrer Couch, sind ausreichend, um tödliche Rauchvergiftungen zu erzeugen.

Rauchmelder sind zu teuer

Ursachen für die Entstehung von Bränden

Brandursachen in Wohngebäuden

Blitzschlag	35,0 %
offenes Feuer	16,1 %
Elektrizität	10,1 %
Brandstiftung	6,7 %
Explosion	6,3 %
Überhitzung	5,6 %
menschliches Fehlverhalten	3,3 %
Selbstentzündung	2,9 %
feuergefährliche Arbeiten	1,0 %
unbekannte Ursachen	28,2 %

Auswirkungen von Bränden

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

Ziele

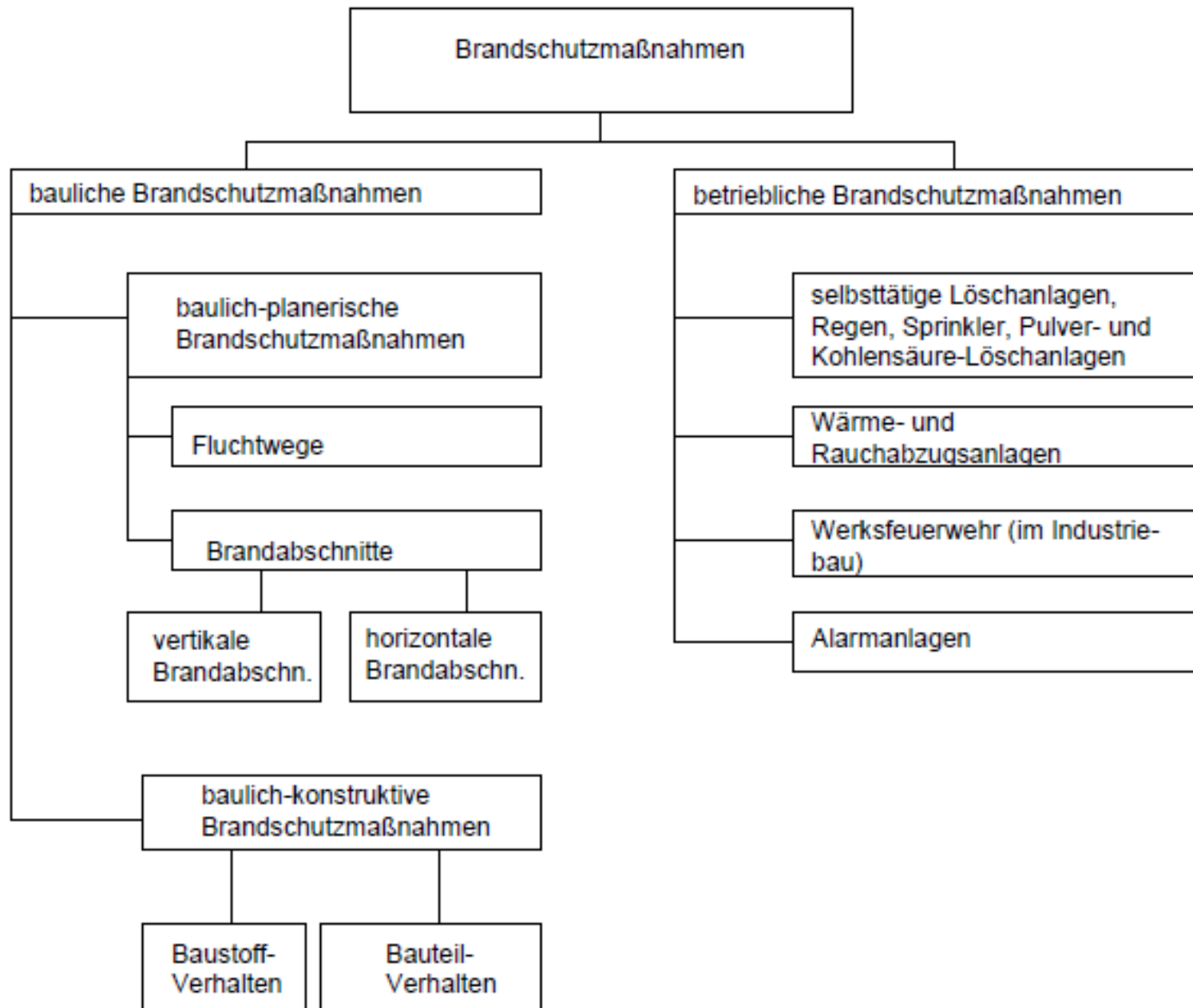
Ziele des Brandschutzes:

- Schutz und Rettung von Menschen und Tieren
- Schutz und Erhaltung von Sachgütern
- Verhütung von Brandausbreitung / Schutz des Bauwerkes (Objektschutz)

Vorrangige Ziele der Brandschutzvorschriften:

- Der Entstehung von Bränden vorbeugen
- Brände auf bestimmte Abschnitte begrenzen
- Flucht- und Rettungswege vom Feuer freihalten und dadurch auch den Löschangriff der Feuerwehr ermöglichen

Primäre Brandschutzmaßnahmen



Der Brandverlauf – die Startbedingungen

Startbedingung für jeden Brand

- brennbarer Stoff plus
- Sauerstoff plus
- Zündenergie

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)

Der Brandverlauf

Der Verlauf eines Brandes wird im wesentlichen bestimmt durch:

- Menge und Art der brennbaren Materialien (Brandlast), die das Gesamt- Wärmepotential darstellen,
- Konzentration und Lagerungsdichte der Brandlast,
- Verteilung der Brandlast im Brandraum,
- Geometrie des Brandraumes,
- Thermische Eigenschaften – insbesondere Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität – der Bauteile, die den Brandraum umschließen,
- Ventilationsbedingungen, die die Sauerstoffzufuhr zum Brandraum steuern,
- Löschmaßnahmen

Baustoffverhalten / Bauteilverhalten

Es wird differenziert zwischen dem Baustoff- und dem Bauteilverhalten.

Baustoffverhalten: Beschreibung des Materials hinsichtlich der Brennbarkeit (und ggf. zusätzlicher Eigenschaften wie z.B. Rauchentwicklung) unter definierten Randbedingungen

