

8 Brandschutz

8.1 Brandschutzziele

Durch Brände in Gebäuden können Risiken für Leib und Leben von Personen sowie Schäden an ihrem Hab und Gut und an den Gebäuden entstehen. Es ist das Ziel des Brandschutzes, diesen Gefahren vorzubeugen. Ein sachgerechter *baulicher Brandschutz* ist die Grundlage für wirksame vorbeugende Maßnahmen zum Personen- und Sachschutz sowie für eine gezielte Löschfähigkeit der Feuerwehr.

Mit Beton lassen sich die grundlegenden baulichen Brandschutzmaßnahmen (**Tafel II.8.1-1**) zuverlässig und dauerhaft ausführen. Beton als mineralischer Baustoff brennt nicht bei den in einem Schadenfeuer üblicherweise auftretenden Temperaturen. Beton- und Stahlbetonbauteile erreichen einen hohen *Feuerwiderstand* [Nec2].

8.2 Hochtemperaturverhalten von Beton

Im Brandfall werden der Beton bzw. die Betonbauteile einer instationären *Temperaturbeanspruchung* ausgesetzt. Im Vollbrand können nach den ersten zehn Minuten im Brandraum bereits Temperaturen von 600 bis 800 °C erreicht sein. Nach 30 bis 40 Minuten können sie bei 1000 bis 1200 °C liegen [Kor1, Lan2]. Wenngleich sich die im Beton vorhandenen Temperaturen deutlich niedriger einstellen, so vollziehen sich im Baustoff unter diesen Erwärmungsbedingungen umfangreiche stoffliche Wechselwirkungen. Bedingt durch chemisch-mineralogische

Tafel II.8.1-1: Grundsätzliche Forderungen an den baulichen Brandschutz und zugehörige bauliche Maßnahmen mit beispielsweise Betonbauteilen

Grundforderung	bauliche Brandschutzmaßnahmen
Tragfähigkeit des Bauwerks für bestimmte Zeit erhalten	Bauteile aus nicht brennbaren Baustoffen und mit einem hohen Feuerwiderstand
Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch vorbeugen	nicht brennbare Wände und Decken sowie nicht brennbare und lange feuerwiderstandsfähige Abschottungen im Inneren der Gebäude und zu Nachbargebäuden
Rettung der Benutzer von Bauwerken sicherstellen; Sicherheit der Rettungsmannschaften gewährleisten	Rettungswege aus nicht brennbaren Bauteilen, die einen hohen Feuerwiderstand haben und lange gefahrlos benutzt werden können
wirksame Löschfähigkeit ermöglichen	zuverlässig hoher Feuerwiderstand der Tragkonstruktion, damit ein wirkungsvolles Löschen im Inneren des Gebäudes sichergestellt ist kein brennendes Abtropfen

und physikalische Vorgänge – in Abhängigkeit von der *instationären Erwärmung* – verändern sich fortlaufend die Betonstruktur und damit die technischen Eigenschaften [Kor2]. Die wesentlichsten Veränderungen beim Beton bestehen in *thermischen Dehnungen* und chemischen Umwandlungen der Gesteinskörnung sowie im *Schwinden* des Zementsteins. Hierdurch

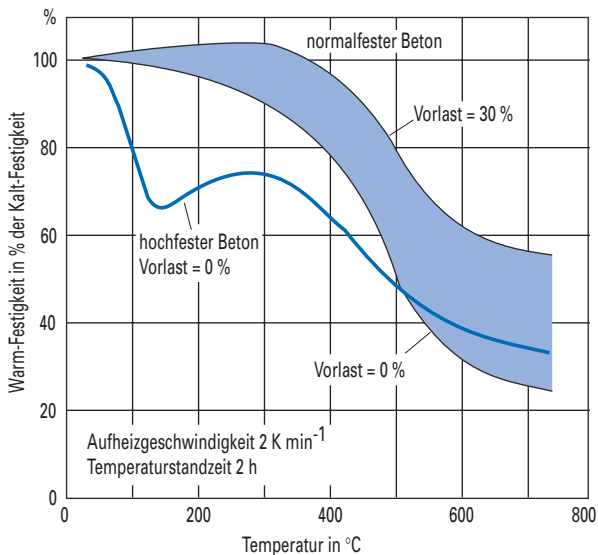


Bild II.8.2-1: Relative Warm-Festigkeit von normalfestem und hochfestem Beton mit quarzhaltiger Gesteinskörnung – bezogen auf die Festigkeit bei Raumtemperatur

