

# Umfassender Brandschutz mit Beton



Gruppe  
Betonmarketing  
Österreich

Titelbild; Quelle: Rastra Corporation, USA

---

**Impressum:**

- © Deutsche Ausgabe, 1. Aufl. 2008, Österreich
- © Englische Originalausgabe  
European Concrete Platform ASBL, April 2007  
Redaktion: Jean-Pierre Jacobs | [www.ecp.eu](http://www.ecp.eu)



**Medieninhaber und Herausgeber:**

Beton-Marketing Österreich | [www.beton-marketing.at](http://www.beton-marketing.at)

**Redaktion der deutschen Ausgabe und Übersetzung aus dem Englischen:**

BetonMarketing Deutschland GmbH | Dipl.-Ing. U. Neck | [www.beton.org](http://www.beton.org)

**Redaktion der österreichischen Ausgabe:**

Beton-Marketing Österreich | [www.beton-marketing.at](http://www.beton-marketing.at)

**Grafik der österreichischen Ausgabe:**

SALT: Werbeagentur GmbH | A-1230 Wien | [www.wa-salt.at](http://www.wa-salt.at)  
Brigitte Nerger | Zement + Beton, 1030 Wien | [www.zement.at](http://www.zement.at)

**Hersteller, Ort:**

Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. | 1030 Wien | Reisnerstraße 56 | [www.zement.at](http://www.zement.at)

**Druck:**

simply more printing | 1130 Wien

---

Sämtliche in diesem Dokument enthaltenen Angaben sind nach Kenntnis der European Concrete Platform ASBL zum Zeitpunkt der Drucklegung korrekt und werden in gutem Glauben gemacht. Aus Angaben zum Dokument der European Concrete Platform ergibt sich keine Haftung für die Mitglieder. Ziel ist es zwar, diese Angaben korrekt und auf neuem Stand zu halten, die European Concrete Platform ASBL kann dafür jedoch keine Garantie übernehmen. Sollte sie auf Fehler aufmerksam gemacht werden, werden diese richtig gestellt. Die im vorliegenden Dokument zum Ausdruck gebrachten Ansichten sind die der Autoren, und die European Concrete Platform ASBL kann für die darin geäußerten Meinungen nicht haftbar gemacht werden. Sämtliche Ratschläge oder Informationen seitens der European Concrete Platform ASBL richten sich an diejenigen, die die Bedeutung und die Grenzen ihres Inhalts abschätzen sowie die Verantwortung für ihre Nutzung und Anwendung übernehmen. Für jegliche Schäden, die sich aus diesen Ratschlägen und Informationen ergeben (einschließlich durch Fahrlässigkeit), wird keinerlei Haftung übernommen. Leser sollten beachten, dass alle Veröffentlichungen der European Concrete Platform von Zeit zu Zeit überarbeitet werden, und daher sicherstellen, dass sie über die aktuelle Version verfügen.

Geschätzte Leser und Leserinnen!

Baulicher Brandschutz ist eine der wichtigsten Aufgaben sicheren und nachhaltigen Bauens, gilt es doch Menschenleben, Sachwerte und die Umwelt vor den Folgen von Brandereignissen zu schützen. Die Bedeutung des Baustoffes für die Konstruktion von Gebäuden ist unbestritten – sie muss jedoch immer wieder in Erinnerung gerufen werden. Die vorliegende Broschüre stellt die günstigen Eigenschaften des Baustoffes „Beton“ als wesentliches Brandschutzelement anhand von Fakten dar und belegt diese durch Fallbeispiele. Sie richtet sich an Bauherren, Architekten, technische Planer und Ausführende genauso wie an Aufsichtsbehörden, Brandschutzexperten und -behörden, Versicherungsgesellschaften und die Öffentlichkeit. Es wird gezeigt, wie Beton mit implementiertem Brandschutz für den Personen-, Sach- und Umweltschutz eingesetzt werden kann.

Die europäischen Verbände der Betonfertigteilverindustrie (BIBM), der Zementindustrie (CEMBUREAU) und der Transportbetonindustrie (ERMCO) haben sich zu gemeinsamen Aktivitäten in der „Europäischen Beton Plattform“ (ECP) zusammengefunden. In einer europaweiten Kooperation von führenden Experten aus mehreren Ländern wurde im Rahmen der ECP eine englische Dokumentation erstellt. Sie zeigt deutlich die weit über nationale Grenzen hinausgehende Aktualität und Wichtigkeit von Feuersicherheit auf.

Die österreichischen Verbände der Betonfertigteilverindustrie (VÖB), der Zementindustrie (VÖZ) und der Transportbetonerzeuger (GVTB) haben es übernommen, das ins Deutsche übersetzte englische Original für Österreich aufzubereiten und zur Verfügung zu stellen.

Wir sind überzeugt, Ihnen mit dem Kompendium neue Informationen bereitzustellen, um gemeinsam mit Ihnen umfassenden Brandschutz anbieten zu können und dem Schutz von Leben und Gut gebührenden Respekt zu zollen.

DI Gernot Brandweiner  
Geschäftsführer  
Verband Österreichischer  
Beton- und Fertigteilwerke

DI Christoph Ressler  
Geschäftsführer  
Güteverband  
Transportbeton

Bmst. DI Felix Friembichler  
Geschäftsführer  
Vereinigung der  
Österreichischen Zementindustrie



# Inhalt

<b>Beton schafft umfassenden Brandschutz</b>			
<i>Beton schützt Menschenleben, Hab und Gut.</i>	4		
Ein ganzheitlicher Ansatz	4		
<b>Verhalten von Beton im Brandfall</b>			
<i>Beton brennt nicht, bildet keinen Rauch und setzt keine toxischen Gase frei. Er bietet außerdem Schutz gegen das Ausbreiten des Brandes.</i>	6		
Beton brennt nicht	6		
Beton ist ein Baustoff mit Schutzwirkung	6		
Abplatzungen	7		
Beton schafft wirksame Brandabschnittsbegrenzungen	8		
Beton lässt sich nach einem Brand leicht ausbessern	8		
<u>Fallbeispiel 1:</u>			
Brand in einem Hochhaus in Frankfurt, Deutschland (1973)	8		
<b>Brandschutztechnische Planung mit Beton</b>			
<i>Betonkonstruktionen erfüllen alle nationalen und europäischen Brandschutzanforderungen.</i>	9		
Planung brandsicherer Gebäude	9		
Anwendung von Eurocode 2	10		
<u>Fallbeispiel 2:</u>			
Brandversuche an einer Gesamtkonstruktion aus Stahlbeton	11		
<b>Schutz von Menschenleben</b>			
<i>Beton schützt Leben und erhöht die Sicherheit von Bewohnern und Löschkräften.</i>	12		
Betonkonstruktionen bleiben während eines Brandes stabil	12		
<u>Fallbeispiel 3:</u>			
Windsor Tower, Madrid, Spanien (2005)	12		
Beton ermöglicht sichere Flucht und sicheres Löschen	14		
<u>Fallbeispiel 4A:</u>			
World-Trade Centre-Gebäude, New York (2001)	14		
<u>Fallbeispiel 4B:</u>			
Pentagon-Gebäude, Washington (2001)	14		
<u>Fallbeispiel 5:</u>			
Verbesserung des Brandschutzes in Straßentunneln	15		
Beton verhindert eine Belastung der Umwelt	16		
Brandschutz in Wohngebäuden	16		
Beton verhindert ein Ausbreiten von Bränden nach Erdbeben	17		
<u>Fallbeispiel 6:</u>			
Brand an im Bau befindlichem Holzgebäude, Colindale, London (2006)	17		
<b>Schutz für Sachwerte und Betriebe</b>			
<i>Beton schützt Hab und Gut – Brandschutz mit Beton sichert Sachwerte und ermöglicht die schnelle Wiederaufnahme des Geschäftsbetriebs.</i>	18		
Beton schützt vor und nach dem Brand	18		
Beton bietet Brandschutz kostenlos	18		
Niedrigere Versicherungsprämien mit Beton	19		
<u>Fallbeispiel 7:</u>			
Versicherungsprämien für Lagergebäude in Frankreich	19		
Beton hilft der Feuerwehr, Sachwerte zu retten	20		
<u>Fallbeispiel 8:</u>			
Zerstörung eines Schlachthauses, Bordeaux (1997)	20		
<u>Fallbeispiel 9:</u>			
Brand in einem Bekleidungslager, Marseille (1996)	20		
<u>Fallbeispiel 10:</u>			
Internationaler Blumenmarkt, Rungis, Paris (2003)	21		
		<b>Beton und Ingenieurmethoden im Brandschutz</b>	
		<i>Beton bietet eingebauten Feuerwiderstand, so dass Eigentümer von Gebäuden zum Schutz von Leben und Sachwerten nicht auf betriebliche Maßnahmen angewiesen sind.</i>	22
		Wie Brandschutz-Ingenieurmethoden funktionieren	22
		Brandschutz-Ingenieurmethoden in der Praxis	22
		<b>Die Mehrwert-Vorteile von Beton</b>	25
		<b>Glossar</b>	26
		<b>Literatur</b>	27

# Beton schafft umfassenden Brandschutz

Beton schützt Menschenleben, Hab und Gut.