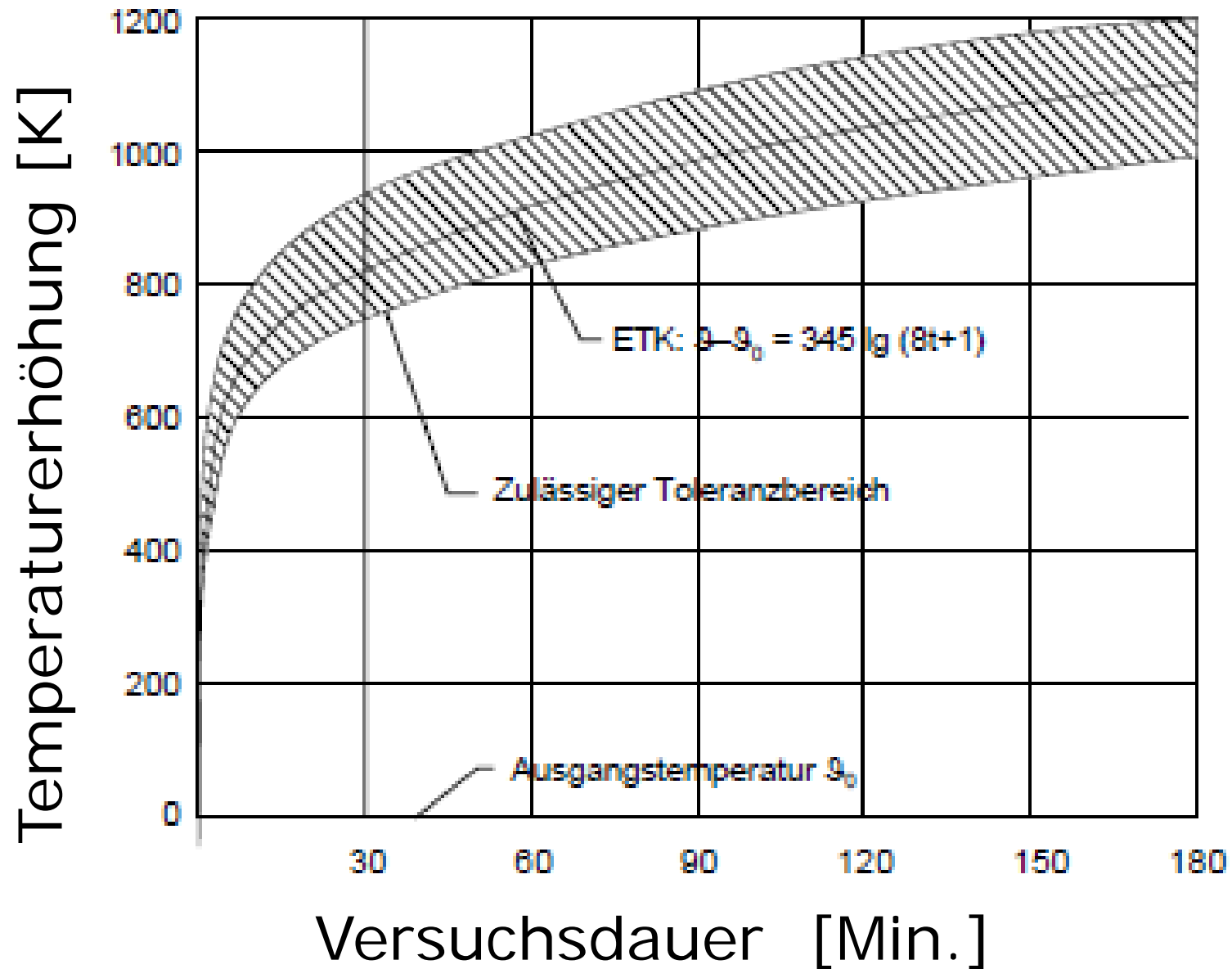
Bauteilverhalten: Beschreibung des Bauteils gegenüber einer definierten Brandbeanspruchung unter definierten Randbedingungen

Brandverlauf, Bsp. Hochhaus

Einzelne Brandphasen am Beispiel eines Hotelbrandes in Südamerika



Bauteilverhalten - Einheitstemperaturzeitkurve



Bauteiltests nach DIN 4102

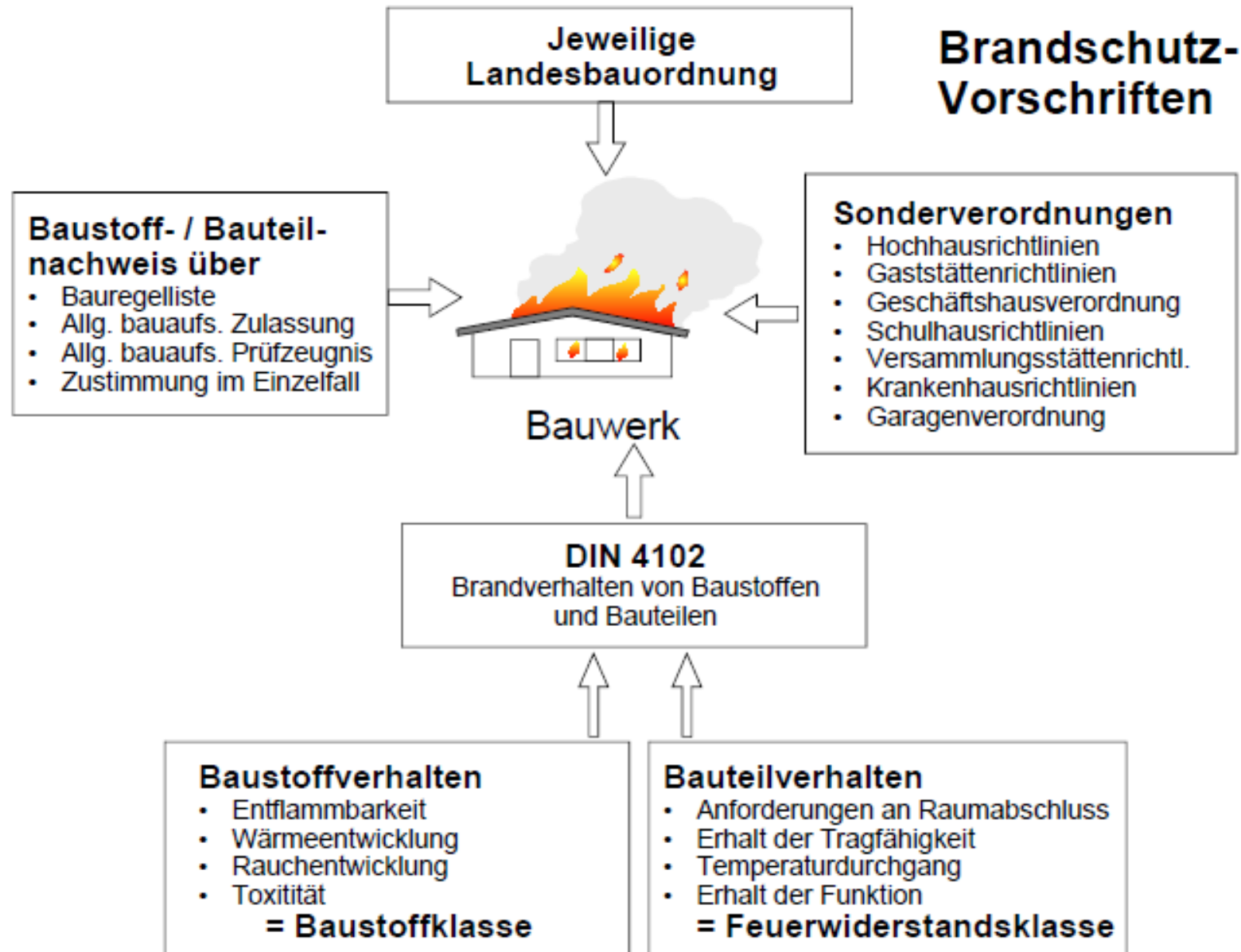
Einstufung in eine Feuerwiderstandsklasse

2 Prüfkörper müssen die Kriterien einer Normprüfung über eine Prüfdauer (= Feuerwiderstandsklasse oder höher) bei Wärmebeanspruchung gemäß der Einheitstemperaturkurve erfüllen