bedingte Gefügeschädigungen führen zu einer Abnahme der *Festigkeit* und zu *Verformungen*. Die **Bilder II.8.2-1** und **II.8.2-2** zeigen tendenziell – in Abhängigkeit von der Temperaturerhöhung – den Abfall der Festigkeit sowie die thermische Dehnung bzw. Stauchung von Betonen mit quarzhaltiger Gesteinskörnung [Sch13, Die1]. Je nach Art und Zusammensetzung reagieren die Betone unterschiedlich auf die instationäre Wärmebeanspruchung, wie sie in einem Brandfall auf die Betonbauteile

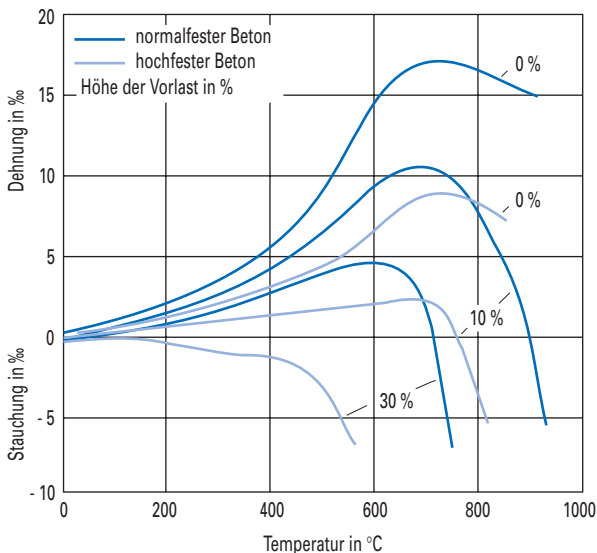


Bild II.8.2-2: Gesamtverformung von normalfestem und hochfestem Beton mit quarzhaltiger Gesteinskörnung bei instationärer Temperaturbeanspruchung mit unterschiedlich hoher Vorlast

einwirkt. *Kalksteinbeton* zeigt beispielsweise im Vergleich zum Beton mit quarzitischer Gesteinskörnung bei $> 600\text{ °C}$ eine um bis zu 4 ‰ geringere Dehnung. Dies bewirkt einen höheren Feuerwiderstand von entsprechenden Bauteilen. Bei Gebäudebränden treten infolge von Kräfteumlagerung Zwangbeanspruchungen auf, wenn die freie Verformbarkeit eingeschränkt ist. Dadurch kann sich die Gesamtverformung verringern und das Versagen später eintreten.

Meist lässt sich nach einem Brand der im Beton eingetretene Temperaturverlauf nur schätzen. Sind die Bauteiloberflächen frei von Ruß, werden die Brandraumtemperaturen über 500 °C gelegen haben, weil dann der Ruß verbrennt. Wenn im Beton Temperaturen über rd. 300 °C eingetreten sind, zeigt sich der Beton an Bruchflächen leicht rosafarben [Kor1].

Abplatzverhalten

Abplatzungen sind Betonabsprengungen infolge einer Brandbeanspruchung. Man unterscheidet drei Arten von Abplatzungen (**Tafel II.8.2-1**) [Kor1, Mey3]. Abplatzungen gelten als zerstörend, wenn sie eine Verminderung des Querschnitts und je nach Tiefe ein Freilegen der Bewehrung bewirken. Hierdurch kann ein frühzeitiges Versagen der Tragfähigkeit eintreten. In Wänden und Decken können durch Abplatzungen Löcher entstehen, sodass ein Feuerdurchgang möglich ist. Als wesentliche Einflussparameter für das Abplatzverhalten gelten Bauteildicke, Höhe der Druckspannung, Betonfeuchtegehalt und Bewehrungsanordnung. Hinsichtlich der notwendigen Maßnahmen zum Vermeiden von zerstörenden Abplatzungen, die ein Versagen verursachen, ist zwischen üblichen Betonen C 20/25 bis C 50/60, *hochfesten Betonen* und *Leichtbetonen* zu unterscheiden.