Die hervorragenden Eigenschaften von Beton schützen im Brandfall Menschenleben, Sachwerte und auch die Umwelt. Beton erfüllt wirksam alle in der europäischen Gesetzgebung festgelegten Schutzziele, was allen zugutekommt: den Nutzern und Bewohnern eines Gebäudes, seinen Eigentümern bis hin zu Versicherungen, Aufsichtsbehörden und Löschkräften. **Ganz unabhängig davon, ob der Baustoff in Wohngebäuden, Gewerbegebäuden, Industriebauten oder Tunneln zum Einsatz kommt, Beton kann so bemessen und ausgelegt werden, dass er selbst extreme Brände übersteht.**

Beispiele aus dem täglichen Leben sowie internationale Statistiken liefern anschauliche Belege für die brandschutztechnisch günstigen Eigenschaften von Beton. Deshalb empfehlen Bauherren, Versicherungen und Aufsichtsbehörden Beton als Baustoff ihrer Wahl und fordern

zunehmend seine Verwendung anstelle von anderen Baustoffen. Sie können sicher sein, mit Ihrer Entscheidung für Beton die richtige Wahl zu treffen, da Beton nicht zur Brandlast beiträgt, sichere Rettungswege gewährleistet, einer Ausbreitung des Feuers auf andere Gebäudeteile Einhalt gebietet und ein Versagen des Tragwerks hinauszögert. Dabei wird ein Einsturz eines Bauwerks meistens verhindert. **Beton übertrifft damit im Hinblick auf alle Brandschutzkriterien problemlos und in wirtschaftlicher Weise andere Baustoffe.**

Ein ganzheitlicher Ansatz

Um die Zahl der Brandopfer sowie die Auswirkungen von Brandschäden zu reduzieren, bedarf es eines ganzheitlichen Ansatzes beim Brandschutz. Das „World Fire Statistics Centre“ hat 1999 dem UN-Ausschuss für Wohnungswesen einen Bericht vorgelegt, in dem internationale Zahlen zu Gebäudebränden zusammengefasst sind (Neck, 2002 [1]). Die in 16 Industriestaaten durchgeführte Studie ergab, dass jährlich ein bis zwei Menschen je 100.000 Einwohner durch Brän-

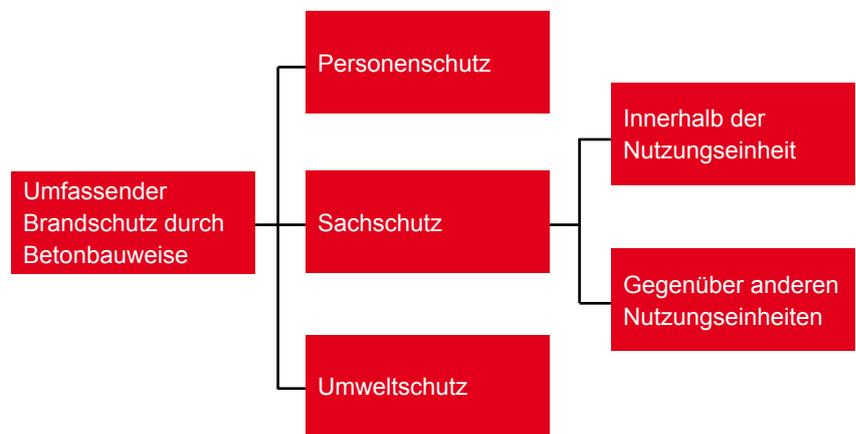


Bild 1.1: Ganzheitlicher Ansatz für Brandsicherheit (Quelle: Neck, 2002 [1,2])

Der Einsatz von Beton in Bauwerken und Konstruktionen schafft im Brandfall ein besonders hohes Schutz- und Sicherheitsniveau:

- Beton brennt nicht und trägt nicht zur Brandlast bei.
- Beton bietet hohen Feuerwiderstand und verhindert ein Ausbreiten des Brandes.
- Beton schirmt wirksam gegen Flammen ab. Das schafft sichere Rettungswege für die Bewohner und schützt die Löschkräfte.
- Beton erzeugt weder Rauch noch giftige Gase und verringert so Gefahren für die Bewohner infolge eines Brandes.
- Beton führt nicht zum Abtropfen brennender Teilchen, die das Feuer weiterleiten könnten.
- Beton begrenzt den Brand. Dadurch werden

geringere Mengen an Rauchgasen freigesetzt und es entsteht weniger kontaminiertes Löschwasser.

- Dies vermindert Umweltrisiken.
- Beton gewährt eingebauten Brandschutz – im Normalfall besteht keine Notwendigkeit für zusätzliche Maßnahmen.
- Beton widersteht extremen Brandbedingungen und eignet sich so ideal auch für Lagergebäude mit hoher Brandlast.
- Beton verringert durch seinen Feuerwiderstand während eines Brandes die Einsturzgefahr für

die Konstruktion. Das gibt Sicherheit bei den Löscharbeiten.

- Beton lässt sich nach einem Brand leicht reparieren, wodurch Unternehmen ihren Betrieb schneller wieder aufnehmen können.
- Beton wird durch Löschwasser nicht geschädigt.
- Betonfahrbahndecken halten selbst den extremen Brandbedingungen stand, die bei Tunnelbränden entstehen.

Eine einfache Wahl – mit weit reichenden, günstigen Auswirkungen

de ums Leben kommen und dass sich die durch Brandschäden verursachten Gesamtkosten auf bis zu 0,2 bis 0,3 % des Bruttosozialprodukts (BSP) belaufen (vgl. Tafel 5.1).

In nahezu allen Gebäuden muss man sich gegen den möglichen Ausbruch eines Brandes sowie seiner Folgen wappnen. Dabei wird das Ziel verfolgt, dass die Gebäude und ihre Konstruktionen Menschen und Sachwerte vor Brandgefahren schützen. Obwohl beiden Zielen in Brandschutzvorschriften Rechnung getragen wird, wird verständlicherweise dem Personenschutz die größte Bedeutung beigemessen. Private Eigentümer, Unternehmer, Versicherungen und Behörden legen aus Gründen wie etwa **betrieblicher Kontinuität, Datensicherung oder der Erhaltung wichtiger Infrastrukturen** hohen Wert auf wirksamen Brandschutz. Alle diese Gesichtspunkte sind in den europäischen und nationalen Regeln zum Brandschutz berücksichtigt (siehe Bild 1.1).

Baulicher Brandschutz muss demnach besonders drei Schutzziele erfüllen:

- den **Personenschutz** zur Sicherung von Leben und Gesundheit
- den **Sachsenschutz** zum Erhalt von Hab und Gut in Wohn- und in Gewerbeeinheiten, die in Brand geraten sind, sowie in angrenzenden Nutzungseinheiten. Dazu gehört auch der weit gehende Erhalt des Bauwerks an sich

- den **Umweltschutz** zur Minimierung von Umweltschäden durch Rauch, toxische Gase und kontaminiertes Löschwasser.

Mit der Betonbauweise lassen sich alle drei Schutzziele erfüllen. Da Beton nicht brennbar ist und hohen Feuerwiderstand besitzt, bietet er umfassenden Brandschutz für **Menschen, Sachwerte und die Umwelt**.

In Tabelle 1.1 sind die natürlichen Feuerwiderstandseigenschaften und das tendenzielle Verhalten von Beton im Brandfall denen anderer Baustoffe gegenübergestellt. Dabei zeigt sich, wie gut Beton bezüglich wichtiger brandschutztechnischer Schlüsseleigenschaften abschneidet.

Denn Betonbauteile bestehen aus einem nicht brennbaren Baustoff und erfüllen in der Regel bei der Dimensionierung für die üblichen erforderlichen Gebrauchseigenschaften die Bedingungen für eine Feuerwiderstandsdauer bis zu 60 Minuten. Bei einer brandschutztechnischen Dimensionierung gemäß den geltenden Vorschriften werden gemäß Eurocode 2 Feuerwiderstandsdauern bis zu 240 Minuten erreicht.

Tabelle 1.1: Überblick über das tendenzielle Verhalten ungeschützter Baustoffe im Brandfall

Ungeschützter Baustoff	Feuerwiderstand	Brennbarkeit	Brandlastbeitrag	Temperatursteigerungsrate innerhalb des Querschnitts	„Eingebauter Brandschutz“	Instandsetzungsfähigkeit nach einem Brand	Schutz für Flüchtende und Löschkräfte
Holz	gering	hoch	hoch	sehr gering	sehr gering	sehr gering	gering
Stahl	sehr gering	null	null	sehr hoch	gering	gering	gering
Beton	hoch	null	null	gering	hoch	hoch	hoch

Rot = brandschutztechnisch ungünstig; grün = günstig



Bild 1.2: Beim Brand eines Lagergebäudes konnten sich die Feuerwehrmänner hinter einer Betonwand so schützen, dass sie zum Löschen der Flammen nahe genug an das Feuer herankamen. (Quelle: DMB/Fire Press – Revue soldats du feu magazine, Frankreich)



Bild 1.3: Das 30-stöckige Stahlbetongebäude „North Galaxy Towers“ in Brüssel erfüllt die geltenden hohen Anforderungen an den Feuerwiderstand REI 120; die Stützen bestehen aus hochfestem Beton C80/95. (Quelle: ERGON, Belgien)



Bild 1.4: Cointe-Tunnel (Verbindung E25 – E40) in Lüttich, Belgien. Tunnel aus Beton mit Betonfahrbahndecken können den extremen Brandbedingungen bei Tunnelbränden widerstehen. (Quelle: photo-daylight.com)

# Verhalten von Beton im Brandfall

Beton brennt nicht, bildet keinen Rauch und setzt keine toxischen Gase frei. Er bietet außerdem Schutz gegen das Ausbreiten des Brandes.

Das günstige Verhalten von Beton im Brandfall beruht auf zwei grundlegenden Sachverhalten: Dies sind seine grundsätzlichen Eigenschaften als Baustoff und die Funktion, die er in einer Konstruktion übernimmt. Beton ist nichtbrennbar und weist einen hohen Durchwärmungswiderstand auf, d. h., er wirkt Hitze abschirmend. Daher sind bei einer Verwendung von Beton bei den meisten Konstruktionen keinerlei zusätzliche Brandschutzmaßnahmen, wie Bekleidungen, Beschichtungen etc., erforderlich. Auf viele der Feuerwiderstandseigenschaften von Beton hat es keinerlei Einfluss, ob er in Form von Normal- oder Leichtbeton, als Betonmauerwerk oder als Porenbeton verwendet wird. Kurz gesagt, kein anderer Baustoff präsentiert sich beim Brandschutz so rundum überzeugend (siehe Tabelle 1.1).