Feuerwiderstandsdauer

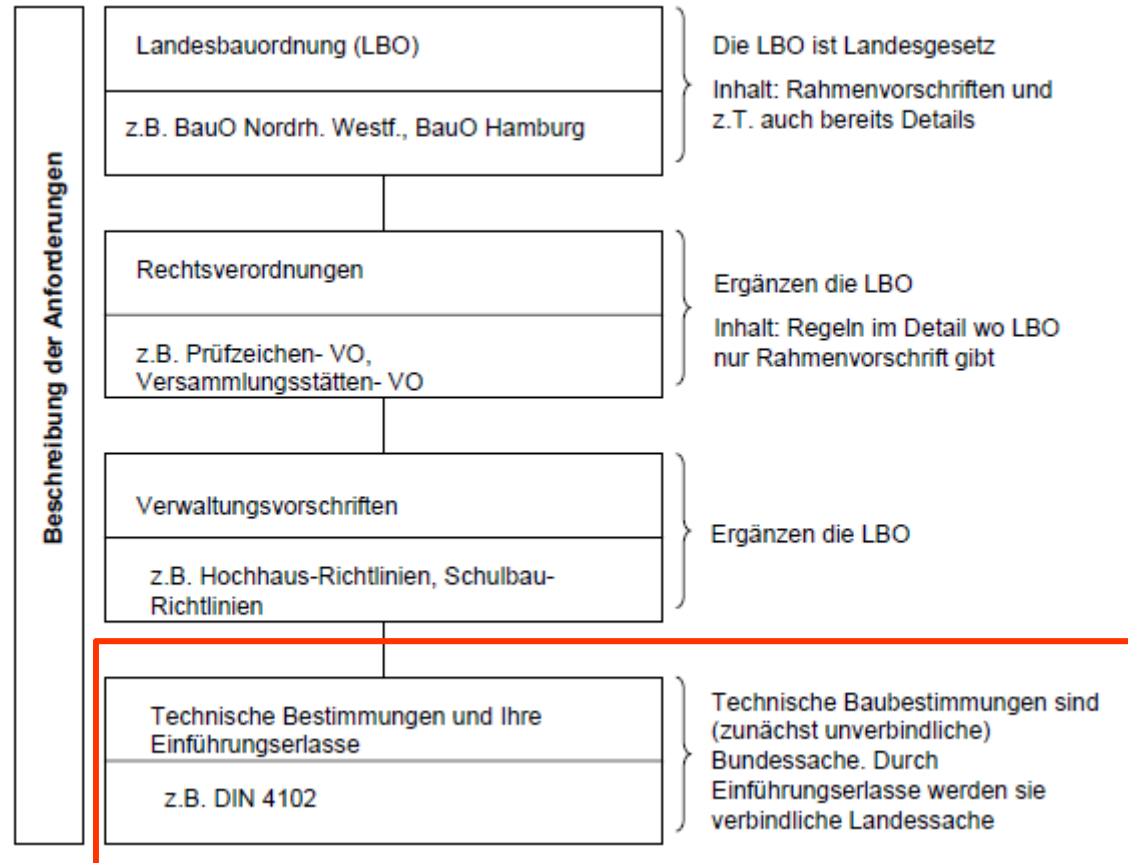
beschreibt das Brandverhalten von Bauteilen;
gibt die Mindestdauer an, während der ein Bauteil bestimmte Anforderungen erfüllen muss

Brandschutzvorschriften



Die Hierarchie der Vorschriften

Brandschutzanforderungen sind Landesangelegenheiten und werden somit in entsprechenden Gesetzen und Verordnungen geregelt (Landesbauordnung)

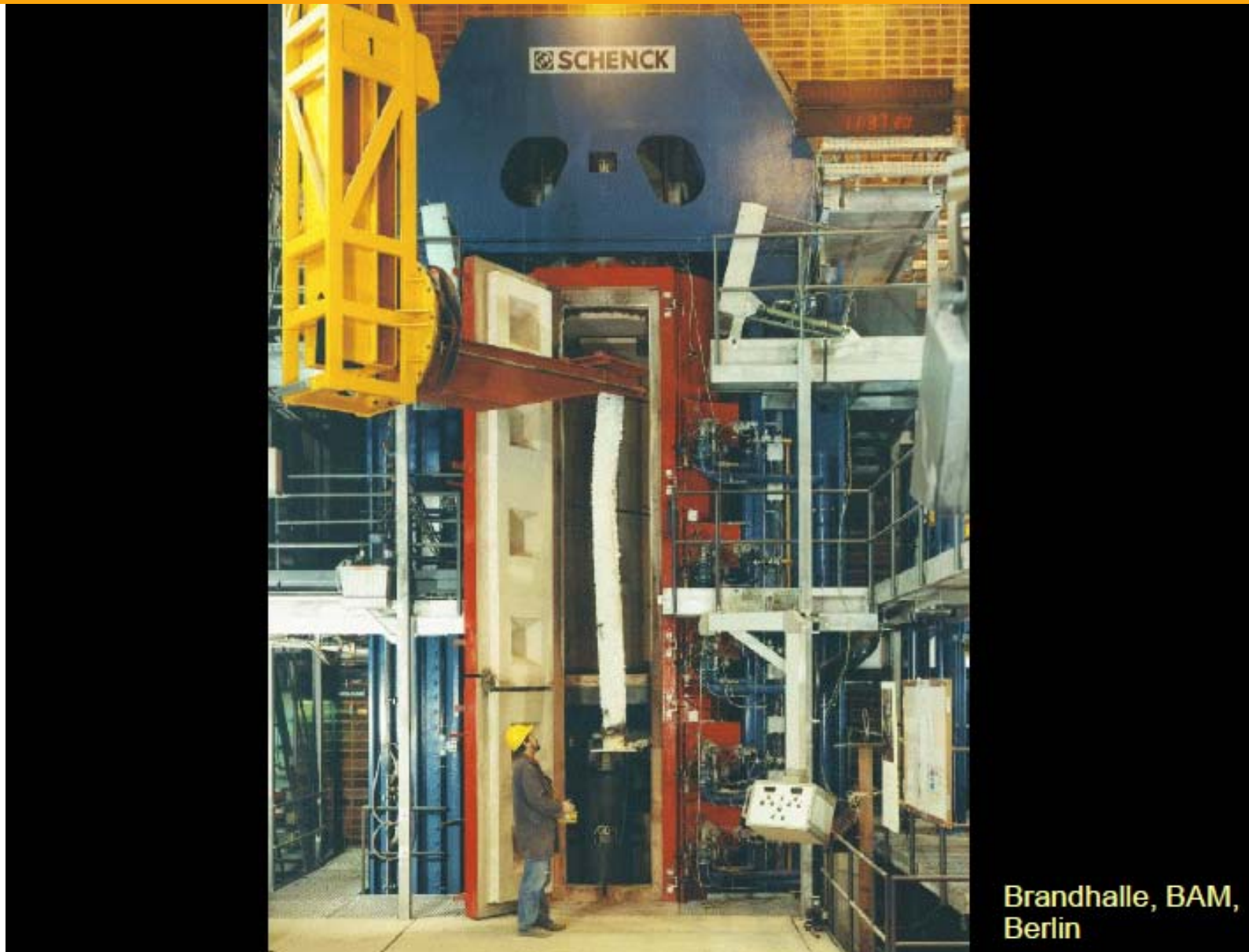


- DIN 4102
- Ergänzungsblatt A1 zur DIN 4102-4, Ausgabe 11.04
- europäische Klassifizierungsnormen DIN EN 13501