Bei Bauteilen, die aus üblichem Normalbeton hergestellt werden, reicht eine brandschutztechnische Bemessung nach DIN 4102-4 aus, um zerstörende Abplatzungen zu vermeiden. Dies gilt auch für Bauteile aus hochfestem Beton. Allerdings sind bei Stützen aus hochfestem Beton besondere Maßnahmen erforderlich [Nau1]. Entweder müssen dem Beton Kunststofffasern zugegeben werden, die bei >100 °C schmelzen und dadurch Kanäle zur Wasserdampfentspannung bilden, oder es ist eine oberflächennahe Schutzbewehrung anzuordnen, die zur Sicherung der Betondeckung für die statisch notwendige Bewehrung dient.

Tafel II.8.2-1: Arten, Ursachen und Wirkungen von Abplatzungen bei normalfesten Betonen

Art	Ursache	Wirkung
Abplatzungen einzelner Gesteinskörner	physikalische oder chemische Veränderungen infolge hoher Temperaturen, z. B. Quarzinversion	Zerplatzen oder Zersplittern einzelner Gesteinskörner auf der Betonoberfläche in Form von Pop-outs
explosionsartige Abplatzungen	plötzliche Betonabspaltungen innerhalb der ersten 30 min. des Brands infolge Ausströmen von Wasserdampf und Temperatur-Eigen- und Zwangspannungen	durch Überschreiten von Zugspannungen und durch Scherkräfte entstehen Rissflächen im Betongefüge, so dass oberflächlich schlagartig Betonstücke abfallen. Diese zerstörenden Abplatzungen reichen bis tief in den Betonquerschnitt, legen die Bewehrung frei und führen zu Löchern in dünnen Bauteilen.
Abfallen von Betonschichten	Eigenspannungen aufgrund unterschiedlicher Dehnungen im Betonquerschnitt und zwischen Beton und Bewehrung führen zum Ablösen größerer Betonschichten nach längerer Brandbeanspruchung, z. B. nach 90 min.	großflächiges Freilegen von Bewehrungsanteilen und Verminderung von Querschnittsflächen, besonders in Druckbereichen der Bauteile. Diese zerstörenden Abplatzungen verursachen ein relativ frühes Versagen des Bauteils.

Beim gefügedichten Leichtbeton kann nach derzeitigem Wissensstand noch nicht für alle Bauteilarten durch eine Bemessung gemäß DIN 4102-4 das Risiko der zerstörenden Abplatzungen vermieden werden [Kor1]. Für flächige Bauteile, wie Wände und Decken, reicht es aus, die Anforderungen nach dieser Norm

zu erfüllen. Für stabförmige Bauteile, wie Balken, Stützen oder bestimmte Rippendecken, sind die jeweiligen Randbedingungen des Einzelfalls bei der Bemessung zu berücksichtigen. Deshalb ist für diese Fälle eine gutachterliche Stellungnahme nötig. Bei Leichtbetonen mit haufwerksporigem Gefüge und bei *Porenbetonen* treten aufgrund ihrer Porenstruktur keine Abplatzungen im Brandfall auf.

Im Allgemeinen können Beton- und Stahl- bzw. Spannbetonbauteile, die während eines Brands im oberflächennahen Bereich, z. B. durch Abplatzungen, geschädigt wurden, instand gesetzt werden. (s. Abschnitt II.15.4.)

8.3 Klassifizierung von Baustoffen und Bauteilen sowie deren Dimensionierung

Die Leistungsfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen im Brandfall wird durch ein genormtes Klassifizierungssystem definiert. DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“ enthält alle Vorgaben für die erforderlichen Prüfungen bzw. Beurteilungen sowie die Klasseneinteilung.

Dieses nationale System wird, langfristig gesehen, durch ein harmonisiertes europäisches Vorschriftenwerk auf der Basis von CEN-Normen ersetzt. Zur Zeit sind die europäischen Vorschriften für die brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen und Bauwerken, für die Prüfung von Baustoffen und Bauteilen sowie für deren brandschutztechnische Klassifizierung noch nicht soweit fertiggestellt, dass diese für die Anwendung von Beton und Betonbauteilen in absehbarer Zeit praktische Bedeutung erhalten. Im Folgenden wird daher nur auf die derzeit geltenden, bauaufsichtlich eingeführten Regelungen der DIN 4102 eingegangen. Schon jetzt lässt sich allerdings sagen, dass für den Betonbau mit der Einführung der europäischen Brandschutzvor-