## Beton brennt nicht

Im Gegensatz zu einigen anderen Baustoffen kann Beton nun einmal nicht angezündet werden. Er ist beständig gegen Schwelbrände, die sehr hohe Temperaturen erreichen und daher einen Brand entfachen oder sogar wieder entfachen können. Auch Flammen aus brennendem Inventar können Beton nicht entzünden. Da Beton also nicht brennt, setzt er im Fall eines Brandes weder Rauch noch toxische Gase frei. Aus Beton tropfen auch keine brennenden Teilchen herab, die etwas entzünden können, wie es bei einigen Kunststoffen oder Metallen der Fall sein kann. **Beton kann in keiner Weise zum Ausbruch und zur**

## Ausbreitung eines Brandes beitragen oder die Brandlast erhöhen.

Die europäischen Brandschutznormen belegen die günstigen brandschutztechnischen Eigenschaften von Beton. Alle Baustoffe wurden hinsichtlich ihres Verhaltens im Falle eines Brandes eingestuft. Von dieser Bewertung hängt ab, ob ein Material als Baustoff angewendet und wann bzw. wie es unter Brandschutzgesichtspunkten eingesetzt werden darf. Ausgehend von der Europäischen Bauproduktenrichtlinie werden gemäß EN 13501-1: 2002: *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauteilen zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung zum Brandverhalten* die Baustoffe je nach den Ergebnissen in den Brandprüfungen in sieben Stufen mit den Bezeichnungen A1, A2, B, C, D, E und F eingeordnet [3].

Die höchstmögliche Klasse hat die Bezeichnung A1 – nichtbrennbare Baustoffe. Die Europäische Kommission hat eine verbindliche Liste von A1-Baustoffen herausgegeben, die ohne Prüfung für diese Klasse zugelassen sind [4]. Darin sind die unterschiedlichen Betonsorten sowie die mineralischen Betonausgangsstoffe enthalten. **Beton erfüllt die Anforderungen der Klasse A1, weil seine mineralischen Ausgangsstoffe effektiv nichtbrennbar sind.**

D. h., unter den in einem Brandfall auftretenden Temperaturen beteiligen sie sich nicht am Brandgeschehen.

Beton ist ein Baustoff mit Schutzwirkung

Beton ist in hohem Maße feuerwiderstandsfähig und kann in der Regel als feuerbeständig bezeichnet werden, sofern er sachgerecht zusammengesetzt und verarbeitet wurde. Beton ist eine hochwirksame Abschirmung gegen Feuer. Die Betonmasse besitzt eine hohe Wärmespeicherkapazität. Auch der Durchwärmungswiderstand von Beton

ist wegen seiner Gefügestruktur hoch. Aufgrund dieser Eigenschaften ist der Temperaturanstieg in einem Bauteilquerschnitt gering. Beton kann deshalb für wirkungsvolle Abschottungen eingesetzt werden.

Da die Temperatursteigerung in einem Betonbauteil gering ist, werden in den inneren oder nicht beflamten Bauteilbereichen keine so hohen Temperaturen erreicht wie auf den den Flammen zugewandten Flächen. Wurde beispielsweise in der Normbrand-Prüfung nach ISO 834 (Normbrand-Kurve) ein Betonbalken von 160 mm Breite und 300 mm Höhe an drei Seiten eine Stunde lang dem Normbrand ausgesetzt, so wurde 16 mm von der Oberfläche entfernt eine Temperatur von 600 °C erreicht. Dieser Wert halbierte sich auf für das Festigkeitsverhalten von Beton praktisch nicht kritische 300 °C in einem Abstand von 42 mm von der Oberfläche. Das entspricht einem Temperaturgefälle von 300 °C in gerade einmal 26 mm Beton (Kordina, Meyer-Ottens, 1981 [5]). Dies zeigt deutlich, dass durch die relativ geringe Temperatursteigerungsrate bei Beton die inneren Querschnittsbereiche zuverlässig vor zu hoher Erwärmung und damit Festigkeitsverlust geschützt bleiben. Dies erklärt auch die hohe Feuerwiderstandsdauer, die Betonbauteile erreichen können.

Selbst nach einer längeren Branddauer liegen bei Beton die Temperaturen im Querschnitt noch relativ niedrig. Dies führt beispielsweise bei einem Wandbauteil dazu, dass seine Tragfähigkeit und seine Hitze abschirmenden Eigenschaften lange erhalten bleiben. Deshalb können Betonwände als **abschottende Bauteile mit hoher Zuverlässigkeit** eingesetzt werden.

Wenn Beton den hohen Temperaturen eines Brandes ausgesetzt ist, können bestimmte physikalische und chemische Veränderungen eintreten. In Bild 2.1 sind in Abhängigkeit vom Temperaturniveau

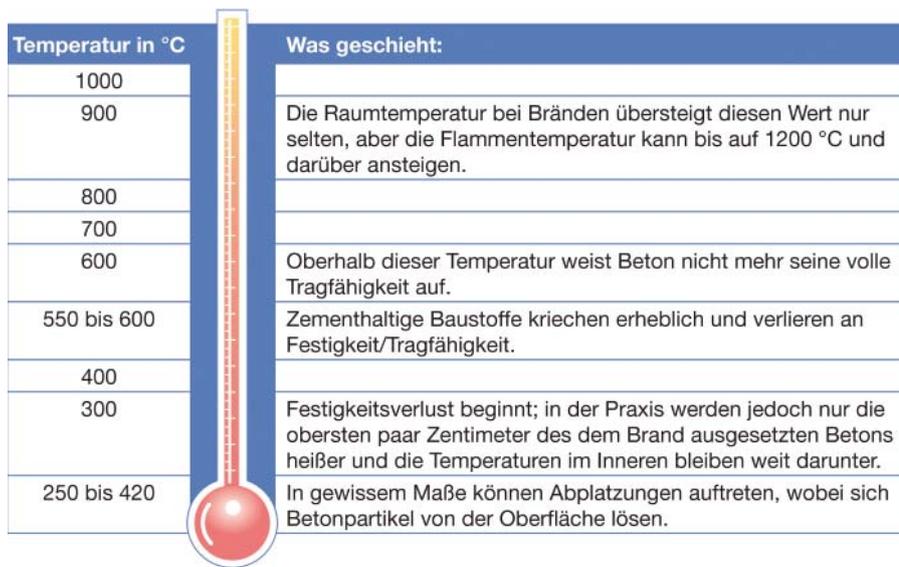


Bild 2.1: Beton im Brandfall; physikalische Vorgänge in Abhängigkeit von der Betontemperatur (Khoury, 2000 [6])

im Beton (nicht die Temperatur der Flamme) die Änderungen der Betoneigenschaften angegeben.

### Abplatzungen

Abplatzungen gehören zu den normalen Reaktionen von Beton auf die hohen Temperaturen, denen er während eines Brandes ausgesetzt ist. Der Sachverhalt, dass Beton bei Bränden abplatzen kann, ist in Bemessungsvorschriften, wie etwa dem Eurocode 2, auf der Basis der ISO-Normbrand-Kurve erfasst. Für die Anwendung von Betonbauteilen bei üblichen Gebäuden und normalen Brandabläufen, z. B. in Wohngebäuden, Büros, Schulen,

Geschäftshäusern, Krankenhäusern, ist daher die Auswirkung von Abplatzungen bereits in den Anwendungsregeln berücksichtigt. Diese Regeln gelten allerdings nicht für Tunnel, bei denen die Bemessung für den Brandfall nach der so genannten erhöhten Hydrocarbonkurve mit höheren Temperaturen erfolgt. Dies wird in Kapitel 4 – Personenschutz – näher erläutert.

Untersuchungen, die der Erstellung der britischen Bemessungsnorm für Konstruktionsbeton (BS 8110) zu Grunde lagen, bestätigten die danach ermittelten Feuerwiderstandszeiten eindrucksvoll. (Lennon, 2004 [7]). Bild 2.2 zeigt einen

Vergleich zwischen dem Verhalten von Deckenplatten in Brandversuchen und ihrem angenommenen Verhalten gemäß BS 8110. In den Brandversuchen waren zwar an vielen der Probekörper Abplatzungen aufgetreten. Der Sachverhalt, dass die meisten Platten das angenommene Feuerwiderstandsniveau übertrafen, belegt, dass Abplatzungen in den Bemessungsnormen berücksichtigt sind und den Feuerwiderstand von Beton bei herkömmlichen Bränden nicht ernsthaft beeinträchtigen.

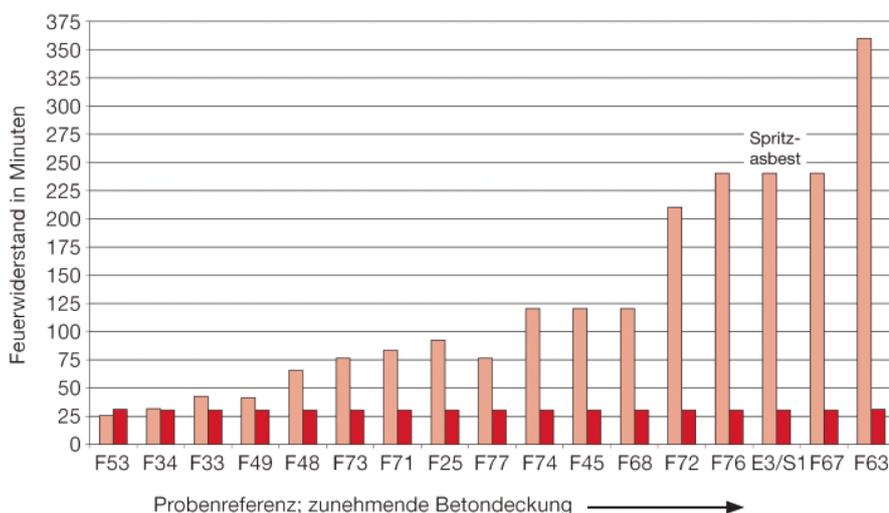


Bild 2.2: Vergleich zwischen im Versuch ermitteltem (helle Säulen) und nach Bemessungsnorm angenommenem (dunkle Säulen) Feuerwiderstand in Abhängigkeit von der Betondeckung (aus Lennon, 2004 [7])

## Beton schafft wirksame Brandabschnittsbegrenzungen

Beton schützt gegen alle schädlichen Auswirkungen eines Brandes und hat sich als so zuverlässig erwiesen, dass er üblicherweise zur Schaffung von stabilen Brandabschnittsbegrenzungen in großen Industriegebäuden und mehrstöckigen Bauwerken, aber auch in Wohnkomplexen eingesetzt wird. Durch die Aufteilung dieser großen Gebäude in Abschnitte kann die Gefahr, dass infolge eines Brandes ein Totalschaden entsteht, praktisch völlig ausgeschlossen werden.