Prüfstand zur Durchführung von Bauteiltests



Prüfstand zur Durchführung von Bauteiltests

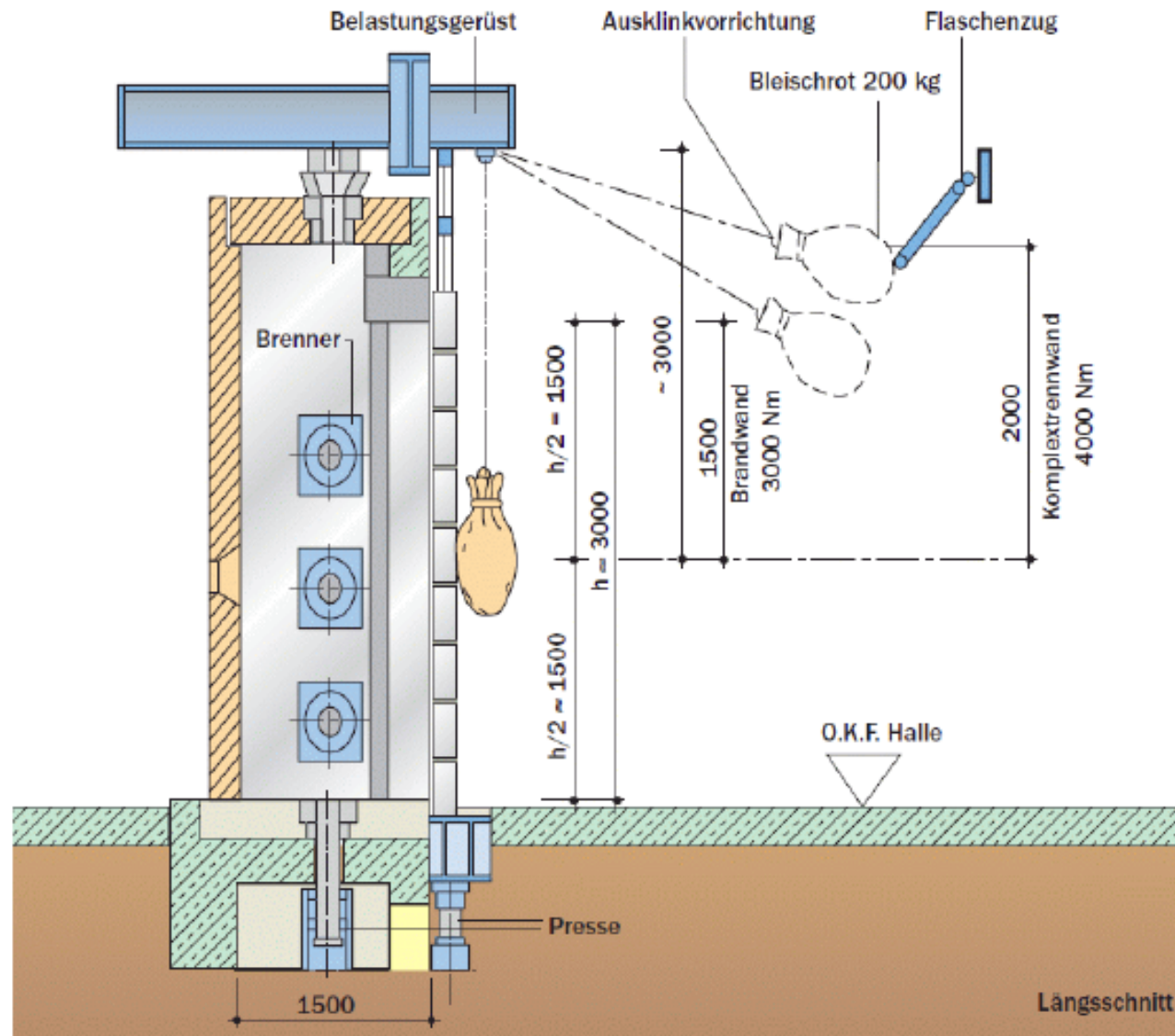


Brandhalle, BAM,
Berlin

[Prof. Schulz]

Prüfstand zur Durchführung von Bauteiltests

Prüfanordnung für Brand- und Komplextrennwände nach DIN 4102-3.



Prüfstand zur Durchführung von Bauteiltests

Abbruchkriterium für Brandversuche 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.

Feuerwiderstandsklassen

Feuerwiderstandsklassifizierung

- 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: F 90

Bauaufsichtliche Bezeichnung der Feuerwiderstandsklassen

- feuerhemmend: \equiv F 30,
- Hochfeuerhemmend: F 60
- feuerbeständig: \equiv F 90
- hoch feuerbeständig: \equiv F 120, F 180

Feuerwiderstandsklassen

Angaben zur Feuerwiderstandsklassifizierung

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

Mögliche 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 in Mauerwerksbauart mit Betondecken)
- F 30-BA: Feuerhemmend, aus brennbaren Baustoffen mit Oberflächen aus nicht brennbaren Baustoffen (z.B. Holzhaus, innen und außen mit Gipskartonplatten verkleidet)

Die Musterbauordnung (MBO) - Baustoffe

§ 26 Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten von **Baustoffen**

Baustoffe

1. nichtbrennbare,
2. schwerentflammbare,
3. normalentflammbare.

Leichtentflammbare Baustoffe dürfen nicht verwendet werden, es sei denn, sie erreichen in Verbindung mit anderen Baustoffen mind. die Kategorie "normalentflammbar"

Baustoffklassen nach DIN 4102-1

DEUTSCHE NORM

Mai 1998

	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen Teil 1: Baustoffe Begriffe, Anforderungen und Prüfungen	DIN 4102-1
--	--	----------------------

Tabelle 1: Baustoffklassen

Baustoffklasse	Bauaufsichtliche Benennung
A A 1 A 2	nichtbrennbare Baustoffe
B B 1 B 2 B 3	brennbare Baustoffe schwerentflammbare Baustoffe normalentflammbare Baustoffe leichtentflammbare Baustoffe

Die Euroklassen für Baustoffe

Euroklassen nach EN 13823 im Vergleich zu DIN 4102-1

Euro-klasse	Sicherheitsziel	Klasse nach DIN 4102-1
A1	Kein Beitrag zum Brand unter Vollbrandbedingungen	A1 (nicht brennbar)
A2	Vernachlässigbar geringer Beitrag zum Brand unter Vollbrandbedingungen; in der Brandentwicklungsphase keine Brandausbreitung aus dem Bereich des Primärbrandes	A2 (nicht brennbar mit Zusatzstoffen)
B	Sehr geringer Beitrag zum Brand; in der Brandentwicklungsphase keine Brandausbreitung aus dem Bereich des Primärbrandes	B1 (schwer entflammbar)
D	In der Brandentwicklungsphase begrenzte Brandausbreitung; hinnehmbare Energiefreisetzung und Entzündbarkeit	B2 (normal entflammbar)
F	Keine Anforderung an das Brandverhalten	B3 (leicht entflammbar)