Tafel II.8.3-1: Die für den Betonbau wesentlichen Normteile von DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“

Teil	Regelungsbereich	Inhalt
1	Baustoffe	jeweils Prüfverfahren Prüfanforderungen Klasseneinteilung
2	Bauteile	
3	Brandwände und nicht tragende Außenwände	
4	klassifizierte Baustoffe	Zuordnung von Baustoffen zu den Brennbarkeitsklassen
	klassifizierte Bauteile	Vorgaben für die Ausführung von Bauteilen mit bestimmter Feuerwiderstandsdauer

schriften keine wesentlichen Änderungen gegenüber den durch die DIN 4102 vorgegebenen Regelungen eintreten werden. Zudem ist vorgesehen, dass Übergangsfristen von mehreren Jahren für diesen Sektor eingeräumt werden.

Für die Betonbauweise sind im Wesentlichen die in **Tafel II.8.3-1** angegebenen Normteile der DIN 4102 von Bedeutung. Die Normteile 1 bis 3 legen fest, wie Baustoffe und bestimmte Bauteile zu prüfen sind, damit sie je nach *Brennbarkeit* den einzelnen Baustoffklassen sowie in Abhängigkeit von der erreichten Feuerwiderstandsdauer den entsprechenden Feuerwiderstandsklassen (Bauteilklassen) zugeordnet werden können. Die für die Praxis wichtige Norm ist DIN 4102-4. Darin ist katalogartig aufgelistet, welcher Baustoff- bzw. Bauteilklasse die verschiedenen genormten Baustoffe angehören.

Beton, der nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 hergestellt ist, zählt zu den „nichtbrennbaren“ Baustoffen der Klasse A1. In diese Klasse A1 gehören auch die verschiedenen Leichtbetonarten und zementgebundene Mörtel sowie Porenbeton. Erst wenn größere Mengen brennbarer Bestandteile im Beton enthalten sind, wie z. B. bei *Polystyrolbeton*, wird die Klasse A1 nicht mehr erreicht [Kor1].

Bei Betonen nach DIN EN 206-1/DIN 1045-1 verändert der Einsatz brennbarer Bewehrungs-Abstandhalter, z. B. aus Kunststoff, und die übliche Verwendung von *Betonzusatzmitteln*, die in der Regel organische Stoffe enthalten, das Brandverhalten des Baustoffs Beton insgesamt nicht [Kor1].

Die Bauteile werden entsprechend der im Normbrandversuch gemäß DIN 4102-2 erzielten Feuerwiderstandsdauer, z. B. 30, 60, 90, 120 oder 180 Minuten, in die zugehörigen Feuerwiderstandsklassen, wie F 30, F 60 F 90, F 120 oder F 180, eingestuft. Die Feuerwiderstandsdauer ist die Zeit während des Brandversuchs mit einer Temperaturbeanspruchung gemäß der genormten Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK), in der die Versuchs-kriterien, wie beispielsweise Tragfähigkeit, Verformung, Erwärmung der nicht brandbeanspruchten Oberflächen oder Rauchdichte, eingehalten werden.

Beton- und Stahlbetonbauteile, Leichtbetonbauteile und Bauteile aus Betonmauersteinen sowie Porenbetonbauteile können im Allgemeinen so hergestellt werden, dass sie bis in die höchste Feuerwiderstandsklasse eingestuft werden können. Dabei haben sie zudem den Vorteil, dass sie ganz aus nichtbrennbaren Baustoffen der Klasse A1 bestehen. Dies kommt bei der Klassifizierung dadurch zum Ausdruck, dass zusätzlich zur Zeitangabe der Feuerwiderstandsdauer auch Angaben zur Baustoffklasse gemacht werden, aus denen das Bauteil besteht (F...-A).

Teil 4 von DIN 4102 enthält einen umfangreichen Katalog für brandschutztechnisch klassifizierte Bauteile mit den notwendigen Angaben zur Dimensionierung von Betonbauteilen mit einer bestimmten Feuerwiderstandsklasse. Tragwerksplaner können für aus Beton zu fertige Wände, Decken, Stützen, Balken und Zugglieder sowie für Sonderbauteile, wie Brandwände, die erforderlichen Dimensionierungsangaben, wie Mindestbreite, Mindestdicke und Anordnung der Bewehrung, entweder direkt aus DIN 4102-4 entnehmen oder anhand von Tabellen in Abhängigkeit von den konstruktiven Gegebenheiten ermitteln.