Die Betonwände und -decken grenzen den Brandbereich sowohl horizontal durch Wände als auch vertikal durch Decken ein. Beton schafft so die Möglichkeit, auf einfache und wirtschaftliche Weise Gebäudeteile wirksam voneinander abzuschotten. Die Brand abschirmenden Eigenschaften von Beton sind materialimmanent. Bei Abschottungen aus Beton sind keine zusätzlichen das Feuer bzw. die Hitze abweisenden Beschichtungen oder Bekleidungen erforderlich, die in der Regel einer Wartung bedürfen und damit zusätzliche Kosten während der Nutzung verursachen.

Bild 2.3: In diesem Lagergebäude bilden Betonfertigteilewände feuerwiderstandsfähige Brandabschnittsbegrenzungen. (Quelle: BDB, Deutschland)

## Beton lässt sich nach einem Brand leicht ausbessern

Die meisten Betonkonstruktionen werden durch einen Brand nicht zerstört. Einer der wesentlichen Vorteile von Betongebäuden besteht somit darin, dass sie nach einem Feuer in der Regel leicht wieder ausgebessert werden können. Das reduziert Ausfallzeiten und erspart Kosten. Infolge der relativ geringen Deckenlasten und der verhältnismäßig niedrigen Temperaturen, die erfahrungsgemäß bei den meisten Gebäudebränden entstehen, bleibt die Tragfähigkeit der Betonbauteile sowohl während als auch nach dem Brand weitgehend erhalten. Daher genügt hinterher oft eine einfache Reinigung. Wie schnell die Instandsetzung und die erneute Bewohnbarkeit bzw. Inbetriebnahme vonstatten gehen, spielt eine erhebliche Rolle bei der Minimierung des Nutzungsausfalls nach einem größeren Feuer. Es liegt nahe, dass eine Instandsetzung einem Abriss und Neuaufbau vorzuziehen ist.

### Fallbeispiel 1: Brand in einem Hochhaus in Frankfurt, Deutschland (1973)

In der Nacht vom 22. August 1973 brach im 40. Stock des ersten Hochhauses in Frankfurt ein schwerer Brand aus. Er griff schnell auf das 38. und 41. Stockwerk des zweitürmigen, 140 m hohen Bürogebäudes über (Bild FB 1.1). Das gesamte vertikale und horizontale Tragwerk des Gebäudes war aus Stahlbeton hergestellt und hatte ein Deckensystem in Doppel-T-Form.



Bild FB 1.1: Brand an einem Hochhaus in Frankfurt (Quelle: DBV, Deutschland)

Da die Steigleitungen nicht ordnungsgemäß angeschlossen waren, konnte mit den Löscharbeiten erst zwei Stunden nach Ausbruch des Brandes begonnen werden. Drei Stunden später war der Brand unter Kontrolle. Es dauerte insgesamt etwa acht Stunden, bis das Feuer gelöscht war (Beese, Kürkchübasche, 1975 [8]).



Bild FB 1.2: Beispiel von Betonbauteilen nach dem Brand mit Abplatzungen (Quelle: DBV, Deutschland)

Alle tragenden Bauteile hielten dem Brand stand, obwohl sie etwa vier Stunden lang den Flammen ausgesetzt waren. An vielen Stellen platzte der Beton ab, und in einigen Fällen war die Bewehrung nicht nur sichtbar, sondern vollständig freigelegt (Bild FB 1.2). Glücklicher-

weise versagte das Tragwerk während des Brandes nicht. Deshalb brauchten anschließend auch keine Stockwerke abgerissen werden, was andernfalls in einer Höhe von mehr als 100 m über der Erde ein gefährliches Unterfangen gewesen wäre. Die meisten Bauteile konnten instand gesetzt werden, indem die Bewehrung verstärkt und wieder verwendet und Spritzbeton aufgebracht wurde (Bild FB 1.3).

Das problemlose Vorgehen, mit dem dieses Gebäude nach dem Brand instand gesetzt werden konnte, ist ein typisches Beispiel für den hohen Feuerwiderstand von Betonkonstruktionen und die Möglichkeit, die Konstruktion gefahrlos ausbessern zu können.



Bild FB 1.3: Instandsetzung von Bauteilen mit Spritzbeton (Quelle: DBV, Deutschland)

# Brandschutz- technische Planung mit Beton

Betonkonstruktionen erfüllen alle nationalen und europäischen Brandschutzanforderungen.

Die sachgerechte Planung und Baustoffauswahl ist von entscheidender Bedeutung, um Brandsicherheit zu gewährleisten. Die wichtigsten planungstechnischen Überlegungen im Hinblick auf Brände werden in diesem Kapitel erläutert.

## Planung brandsicherer Gebäude

Wurden die Brandschutzanforderungen bisher von nationalen Regierungen festgesetzt, so beruhen sie in Zukunft weitgehend auf europäischen Richtlinien, Normen und Leitlinien. Für die Planung eines gegenüber Feuer sicheren Gebäudes gilt es, vier grundlegende Ziele zu erfüllen. Diese brandschutztechnischen Schutzziele erfüllt Beton problemlos, wirtschaftlich und mit einem hohen Maß an Zuverlässigkeit. Die wesentlichen Anforderungen sind in Bild 3.1 dargestellt. Tabelle 3.1 zeigt anhand von Beispielen, wie diese Anforderungen mit der Betonbauweise erfüllt werden können, und veranschaulicht die umfassende Schutzwirkung von Betonkonstruktionen.

Die fünf in Tabelle 3.1 aufgeführten Anforderungen müssen bei dem brandschutztechnischen Entwurf einer Konstruktion berücksichtigt werden. Sie bilden die Grundlage für die Verfahren zur brandschutztechnischen Bemessung von tragenden Bauteilen in den Eurocodes, z. B. Eurocode 2 Teil 1-2 (EN 1992-1-2) *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2 Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall*) [9]. Der Eu-

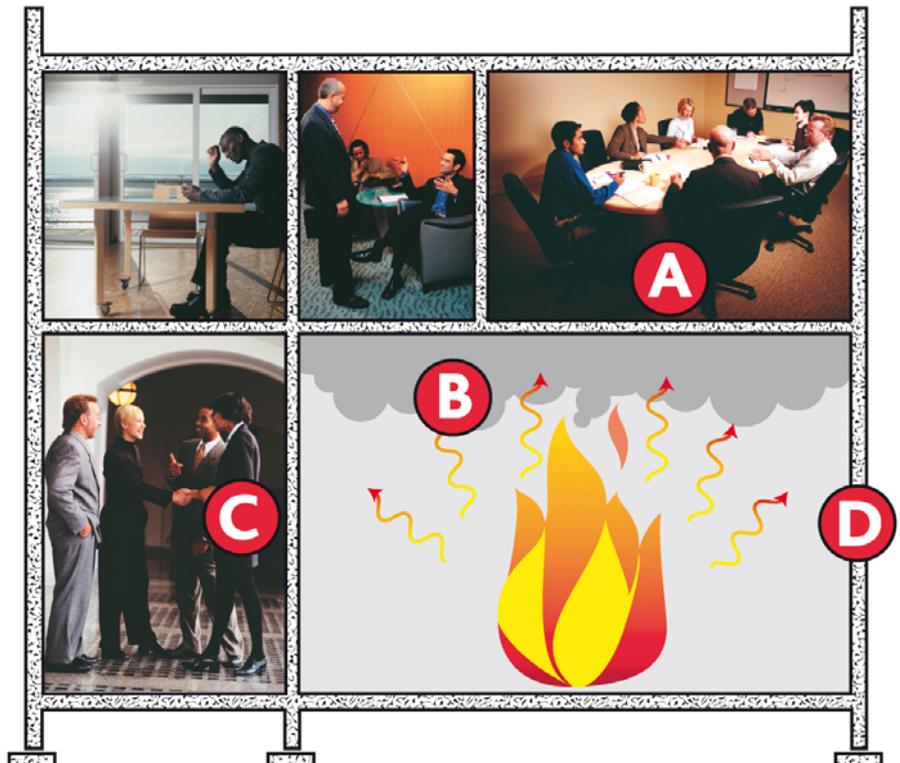


Bild 3.1:  
Die Konstruktion sollte

- A – ihre Tragfähigkeit behalten
- B – Menschen vor schädlichem Rauch und Gasen schützen
- C – Menschen gegen die Hitze abschirmen
- D – den Einsatz der Löschkraften erleichtern. (Quelle: The Concrete Centre, GB)

Bild 3.2: Schutz durch Betonbauweise – siehe D in Bild 3.1 oben (DMB/Fire Press – Revue soldats du feu magazine, Frankreich)