Die Euroklassen für Baustoffe

Euroklassen nach EN 13823 im Vergleich zu DIN 4102-1

Euro-klasse	Sicherheitsziel	Klasse nach DIN 4102-1
A1	Kein Beitrag zum Brand unter Vollbrandbedingungen	A1 (nicht brennbar)
A2	Vernachlässigbar geringer Beitrag zum Brand unter Vollbrandbedingungen; in der Brandentwicklungsphase keine Brandausbreitung aus dem Bereich des Primärbrandes	A2 (nicht brennbar mit Zusatzstoffen)
B	Sehr geringer Beitrag zum Brand; in der Brandentwicklungsphase keine Brandausbreitung aus dem Bereich des Primärbrandes	B1 (schwer entflammbar)
C	In der Brandentwicklungsphase sehr begrenzte Brandausbreitung begrenzte Energiefreisetzung und Entzündbarkeit	
D	In der Brandentwicklungsphase begrenzte Brandausbreitung; hinnehmbare Energiefreisetzung und Entzündbarkeit	B2 (normal entflammbar)
E	Bei einem sehr kleinen Brand (Zündholzflamme) hinnehmbares Brandverhalten bezüglich Entzündlichkeit und Flammausbreitung	
F	Keine Anforderung an das Brandverhalten	B3 (leicht entflammbar)

Die Musterbauordnung (MBO) - Bauteile

§ 26 Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten von **Bauteilen**

Bauteile - Feuerwiderstandsfähigkeit

1. feuerbeständig
2. hochfeuerhemmend
3. feuerhemmend

Die Feuerwiderstandsfähigkeit bezieht sich bei tragenden und aussteifenden Bauteilen auf deren Standsicherheit im Brandfall, bei raumabschließenden Bauteilen auf deren Widerstand gegen die Brandausbreitung.

Die Musterbauordnung (MBO) - Bauteile

Begriffe und Anforderungen an Bauarten und Bauteile im vorbeugenden baulichen Brandschutz

- › feuerbeständig (F90, F120)
- › neu: hochfeuerhemmend (F60) (mit Änderung der MBO 11/2002)
- › feuerhemmend (F30)
- › feuerwiderstandsfähig (G30 - G120)

F30-A: alle wesentlichen Teile der Konstruktion sind aus nicht brennbaren Baustoffen/-produkten

F30-B: wesentliche Teile der Konstruktion können brennbar sein (z. B. nicht brennbare Beplankung)

F30-AB: wesentliche Teile sind nicht brennbar, aber z.B. brennbare Beplankung haben

Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen

- nicht brennbar (A1, A2 nach DIN 4102-1)
- schwerentflammbar (B1 nach DIN 4102-1)
- normalentflammbar (B2 nach DIN 4102-1)

Leichtentflammbare Baustoffe (B3 nach DIN 4102-1) dürfen nicht verwendet werden

Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten von Bauteilen

- **feuerbeständig*** (F90 A, F90 A-B nach DIN 4102-2)
- **hochfeuerhemmend*** (F60 A, F60 A-B nach DIN 4102-2)
- **feuerhemmend*** (F30 A, F30 A-B, F30-B)

* Standsicherheit bei tragenden und aussteifenden Bauten; Widerstand gegen Brandausbreitung bei raumabschließenden Bauteilen

Anforderungen aus der Musterbauordnung

= bauaufsichtliche Anforderungen am Beispiel von Wänden und Stützen:

Gebäudeklasse	1	2	3	4	5
Gebäudeart	Freistehende Gebäude	Gebäude			Wohngebäude bis zur Hochhausgrenze
Wohnungen/Nutzungseinheiten	≤ 2	≤ 2	> 2	nicht mehr als 400 m ² Wohn-/Nutzungsfläche je Einheit	
Höhe des obersten Aufenthaltsraumes bzw. Geschosses	h ≤ 7 m			h ≤ 13 m (neu)	13 m < h ≤ 22 m
Normalgeschosse	keine Anforderung	feuerhemmend	feuerhemmend	hochfeuerhemmend (bisher feuerbeständig)	feuerbeständig
Kellergeschosse	feuerhemmend	feuerhemmend	feuerbeständig	feuerbeständig	feuerbeständig
Geschosse im Dachraum	keine Anforderung			hochfeuerhemmend, wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind, sonst keine Anforderung	feuerbeständig, wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind, sonst keine Anforderung

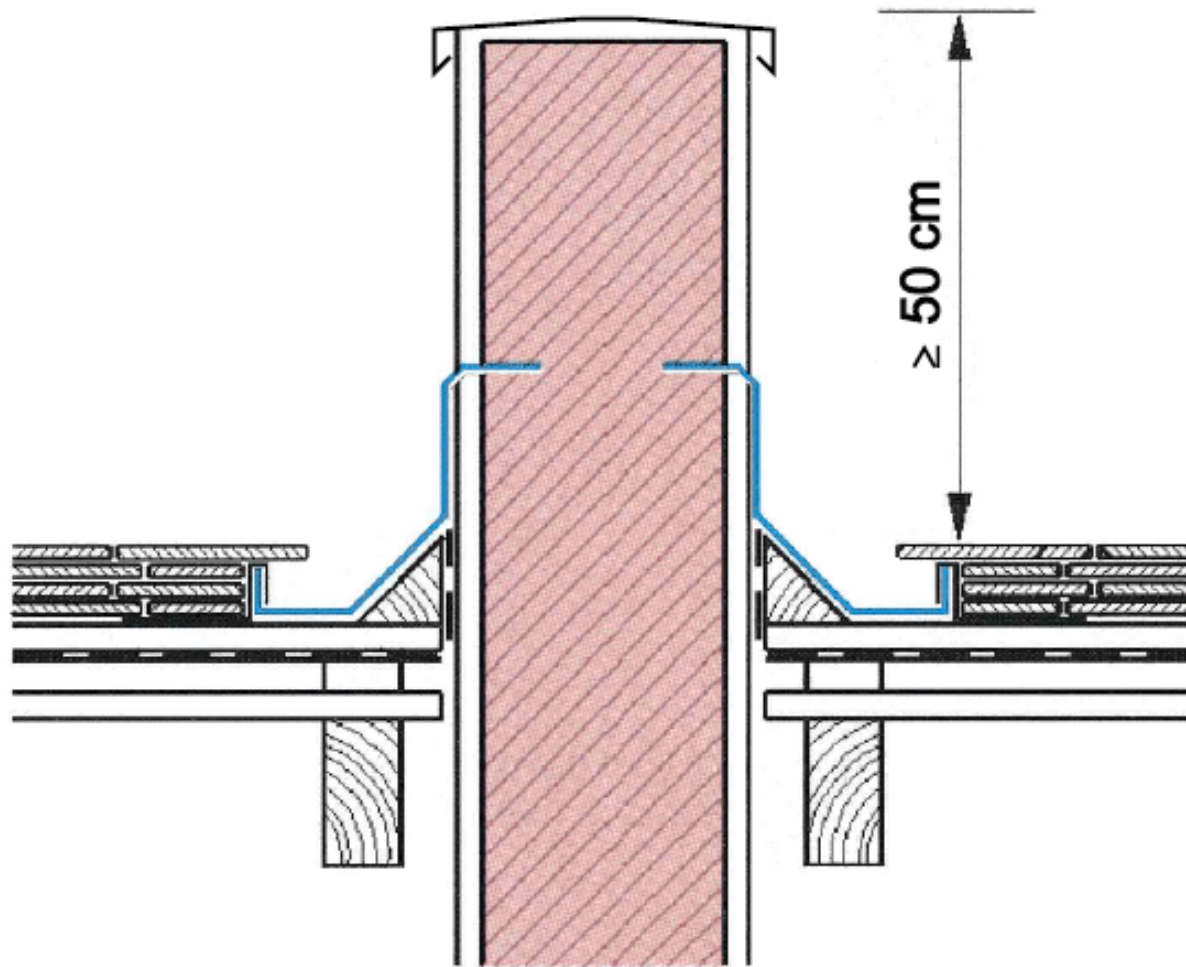
Anforderungen aus der Musterbauordnung

§ 30 Brandwände

Ziel: Gebäudeabschlusswand oder Gebäudeabschnittswand, die ausreichend lange die Brandausbreitung auf andere Gebäude oder Brandabschnitte verhindern soll