Erwärmungsverhalten des Querschnitts

Für die Tragfähigkeit von Stahlbeton- oder Spannbetonbauteilen im Brandfall ist die sich in Abhängigkeit von der Einwirkungs-dauer einstellende Temperaturverteilung im Querschnitt ein wesentliches Kriterium. Entscheidend für das Erreichen der geforderten Feuerwiderstandsdauer ist es, die Durchwärmung des Querschnitts so zu verzögern, dass die Temperatur am *Bewehrungsstahl* vor Ablauf dieser Frist die „kritische Stahltemperatur“ (crit T) nicht übersteigt. crit T ist die Temperatur, bei der unter normaler Belastung der Stahl die Fließgrenze erreicht. Eine ausreichende *Betondeckung* bewirkt den notwendigen Erwärmungsschutz [Kor3]. Für die verschiedenen Feuerwiderstandsklassen sind je nach Art des Bauteils die notwendigen Querschnittsabmessungen, wie Bauteildicke/-breite, und die erforderliche Dicke der Betondeckung in DIN 4102 Teil 4 in umfassenden Dimensionierungstabellen angegeben. Definiert ist in der Norm die Betondeckung durch den „Achsabstand“ (**Bild II.8.3-1**). Bei mehrlagiger Bewehrung ermöglicht ein genormtes Mittelwert-Verfahren ein gezieltes Konstruieren, um eine Minimierung der Betondeckung zu erreichen. **Bild II.8.3-2** zeigt ein Beispiel für den Verlauf der Temperaturen in einem Querschnitt in Abhängigkeit von der Dauer der Brandbeanspruchung.

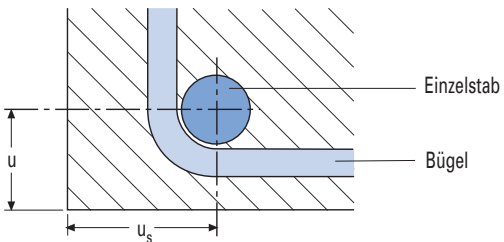
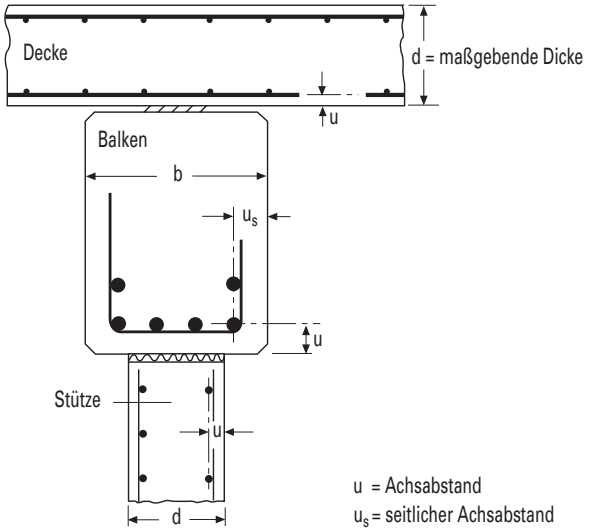


Bild II.8.3-1: Definitionen des Achsabstands u sowie des seitlichen Achsabstands u_s sowie der maßgebenden Bauteildicke/-breite

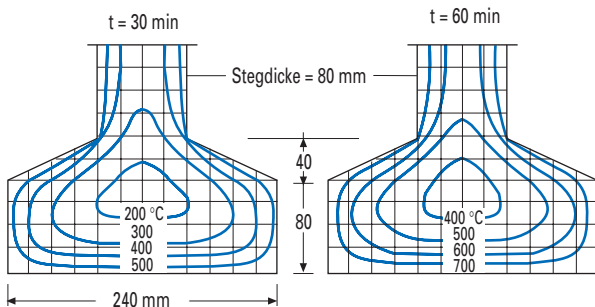


Bild II.8.3-2: Isothermen ($^{\circ}\text{C}$) in einem Betonbauteil bei dreiseitiger Brandbeanspruchung gem. DIN 4102-2 nach 30 und 60 Minuten Prüfdauer