Tabelle 3.1: Brandschutzanforderungen und ihr Bezug zur Betonbauweise

Ziel	Anforderungen	Erfüllung mit Beton
1. Die Entwicklung eines Brandes eingrenzen	Wände, Böden und Decken sollten aus einem nicht-brennbarem Baustoff bestehen.	Der Baustoff Beton ist nichtbrennbar (Klasse A1) und trägt nicht zur Brandlast bei.
2. Die Standfestigkeit der tragenden Bauteile über einen bestimmten Zeitraum gewährleisten	Bauteile sollten aus einem nichtbrennbaren Material sein und hohen Feuerwiderstand besitzen.	Beton ist nichtbrennbar. Aufgrund seiner geringen Wärmeleitfähigkeit bleibt seine Festigkeit während eines üblichen Brandes (Normbrandkurve) weitgehend erhalten.
3. Die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch begrenzen	Abschottende Wände und Decken sollten nicht-brennbar sein, einen hohen Feuerwiderstand besitzen und die Hitze abschirmen.	Neben den unter 1. und 2. genannten Merkmalen verringern sachgerecht geplante Verbindungen und Anschlüsse in einer kompletten Betonkonstruktion das Versagensrisiko im Brandfall.
4. Die Evakuierung der Bewohner erleichtern und die Sicherheit der Rettungskräfte gewährleisten	Fluchtwege sollten aus nichtbrennbarem Baustoff bestehen und hohen Feuerwiderstand besitzen, damit sie über einen längeren Zeitraum gefahrlos genutzt werden können.	Betontreppenhäuser sind äußerst standfest und bieten ein sehr hohes Maß an Feuerwiderstand. In Beton mit Gleit- und Kletterschalungen erstellte Gebäudekerne sind besonders sichere Räume.
5. Den Einsatz der Löschkräfte (Feuerwehr) erleichtern und sichern	Tragende Bauteile sollten hohen Feuerwiderstand besitzen, um wirksame Löscharbeiten zu ermöglichen. Es sollten keine brennenden Teile abtropfen.	Tragende Betonbauteile behalten ihre Funktion über einen langen Zeitraum und es entstehen keine abschmelzenden Teile.

rocode 1 Teil 2-2 (EN 1991-2-2) legt fest, welche Einwirkungen im Brandfall auf Tragwerke bestehen [10].

Jede Konstruktion, die gemäß Eurocode 2 bemessen ist, muss folgende Brandschutzkriterien erfüllen: Feuerwiderstand [Résistance (R)], Raumabschluss [Étanchéité (E)] und Hitzeabschirmung [Isolation (I)]. Diese drei Kriterien sind in Tabelle 3.2 erläutert. Die Kennzeichnungsbuchstaben R, E und I werden in Verbindung mit Zahlen verwendet, die den Widerstand gegenüber dem ISO-Normbrand in Minuten

angeben. Eine tragende Wand, die einem Brand 90 Minuten lang standhält, würde also als **R 90** eingestuft werden; eine tragende und raumabschließende Wand wäre **RE 90** und eine tragende, raumabschließende und Hitze abschirmende Wand wäre **REI 90**.

**Anmerkung:** Die Buchstaben R, E und I sind von den französischen Begriffen abgeleitet. In Anerkennung der Tatsache, dass sie erstmalig in Frankreich eingeführt wurden, wurden sie im Eurocode übernommen.

### Anwendung von Eurocode 2

Eurocode 2, Teil 1-2, gilt für die brandschutztechnische Bemessung von Betonbauteilen, wobei auch zufällig höhere Brandbeanspruchungen, Bedingungen für den passiven Brandschutz sowie allgemein gültige Brandschutzaspekte erfasst sind. Die Einstufung erfolgt jeweils nach den vorstehend erläuterten Kriterien zu R, E und I.

Wie Bild 3.3 zeigt, kann man mithilfe von EC2 eine Konstruktion brandschutztechnisch bemessen und ihren Feu-

Tabelle 3.2: Die drei Hauptbrandschutzkriterien, abgeleitet aus Eurocode 2, Teil 1-2

Bezeichnung	Bauteileigenschaft mit Schutzziel	Kriterium und Definition - zeitliche Mindestgrenze
<b>Résistance (R)</b> steht für: – Feuerwiderstand – Tragfähigkeit	<b>Feuerwiderstand:</b> Die Tragfähigkeit des Bauwerks soll erhalten bleiben.	Die Tragfähigkeit der Konstruktion bleibt erhalten, sodass die Lastabtragung gewährleistet ist. Hierzu wird eine Zeitspanne gefordert, während der die Tragfähigkeit eines Bauteils erhalten bleibt. Das bedeutet, dass der Feuerwiderstand mindestens so lange gewahrt ist.
<b>Étanchéité (E)</b> steht für: – Flammenbegrenzung – Abschottung – Dichtheit	<b>Raumabschluss:</b> Die Konstruktion soll Menschen und Sachwerte vor den Flammen, schädlichem Rauch und heißen Gasen schützen.	Die Konstruktion bleibt unversehrt, sodass die Flammen und heißen Gase nicht auf die dem Feuer abgekehrte Seite vordringen. Hierzu wird eine Zeitspanne gefordert, während der neben der Tragfähigkeit auch die Dichtheit eines Bauteils erhalten bleibt. Das bedeutet, dass der Raumabschluss mindestens so lange gewahrt ist.
<b>Isolation (I)</b> steht für: – Brandabschirmung – Hitzeschild – Abschottung	<b>Hitzeabschirmung:</b> Die Konstruktion soll Menschen und Sachwerte gegen zu hohe Temperaturen abschirmen.	Die Abschirmung bleibt erhalten, sodass der Temperaturanstieg auf der den Flammen abgekehrten Seite begrenzt wird (i.M. $\leq 140$ K, und kein Punkt $\geq 180$ K). Hierzu wird eine Zeitspanne gefordert, während der neben dem Feuerwiderstand und dem Raumabschluss auch die Temperaturbegrenzung erhalten bleibt. Das bedeutet, dass die Hitzeabschirmung mindestens so lange gewahrt ist.

Für die oben aufgeführten Bauteileigenschaften werden die zeitlichen Mindestgrenzen jeweils in Minuten ausgedrückt, wobei die folgenden Intervalle gelten: 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360.

erwiderstand durch eines von drei Verfahren nachweisen:

1. Ermittlung der Mindestquerschnittswerte sowohl der Abmessungen als auch der Betondeckung nach **Tabellen**
2. Bemessung der Bauteilquerschnitte mithilfe eines **Näherungsverfahrens** zur Festlegung der nicht geschädigten Restquerschnitte aufgrund einer Brandbeanspruchung nach der ISO-Normbrandkurve
3. Bemessung mit **allgemeinen Rechenverfahren** in Abhängigkeit von der Temperaturbeanspruchung und dem Erwärmungsverhalten des Bauteils

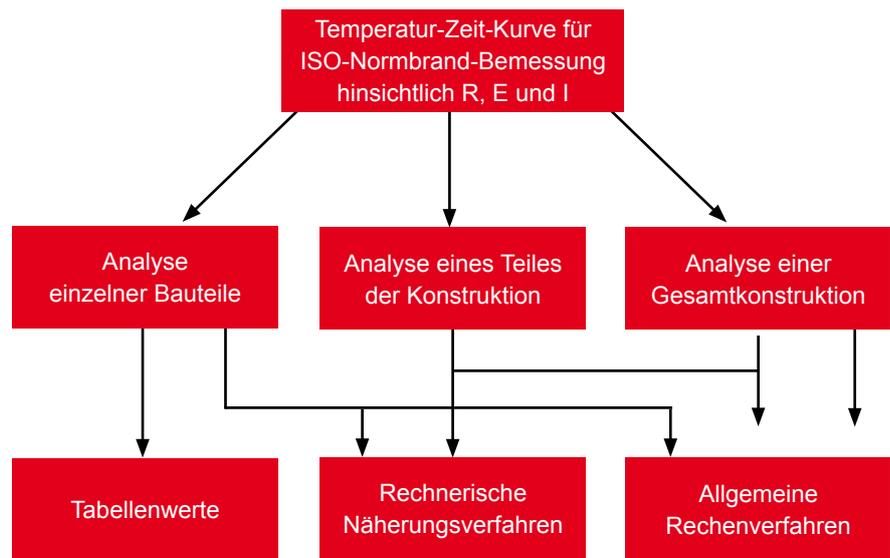


Bild 3.3: Wege zur Bemessung des Feuerwiderstandes von Konstruktionen

Neben den übergeordneten Bestimmungen zur Brandschutzbemessung, die in ganz Europa gelten, können die EU-Mitgliedsstaaten in ihren nationalen Anwendungsdokumenten (NAD) Werte für wichtige Parameter oder Verfahren festlegen. Für Planer ist es wichtig, diese NAD heranzuziehen, um sicherzugehen, dass sie den korrekten Ansatz für das jeweilige Land benutzen, in dem sie arbeiten oder für das sie eine Bemessung aufstellen. Für Planer, die ihr Verständnis zum Eurocode 2 auf den neuesten Stand bringen oder vertiefen möchten, sind Erläuterungen, wie etwa die von Naryanan und Goodchild (2006 [11]), die sich schwerpunktmäßig mit der

Bemessung in Großbritannien befassen, hilfreiche Nachschlagewerke. Aus deutscher Sicht hat Hosser zu den Brandschutzteilen der Eurocodes Erläuterungen und Anwendungshinweise in [12] zusammengestellt. Der umfassende Leitfaden von Denoel/Febelcem (2006 [13]) zum brandschutztechnischen Entwerfen und Konstruieren mit Beton ist ebenfalls hilfreich und enthält eine ausführliche Darstellung der unterschiedlichen Bemessungsverfahren in den Eurocodes. Weitere Hinweise zur Brandschutzplanung mit Beton sind in Frankreich durch

Horvath (2002 [14]) und in Großbritannien von Stollard und Abrahams (1995 [15]) zusammengestellt worden.