- erforderlich bei geringem Gebäudeabstand
- im Inneren von Gebäuden mind. je 40 m Gebäudelänge, bei landwirtschaftlichen Gebäuden je 10000 m³,
- ➤ auch unter zusätzlicher mechanischer Beanspruchung feuerbeständig und aus nichtbrennbaren Baustoffen

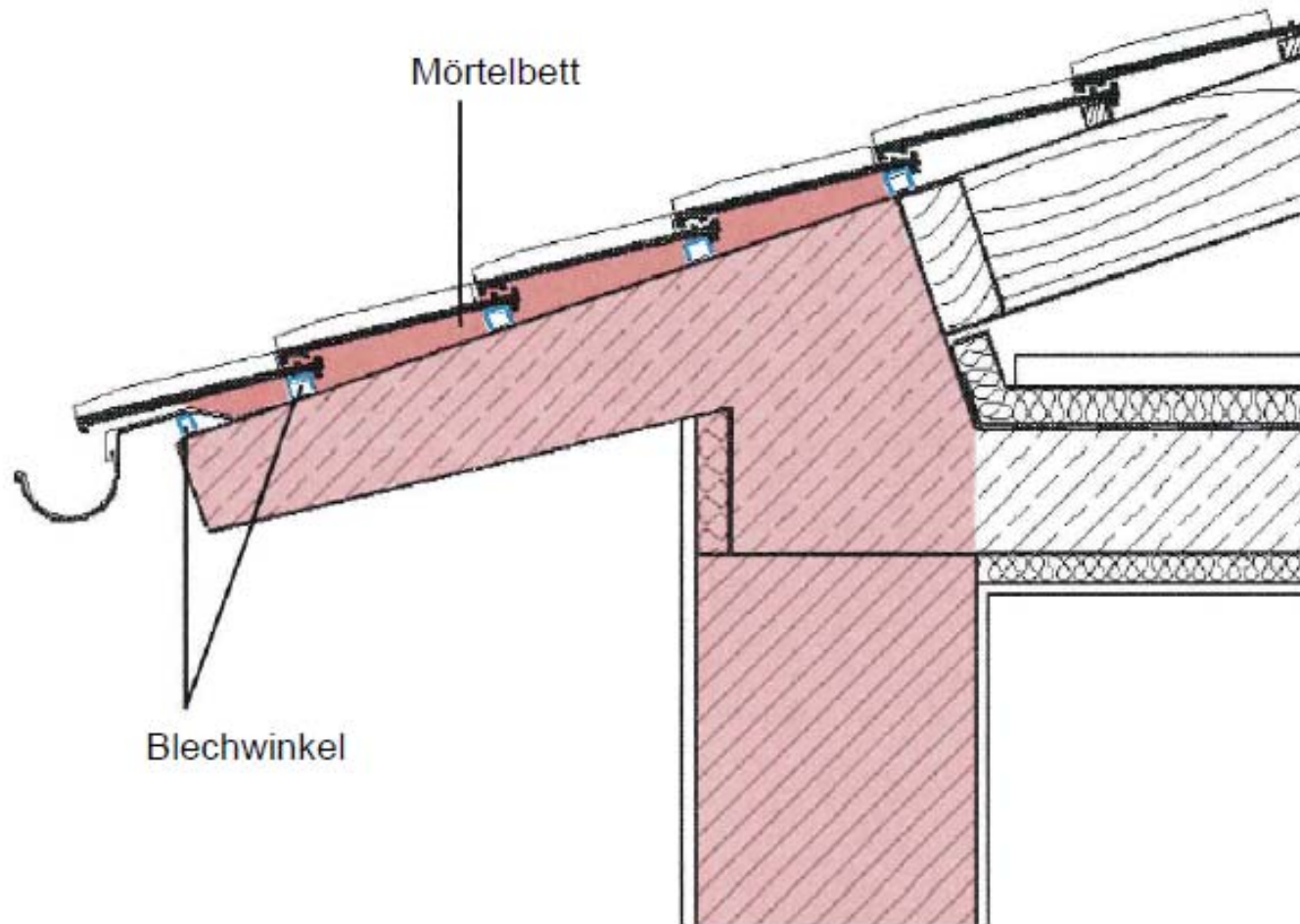
Brandwände



Brandwand bei brennbarer Bedachung (Holz)

(Quelle: Baulicher Brandschutz)

Brandwände



Dachvorsprünge im Traufbereich entlang von Brandwänden müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen hergestellt werden. (Quelle: Baulicher Brandschutz)

Brandwände



Die Brandwand hat die Ausbreitung des Brandes verhindert (Quelle: Baulicher Brandschutz)

chutz]

Brandwände



Die Brandwand hat ihre Funktion nicht erfüllt

(Quelle: Baulicher Brandschutz) [Prof. Schulz]

Das Brandverhalten der Baustoffe



[Prof. Schulz]

Hochtemperatureigenschaften von Beton

Unter den bei natürlichen Bränden auftretenden Temperaturen

- bleibt Beton weitgehend fest,
- trägt Beton nicht zur Brandlast bei,
- leitet Beton den Brand nicht weiter,
- bildet Beton keinen Rauch,
- setzt Beton keine toxischen Gase frei