#### Fallbeispiel 2: Brandversuche an einer Gesamtkonstruktion aus Stahlbeton

Die Eigenschaften von Beton hinsichtlich der Kriterien R, E und I wurden bei einem groß angelegten Brandversuch (Bild FB 2.1) geprüft, der an dem Betonversuchsgebäude der nichtstaatlichen Building Research Establishment (BRE) in Cardington, England, im Jahr 2001 durchgeführt wurde (Chana und Price, 2003 [16]). BRE fasste die Testergebnisse wie folgt zusammen:

„Das Leistungsvermögen eines nach den Brandschutzanforderungen von Eurocode 2 ausgelegten Gebäudes stellte sich in dem Versuch als hervorragend heraus. Das Gebäude erfüllte unter den Bedingungen eines

*natürlichen Brandes und unter üblicher Deckenbelastung die Leistungsanforderungen für Feuerwiderstand, Hitzeabschirmung und Raumabschluss. Die Decke behielt ihre Tragfähigkeit, ohne dass nach dem Brand irgendwelche Ausbesserungsarbeiten vorgenommen werden mussten.“*

Bild FB 2.1: Brandversuch an einem Betontragwerk bei BRE (Quelle: Building Research Establishment, GB)



# Schutz von Menschenleben

Beton schützt Leben und erhöht die Sicherheit von Bewohnern und Löschkräften.

Brände bedrohen sehr oft Menschenleben. Dieser Sachverhalt verlangt nach steten Verbesserungen beim Brandschutz und veranlasst uns dazu, Gebäude so zu gestalten und zu konstruieren, dass sie die Menschen und ihr Hab und Gut vor Brandgefahren wirksam schützen. Brandschutztechnisch sachgerecht erstellte Gebäude und Konstruktionen aus Beton geben den Menschen Schutz und Sicherheit im Brandfall und erhalten so Leben und Gesundheit, wie es in der europäischen Brandschutz-Gesetzgebung gefordert wird. In Kapitel 2 dieser Veröffentlichung ist erläutert, wie sich Beton im Feuer verhält und wie seine stofflichen Eigenschaften einen verlässlichen Feuerwiderstand gewährleisten.

Der Schutz von Menschenleben beruht auf der materialbedingten Nichtbrennbarkeit des Betons, seiner Feuerwiderstandsfähigkeit und seiner Hitze abschirmenden Eigenschaften. Dieses Brandverhalten gewährleistet die Standsicherheit eines Gebäudes während eines Brandes. So können Menschen sich retten und die Löschkräfte in Sicherheit arbeiten. Zudem werden die durch Brände verursachten Umweltschäden verringert. Wie und wodurch dies geschieht, ist in diesem Kapitel beschrieben.

Betonkonstruktionen bleiben während eines Brandes stabil

Bei der brandschutztechnischen Auslegung können die Funktionen eines Bauteils als tragend, raumabschließend und/oder Hitze abschirmend (R, EI, REI) gekennzeichnet werden. Sie bekommen üblicherweise einen Zahlenwert zugeteilt (in Minuten von 15 bis 240), der die Zeitdauer angibt, über die das Bauteil diese Funktionen planmäßig erfüllen kann (zur

Erläuterung siehe Kapitel 3). Im Brandfall muss die Konstruktion mindestens den gesetzlich geforderten Feuerwiderstand erreichen. Es leuchtet jedoch ein, dass ein darüber hinausgehender möglichst langer Erhalt der Standsicherheit einer Konstruktion für Überleben, Flucht und Löscharbeiten erreicht werden sollte. Das spielt eine besonders wichtige Rolle bei größeren und mehrstöckigen Gebäuden. Tragkonstruktionen aus Beton sind so ausgelegt, dass sie diese Forderung nach der Gesamtstandsicherheit im Brandfall erfüllen und sie in vielen Fällen sogar übertreffen. Aufgrund der Nichtbrennbarkeit und des geringen Temperaturanstiegs wird seine Festigkeit durch einen typischen Gebäudebrand nicht wesentlich beeinträchtigt. Darüber hinaus schafft der stoffbedingte Feuerwiderstand von Beton lang anhaltenden passiven Brandschutz. Denn Beton ist der einzige Baustoff, der zur Entfaltung seiner Brandschutzwirkung nicht auf Kühlmaßnahmen oder Bekleidungen bzw. Überdimensionierungen angewiesen ist.

Das Verhalten des Windsor Tower in Madrid während eines verheerenden Brandes im Februar 2005 veranschaulicht deutlich die Schutzwirkung durch Beton. Die Säulen und der Kern aus Beton verhinderten den Einsturz des 29-stöckigen Gebäudes, und die massiven lastabtragenden Balken aus Beton über dem 16. Stock begrenzten den Brand sieben Stunden lang auf den darüber liegenden Bereich, wie aus Fallbeispiel 3 ersichtlich wird.

## Fallbeispiel 3: Windsor Tower, Madrid, Spanien (2005)

Dieser Brand, der während der Sanierung eines großen, mehrstöckigen Bürogebäudes im Bankenviertel von Madrid entstand und einen Schaden in Höhe von 122 Millionen Euro verursachte, ist ein hervorragendes Beispiel für das Verhalten üblicher Tragkonstruktionen aus Beton im Fall eines Brandes. Der von 1974 bis 1978 erbaute Windsor Tower umfasste 29 Büroetagen, fünf Untergeschosse sowie zwei „technische Etagen“ über dem 3. und 16. Stock. Zum Zeitpunkt seiner Planung waren Sprinkler in den spanischen Bauvorschriften noch nicht gefordert. Als eine entsprechende Novellierung erfolgt war, wurde der Büroturm nachgerüstet, um ihn den geltenden Vorgaben anzupassen. Im Sanierungskonzept war enthalten, dass alle frei stehenden Stahlstützen feuerwiderstandsfähig gemacht, eine neue Fassade und neue Fluchttreppenhäuser erstellt, die Branderkennungs- und Meldesysteme verbessert sowie zwei weitere Stockwerke gebaut werden sollten. Zum Zeitpunkt des Brandes waren 20 Stockwerke des Gebäudes von einer internationalen Wirtschaftsprüfungsgesellschaft belegt und zwei Etagen waren an ein spanisches Anwaltsbüro vermietet. Die Form des Gebäudes (Bild FB 3.1) war im Wesentlichen rechteckig; seine Abmessungen betragen vom 3. Stock aufwärts 40 m x 26 m. Für das Tragwerk mit zentralem Treppenhauskern, den Stützen und den Kassettendecken war Normalbeton verwendet worden. Ein wesentlicher Teil der Fassade bestand aus am Rand stehenden Betonstützen; als wichtigstes Ele-

MODELO DE CALCULO ESTADO INICIAL:

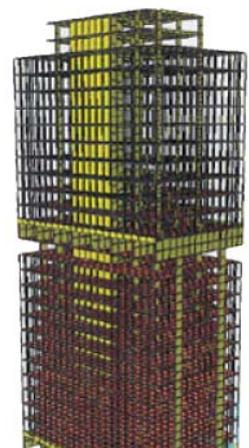


Bild FB 3.1: Konstruktionszeichnung mit Lage der technischen Etage (Quelle: OTEP und CONSTRUCCIONES ORITZ, Spanien)

### Fortsetzung Fallbeispiel 3

ment des Turms sollten sich jedoch die beiden „technischen Etagen“ aus Beton erweisen. Diese beiden „technischen“ oder massiven Stockwerke, die jeweils aus acht sehr hohen Betonträgern von 3,75 m Höhe (Geschosshöhe) bestanden, waren als massive lastabfangende Riegel ausgelegt, die einen fortschreitenden Einsturz durch von oben herabfallende Bauteile des Tragwerks verhindern sollten.



Bild FB 3.2: Das Feuer wütet im Windsor Tower, Madrid. (Quelle: IECA, Spanien)

Der Brand brach knapp zwei Jahre nach Beginn der Sanierungsarbeiten spätnachts aus, als das Gebäude menschenleer war. Er begann im 21. Stock und breitete sich schnell aus; die Flammen konnten sich durch während der Sanierung entstandene Öffnungen und über die Fassade (zwischen den außen stehenden Stützen und der Fassade aus Stahl und Glas) nach oben und durch brennende Teile der Verkleidung, die durch darunter liegende Fenster fielen, nach unten ausbreiten (Bild FB 3.2). Aufgrund der Höhe, des Ausmaßes und der Intensität des Infernos konnte die Feuerwehr lediglich versuchen, den Brand zu begrenzen und angrenzende Anwesen/Nutzungseinheiten zu schützen. Daher wütete der Brand 26 Stunden lang und fast alle Stockwerke fielen ihm zum Opfer.

Als der Brand endlich gelöscht war, war das Gebäude oberhalb des 5. Stocks vollständig ausgebrannt, ein Großteil seiner Fassade war zerstört, und man fürchtete, es würde einstürzen (Bild FB 3.3). Das Gebäude blieb jedoch während des gesamten Brandes und bis zu seinem endgültigen Abriss stehen; lediglich die Fassade und



Bild FB 3.3: Die Fassade oberhalb der technischen Etage im 16. Stock wurde völlig zerstört. (Quelle: IECA, Spanien)

angrenzende Decken der Stockwerke über der oberen „technischen Etage“ aus Beton stürzten ein. Durch den Feuerwiderstand der Stützen und des Treppenhaukerns aus Beton wurde ein vollständiger Einsturz verhindert; eine entscheidende Rolle spielten dabei die beiden „technischen Etagen“ aus Beton. Dies gilt insbesondere für die Etage über dem 16. Stockwerk, die den Brand mehr als sieben Stunden lang begrenzte. Erst als außen liegende Gebäudeteile in größerem Ausmaß einstürzten, führten herabfallende Trümmer dazu, dass der Brand sich auf die Stockwerke darunter ausbreitete. Diese gerieten in Brand. Doch auch hier wurde der Schaden auf die Stockwerke oberhalb der unteren „technischen Etage“ im 3. Stockwerk begrenzt.

Dies belegt eindrucksvoll, dass massive, in regelmäßigen Abständen vorgesehene Betondecken die Gefahr eines Einsturzes minimieren und ein Ausbreiten des Brandes verhindern können. Der einzige gerichtliche Bericht über den Brand im Windsor-Gebäude wurde von spanischen Wissenschaftlern des Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (Intemac) erstellt [17]. Diese unabhängige Untersuchung richtete ihr Hauptaugenmerk auf den Feuerwiderstand und die nach dem Brand verbliebene Tragfähigkeit der Konstruktion (Intemac, 2005). Basierend auf den Erkenntnissen von Intemac wird in dem Bericht von 2005 sinngemäß dargelegt:

„Die Betonkonstruktion des Windsor-Gebäudes zeigte während eines gravierenden Brandes ein herausragend gutes Verhalten; dieses war viel besser, als es zu erwarten gewesen wäre,

wenn man die geltenden Gesetze für Betonkonstruktionen zum Ansatz gebracht hätte. Wieder bestätigte sich die Notwendigkeit, dass Stahlbauteile vorschriftsmäßig feuerwiderstandsfähig gemacht werden müssen, damit sie ihre Leistungsfähigkeit im Brandfall gewährleisten. Angesichts des Verhaltens dieser Bauteile auf den Etagen, die bereits feuerwiderstandsfähig gemacht worden waren, liegt es sehr nahe – obwohl es natürlich nicht mit absoluter Sicherheit behauptet werden kann – dass die oberen Stockwerke nicht eingestürzt wären, wenn der Brand erst ausgebrochen wäre, nachdem sie feuersicher ausgerüstet worden waren. Der Unfall hätte dann mit großer Wahrscheinlichkeit weitaus weniger verheerende Auswirkungen gehabt.“

Das spanische Forschungszentrum Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc) untersuchte in Zusammenarbeit mit dem Spanish Institute of Cement and its Applications (IECA) die tragenden Stahlbeton-Bauteile des Windsor Tower. Im Zuge der Forschungsarbeiten wurde auch die Mikrostruktur dieser Bauteile thermoanalytisch und elektronenmikroskopisch untersucht. Dabei fand man heraus, dass im Inneren des Betons in einem Abstand von 5 cm von der beflamten Oberfläche Temperaturen von 500 °C erreicht wurden. Dieses Ergebnis beweist einerseits die Heftigkeit des Brandes im Windsor Tower und andererseits das gute Verhalten einer Betondeckung, die die Bemessungsnormen für den Feuerwiderstand von Betonkonstruktionen erfüllt.

## Beton ermöglicht sichere Flucht und sicheres Löschen

Dass die Standsicherheit von Betonkonstruktionen im Brandfall erhalten bleibt, ist von besonderer Bedeutung für die sichere Evakuierung der Bewohner aus einem Gebäude sowie für die Löscharbeiten. Treppenhäuser, Böden, Decken und Wände aus Beton verhindern ein Ausbreiten der Flammen und bilden standfeste Brandabschnitte, wodurch sichere Fluchtmöglichkeiten und ein gesicherter Zugang für die Rettungsmannschaften geschaffen werden. Fluchtwege aus Beton verfügen über ein hohes Maß an Standfestigkeit und Geschlossenheit, das andere Baustoffe nicht erreichen. Ihr Einbau ist besonders wichtig bei Wohngebäuden und bei Bauten mit großen Menschenansammlungen, wie Einkaufszentren, Theater und Bürohochhäuser. Der Einsatz von Beton erhöht außerdem wirksam die Sicherheit der Löschkräfte. Tragende und raumabschließende Bauteile aus Beton bieten den Löschkräften selbst dann wirkungsvollen Schutz, wenn sie sich innerhalb eines brennenden Gebäudes aufhalten. Nur unter solchen Bedingungen können derartige Einsätze mit einem hinreichend geringen Risiko durchgeführt werden. Die Empfehlungen, die das National Institute of Standards and Technology (NIST) nach dem Einsturz des World Trade Center gegeben hat, besitzen daher einen hohen Stellenwert (siehe Fallbeispiel 4A).

Für Löschkräfte sind vor allem Hochhaustürme und Tunnel schwierige Bauwerke. Gerade bei Tunneln spielt Beton eine entscheidende Rolle für die Rettung von Menschenleben – siehe Fallbeispiel 5.

### Fallbeispiel 4A: World-Trade Centre-Gebäude, New York (2001)

Die Untersuchung des National Institute of Standards and Technology (NIST) nach der Katastrophe im World Trade Centre in New York im September 2001 [18] zählt zweifellos zu den maßgeblichsten und einflussreichsten Berichten, die jemals über Gebäudesicherheit verfasst wurden (für nähere Informationen siehe: <http://wtc.nist.gov/>). Das abschließende Berichtswerk, das 10.000 Seiten umfasste, wurde 2006 im Anschluss an eine dreijährige Untersuchung des Brandes im Gebäude und der Brandsicherheit abgeschlossen. NIST analysierte die Faktoren, die vermutlich zum Einsturz der beiden als Stahlskelette errichteten Bürotürme geführt hatten, und erarbeitete etwa 30 grundlegende, allgemein gültige Empfehlungen zu Vorschriften, Normen und Vorgehensweisen für Tragwerksbemessungen und Personenschutz. Unter anderem fordert der NIST-Bericht:

- **Konstruktionen müssen in höherem Maße unbeschadet und standsicher bleiben;** dazu gehört auch, dass ein fortschreitendes Einstürzen verhindert und landesweit anerkannte Prüfnormen übernommen werden.
- **Der Feuerwiderstand von Konstruktionen muss erhöht werden;** erforderlich sind: rechtzeitiger Zugang und Evakuierung, Ausbrand ohne Teileinsturz, Redundanz bei den Brandschutzsystemen, Brandabschnittsbegrenzungen und die Fähigkeit, dem größtmöglichen realistisch vorstellbaren Brandszenario standzuhalten.
- **Neue Verfahren zur Feuerwiderstandsbemessung von Konstruktionen:** Dazu gehört auch die Anforderung, dass der Ausbrand von nicht unter Kontrolle gebrachten Gebäudebränden zu keinem vollständigen oder teilweisen Einsturz führen sollte.
- **Verbesserung der Evakuierung aus Gebäuden:** durch lange andauernde Standsicherheit Überlebenschancen erhalten

- **Verbesserung des aktiven Brandschutzes** durch Alarm-, Melde- und automatische Löschsyste
- **Verbesserung der Technologien und Vorgehensweisen, um bei Notfällen richtig zu reagieren**
- **Strengere Vorschriften für Sprinkler und Fluchtwege in bestehenden Gebäuden**

Dr. Shyam Sunder, der die Untersuchung für das NIST leitete, räumte ein, dass außerordentliche Umstände zum Einsturz der Gebäude geführt hatten. Das NIST-Team hat infolge der durchgeführten Analysen und Prüfungen eine Reihe von vorrangigen, realistischen, sachgerechten und durchführbaren leistungsorientierten Empfehlungen erarbeitet. Beton kann diese Empfehlungen leicht erfüllen.

### Fallbeispiel 4B: Pentagon-Gebäude, Washington (2001)

Im Zusammenhang mit den Anschlägen auf die Bürohochhäuser des World Trade Centre steht der Anschlag auf das Pentagon-Gebäude in Washington, der zur gleichen Zeit ausgeführt wurde.

Der Bericht der American Society of Civil Engineers (ASCE) [19] über das Gebäudeverhalten beim Aufprall des Flugzeugs auf das Pentagon-Gebäude gelangt zu dem Schluss, dass die Stahlbetonkonstruktion maßgeblichen Anteil daran hatte, weitere Schäden an dem Gebäude zu verhindern (ASCE, 2003). Darin wird sinngemäß festgestellt, dass der „Zusammenhalt der Betonkonstruktion, die Redundanz sowie die Belastbarkeit und Elastizität innerhalb der Konstruktion zum Gebäudeverhalten beigetragen haben“, und es wird empfohlen, dass diese Merkmale künftig in Gebäuden zu verwirklichen sind, insbesondere wenn das Risiko für einen fortschreitenden Einsturz als hoch eingeschätzt wird.



### Fallbeispiel 5: Verbesserung des Brandschutzes in Straßentunneln

Straßen- und Eisenbahntunnel in einer Gesamtlänge von über 15.000 km durchziehen Europa. Sie sind Teil unserer Verkehrsinfrastruktur und spielen in Gebirgsregionen, zunehmend aber auch in Großstädten eine besonders wichtige Rolle, weil Tunnel die Verkehrsdichte entzerren und Freiräume in der Stadt schaffen können. Das Problem besteht darin, dass es bei Unfällen mit Fahrzeugen zu äußerst schweren Bränden kommen kann. Aufgrund brennender Fahrzeuge und brennenden Treibstoffs erreichen Tunnelbrände in der Regel sehr hohe Temperaturen, die bis auf 1.350 °C steigen können, üblicherweise aber bei etwa 1.000 bis 1.200 °C liegen. In Tunneln werden die Spitzentemperaturen schneller erreicht als bei Gebäudebränden (vgl. Bild FB 5.1), was hauptsächlich auf den in Benzin und Diesel enthaltenen Kohlenwasserstoff, aber auch auf den eng begrenzten Raum zurückzuführen ist.