Quelle: Zement-Merkblatt H1 Hochbau

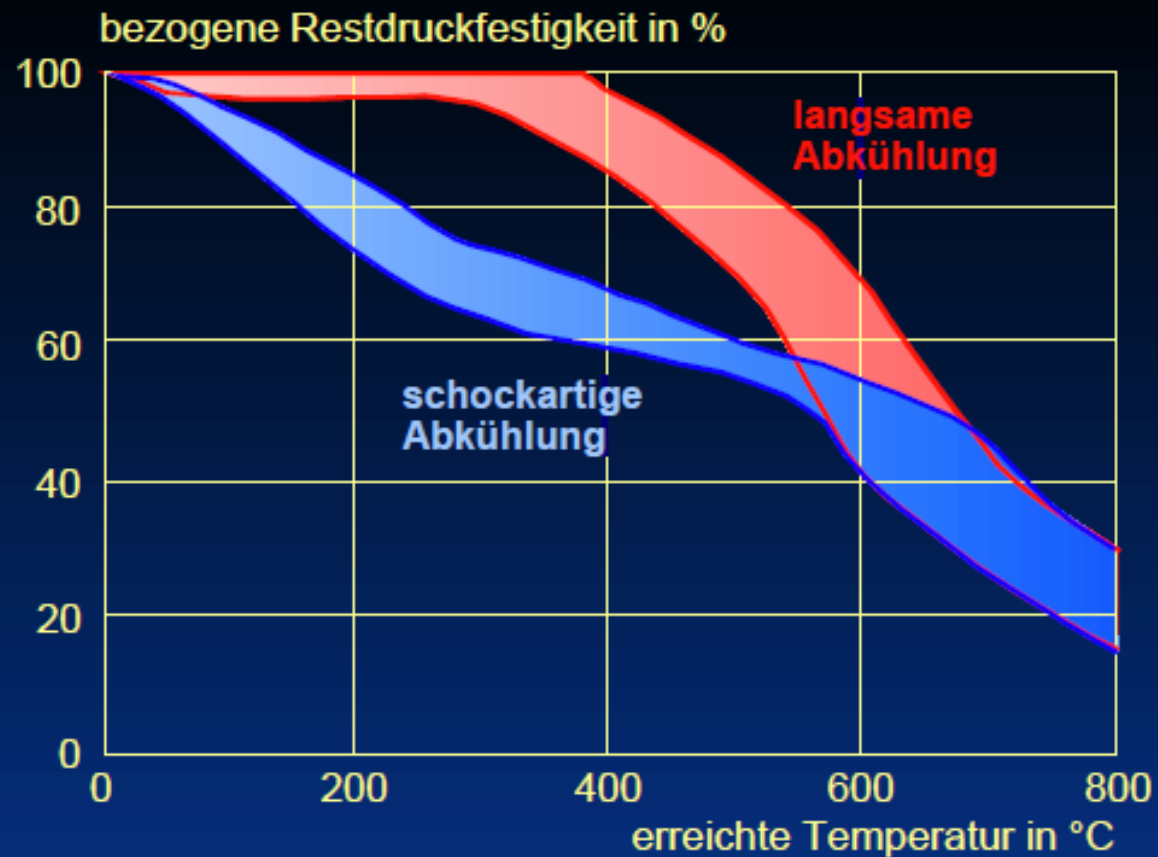
Beton

Mechanische und thermische Hochtemperatureigenschaften von Beton und Stahlbeton

Abbaureaktionen im Beton bei hohen Temperaturen

Temperaturen in °C	Reaktionsabläufe
100	Entwässerung
180	Gelabbau (Dehydratation, 1. Stufe)
500	Portlanditersetzung
570	Quarzumwandlung
≥ 700	Zersetzung der CSH-Phasen
≥ 800	Kalksteinentsäuerung
1150 - 1200	Beginn des Schmelzens

Beton



Restdruckfestigkeit von Normalbeton nach dem Wiedererkalten in Abhängigkeit von der vorher erreichten Maximaltemperatur u. von den Abkühlungsbedingungen (nach Haksever und Krampf)

Beton



Baustahl

Mechanische und thermische Hochtemperatureigenschaften von Baustahl

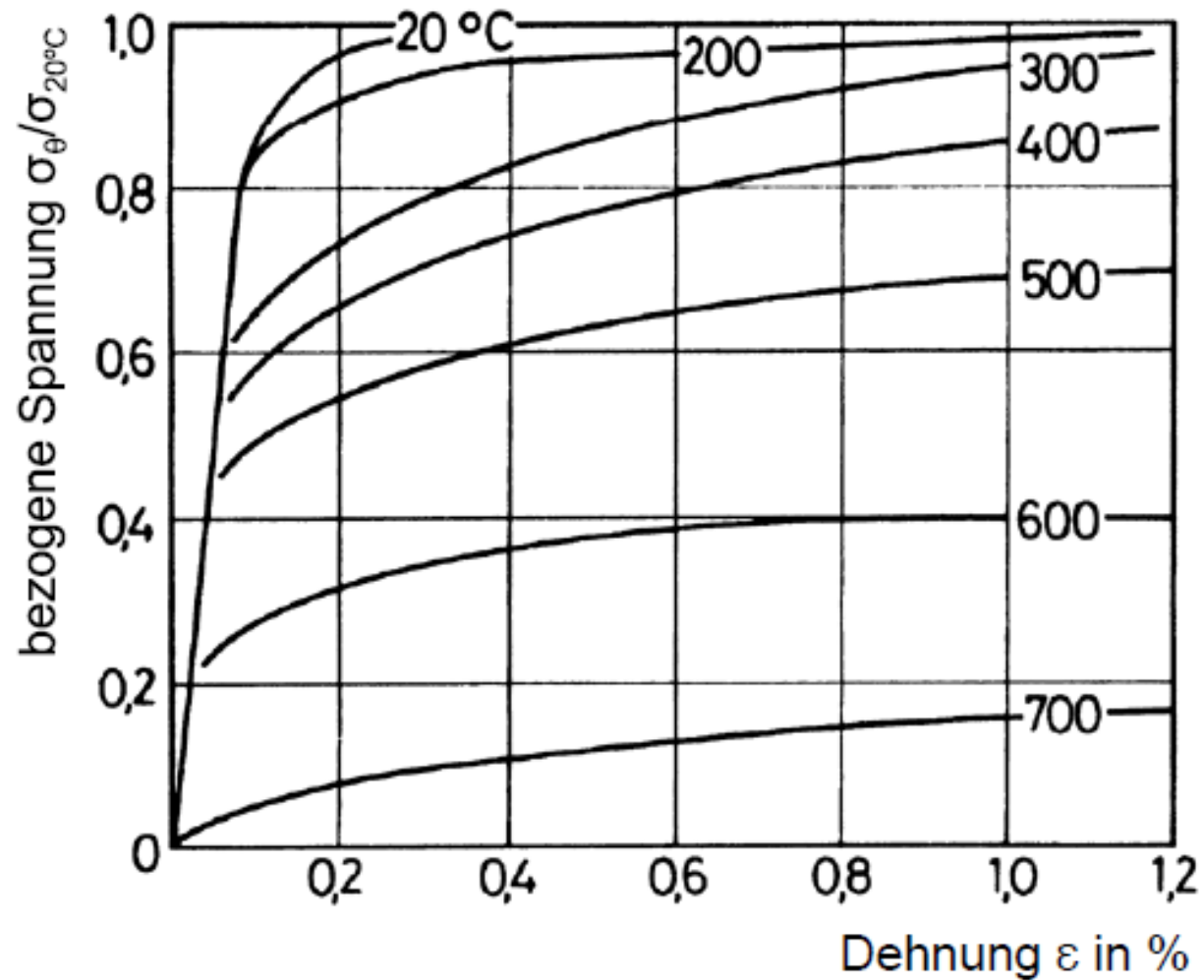
- Stahl ist an sich nichtbrennbar
 - problematisch
 - ▶ hohe Wärmeleitfähigkeit
 - ▶ Gefügeänderungen
 - ▶ Festigkeitsabnahme
 - ▶ Abnahme des E-Moduls
 - ▶ Kriechen
- bei hohen Temperaturen
- } Verformungs-
zunahme
- Brandschutzmaßnahmen erforderlich!

Baustahl im Brandversuch



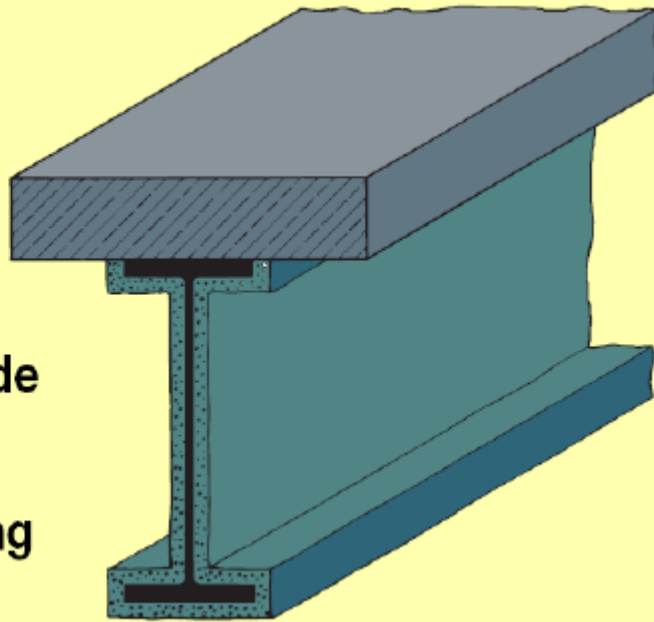
Baustahl

Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustahl S 235 in Abhängigkeit von der Temperatur

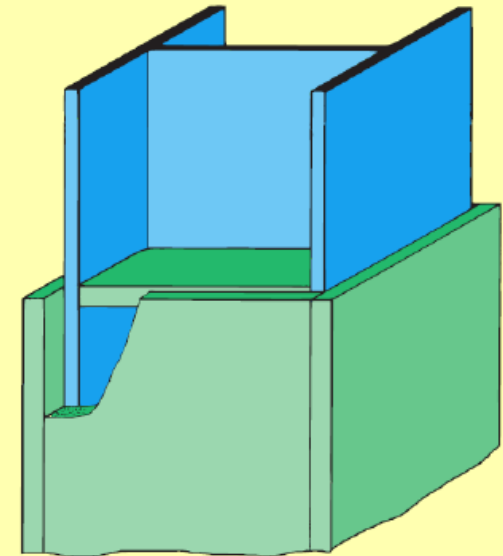


Beispiele für Brandgeschützten Baustahl

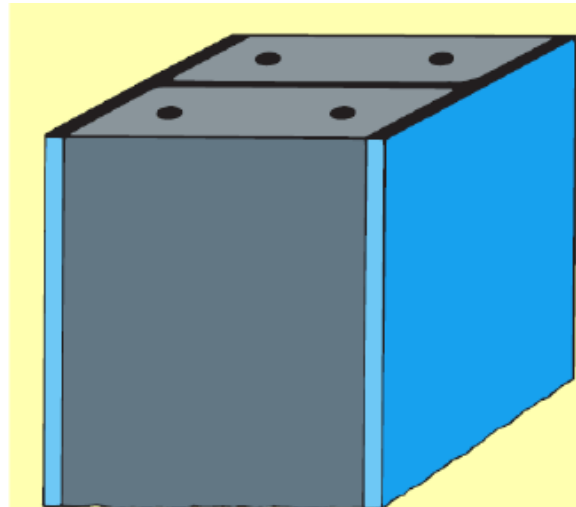
**Profilfolgende
Spritz-
ummantelung**



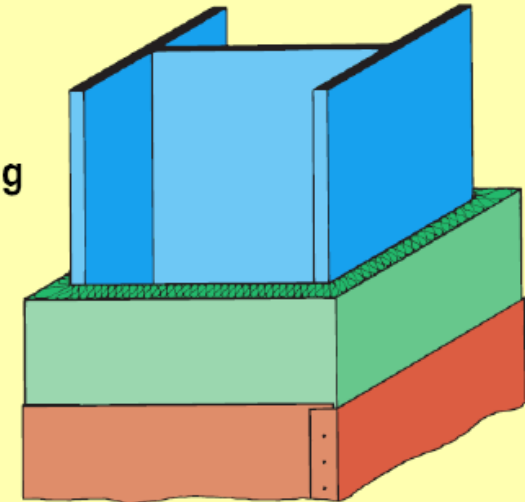
**Kasten-
förmige Um-
mantelung
mit vor-
gefertigten
Platten**



**Kammerge-
füllte Stütze**



**Ummantelung
mit Mineral-
fasermatten
und Blech-
verkleidung**

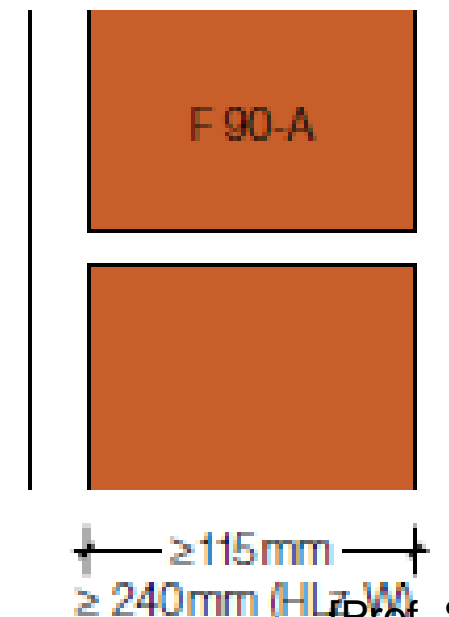


Mauerwerk

Mechanische und thermische Hochtemperatureigenschaften von Mauerwerk

- Wenig Erwärmung durch geringe Wärmeleitfähigkeit und große Wärmespeicherfähigkeit
- Feuerwiderstand wird durch Putz vergrößert

Beidseitig verputzte tragende raumabschließende Ziegelwände aus Ziegeln nach DIN V 105-1, 105-2 und 105-6 erfüllen bereits in der Mindestwanddicke 115 mm, bei Hochlochziegeln W in der Wanddicke 240 mm, die höchste bauaufsichtliche Anforderung feuerbeständig (F 90-A).



Holz und Holzwerkstoffe

Mechanische und thermische Hochtemperatureigenschaften von Holz



Holz und Holzwerkstoffe

Mechanische und thermische Hochtemperatureigenschaften von 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.
- Die Feuerwiderstandsklasse ungeschützter tragender Holzbauteile hängt somit im Wesentlichen vom Ausgangsquerschnitt und der Spannungsausnutzung ab.
- Je nach Bekleidung (Gipskartonplatten und nicht brennbare Dämmstoffe) ist sogar F90-B erreichbar, da die Entzündung des tragenden Holzes verzögert wird.

Holz und Holzwerkstoffe

Abbrandgeschwindigkeit verschiedener Holzarten

Holzart	Rohdichte [kg/m³]	Abbrandge- schwindigkeit [mm/min]	Rechnerische Abbrand- geschwindigkeit [mm/min]
Fichte	420 - 480	0,63 - 0,73	0,80
Brettschichtholz	450 – 500	0,60 – 0,66	0,70
Buche	680 – 730	0,72 – 0,82	0,80
Eiche	640 – 720	0,43 – 0,50	0,56

Quelle: M. Krus, Fraunhofer-Institut, Holzkirchen

Holz und Holzwerkstoffe

Naturbrandversuche 7 Minuten nach Entzündung, Vergleich brennbarer Oberflächen mit Gipsfaserplattenverkleidung



Quelle: Kirchner, Brandschutz - Aktuelle Anforderungen und Beispiele im Holzbau

Holz und Holzwerkstoffe



[Prof. Schulz]

Holz und Holzwerkstoffe