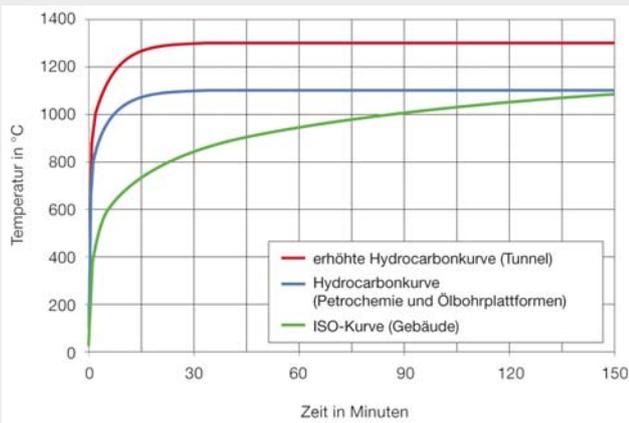


Bild FB 5.1: Bei Tunnelbränden herrschen sehr hohe Temperaturen vor. (Quelle: J-F Denoël/ FEBELCEM, Belgien)

Laut Münchener Rückversicherung (2003) [20] ist die Wahrscheinlichkeit für den Ausbruch eines Brandes in einem Straßentunnel 20-mal höher als in einem Eisenbahntunnel. Bei diesen extremen Bränden sind oft Todesopfer zu beklagen. Schätzungsweise können Menschen, die dem Rauch ausgesetzt sind, dies weniger als zwei Minuten überleben, da die entstehenden Gase hochgiftig sind. Brände in relativ langen Tunneln in abgelegenen Gebieten können zudem sehr lange andauern. Der Brand im Mont-Blanc-Tunnel im Jahr 2001 etwa wütete ganze 53 Stunden lang. Brandereignisse größeren Ausmaßes, wie etwa die im Channel-Tunnel (1996), dem Mont-Blanc-Tunnel (1999) und im St. Gotthard-Tunnel (2001), haben die verheerenden Folgen von Tunnelbränden ins öffentliche Bewusstsein gerückt und die Unzulänglichkeiten der eingesetzten Baustoffe und bautechnischen Lösungen deutlich gemacht. Die Aufsichtsbehörden haben folglich ihr Hauptaugenmerk darauf gerichtet, die Bedingungen zur Evakuierung und Rettung von Menschen bei

Unfällen in Tunneln zu verbessern. Planer legen ihren Schwerpunkt jetzt auf Sicherheit, Beständigkeit und Standfestigkeit.

Sie alle haben jedoch dem Fahrbelag und dessen Beitrag zur Brandlast vermutlich nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt. Es ist daher erforderlich, bei der Planung und beim Bau von Tunneln einen ganzheitlicheren Ansatz zu wählen, indem eine Lösung in Betonbauweise in Betracht gezogen wird (CEMBUREAU, 2004 [21]). Kommt es in Straßentunneln zu einem Brand, trägt eine nichtbrennbare und keine toxischen Gase freisetzende Fahrbahndecke, wie bei Beton, zur Sicherheit sowohl der Fahrzeuginsassen als auch der Rettungskräfte bei. Beton erfüllt diese beiden Kriterien, da er nichtbrennbar ist, nicht zur Brandlast beiträgt, nicht weich wird (also auch die Löschkraft nicht behindert), sich nicht verformt oder abtropft und bei einem Brand – egal wie intensiv er ist – keine giftigen Gase freisetzt.

Beton kann entweder allein oder in Kombination mit einer Isolierschicht zum Auskleiden von Tunneln, aber auch für die Fahrbahndecke verwendet werden. Dies ist besonders praktisch, da er Asphalt ersetzen kann. Im Vergleich zu Asphalt bedeutet Beton:

- **Höhere Sicherheit:** Beton brennt nicht und setzt keine giftigen Gase frei (Asphalt entzündet sich bei etwa 400 bis 500 °C und setzt innerhalb weniger Minuten erstickende, Krebs erregende Dämpfe, Rauch, Russ und Schadstoffe frei). Beim Brand des Mont-Blanc-Tunnels brannten 1.200 m der Asphalt-Straßendecke so heftig, als ob 85 weitere Autos in Flammen stünden (CEMBUREAU, 2004).
- **Höhere Beständigkeit** der Fahrbahndecke, der Einrichtungen und der Konstruktion: Beton verliert auch bei Erwärmung nicht seine Form, während Asphalt sich entzündet, seine äußere Form einbüßt und Evakuierungs- und Rettungsarbeiten behindert.

- **Längere Wartungsintervalle** im Vergleich zu Asphaltdecken.
- **Bessere Lichtverhältnisse;** Beton hat eine hellere Farbe und reflektiert somit mehr, was sowohl unter normalen Betriebsbedingungen als auch in Notfällen für bessere Sicht sorgt.
- **Höhere Dauerhaftigkeit** der Betonfahrbahndecke führt zu weniger Tunnelstörungen sowie selteneren Arbeiten an der Fahrbahn. Störungen mit Umleitungen steigern die Umweltbelastung und Straßenbauarbeiten bedeuten ein Risiko für die Bauarbeiter.

In ihrem umfassenden Leitfaden zur Gefahrenminderung in Tunneln stellt die internationale Rückversicherungsgesellschaft Münchener Rück (2003, S. 20) fest, dass in Tunneln eine Fahrbahn aus nichtbrennbarem Material (z. B. Beton anstelle von Asphalt) in Betracht gezogen werden muss. Einige Behörden haben auch die Rolle anerkannt, die Beton beim Brandschutz in Tunneln



Bild FB 5.2: Kinkempois-Tunnel (Verbindung E25 – E40) in Lüttich, Belgien, mit einer Fahrbahndecke aus Beton. Betonfahrbahndecken halten den extremen Temperaturen stand, die bei Tunnelbränden vorherrschen. (Quelle: photodaylight.com)

spielen kann. In Österreich ist seit 2001 durch einen Erlass festgelegt, dass in allen neuen Straßentunneln von mehr als einem Kilometer Länge die Fahrbahndecke in Beton ausgeführt werden muss. In der Slowakei werden ebenfalls in allen neuen Tunneln Betonfahrbahndecken eingebaut, und in Spanien wird Beton für neue Tunnel empfohlen (CEMBUREAU, 2004).

Tunnelbrände zählen zu den schwersten Bränden. Angesichts der äußerst hohen Temperaturen ist mit Abplatzungen an der Betonoberfläche zu rechnen (vgl. Kapitel 2). An der Entwicklung von Auskleidungsmaterialien, die die Auswirkungen an stark beanspruchten Betonoberflächen minimieren sollen, wurde intensiv geforscht (z. B. Khoury, 2000 [6]). Es wurde belegt, dass die Zugabe von monofilen Polypropylenfasern zur Betonmischung wirksam dazu beiträgt, Abplatzungen von Betonoberflächen zu verringern. Die Maßnahme ergibt einen Beton, der während eines Brandes „atmen“ kann und somit weniger zum Abplatzen neigt.

## Beton verhindert eine Belastung der Umwelt

Beton bildet bei einem Brand keinen Rauch oder toxische Gase. Der Baustoff kann zudem dazu beitragen, die Ausbreitung von Bränden mit ihren umweltschädlichen Rauchgasen zu verhindern. Durch Brandabschnitte und abschottende Wände aus Beton kann nur ein begrenztes Volumen an Gütern in Brand geraten, was dazu beiträgt, die Menge der Verbrennungsprodukte, wie z. B. Rauch, Rauchgase, toxische Gase und schädliche Rückstände, zu verringern. Bei kleineren Bränden fällt auch weniger Löschwasser an. Betonbehälter oder Auffangwannen aus Beton können im Brandfall außerdem als Barrieren fungieren und das Auslaufen von umweltschädlichen Flüssigkeiten oder verunreinigtem Löschwasser verhindern. Beton scheidet während eines Brandes keinen Ruß ab, der nur schwer und unter Gefahren zu beseitigen ist.

## Brandschutz in Wohngebäuden

Die in Kapitel 1 dargelegten europäischen Anforderungen an Brandschutz beziehen sich vor allem auf den Personenschutz in Wohngebäuden. In Ein- und Mehrfamilienhäusern können sich viele Menschen aufhalten. Die Brandlast ist in Wohnbereichen aufgrund von Möbeln und Einbauten oft hoch. Besonders groß ist die Gefahr für schlafende Menschen. Deswegen bedarf die brandschutztechnische Planung von Wohnbereichen besonders großer Sorgfalt. Der Großteil der Wohnungsbrandopfer stirbt nicht infolge eines Gebäudeeinsturzes, sondern durch das Einatmen von Rauch oder Gasen aus brennenden Materialien. Die Bewohner sind deshalb nicht mehr in der Lage zu fliehen und ersticken (Neck, 2002 [1]).

In Europa wurden in den letzten Jahren zwei wichtige Berichte zur höheren Brandsicherheit durch die Betonbauweise publiziert.

## Bericht 1: Vergleich des Brandschutzes in Wohngebäuden aus Holz und aus Beton

Bei einem Vergleich des Brandschutzes in Tragkonstruktionen aus Beton und Holz arbeitete Prof. Ulrich Schneider, Technische Universität Wien, sieben spezifische Risiken heraus, die sich aus der Verwendung eines brennbaren Baustoffs – wie etwa Holz – für die Gebäudekonstruktion und -verkleidung ergeben (Schneider und Oswald, 2005 [22]). Sie sind in Tafel 4.1 aufgeführt.

Außerdem untersuchte Schneider die Brandopfer-Statistiken verschiedener Länder, anhand derer sich eine eindeutige Korrelation zwischen der Zahl der Brandtoten und den in Gebäuden verwendeten Baustoffen ergab. Das Ergebnis ist in Bild 4.1 dargestellt. Die eingehende Untersuchung typischer Details der Holzbauweise machte deutlich, dass ein Versagen während eines Brandes durch das Entzünden und Einstürzen tragender und nichttragender Bauteile sowie durch metallische Verbindungen innerhalb der Holzkonstruktion entstehen kann, die sich bei Brandbeanspruchung

1.	Anstieg der Brandlast
2.	Erhöhtes Freisetzen von Rauch und Verbrennungsprodukten
3.	Höhere Mengen an Kohlenmonoxid
4.	Entzündung von tragenden Bauteilen
5.	Brandentstehung in Hohlräumen der Konstruktion
6.	Gefahr von Schwelbränden und nicht wahrnehmbarem Glimmen (Glutnester)
7.	Häufigeres Auftreten eines schlagartigen Vollbrandes bzw. des „Flash-over“

Tafel 4.1: Risiken durch Verwendung brennbarer Baustoffe

verformen und ihre Tragfähigkeit einbüßen. Schneider fand weiter heraus, dass ein Übergreifen des Brandes auf angrenzende Räume und/oder Wohnungen bei Gebäuden mit Außenwänden aus Holz oder mit Holzaußenverkleidungen erheblich beschleunigt wurde. Als Schlussfolgerung beschreibt Professor Schneider, dass Tragkonstruktionen aus Holz „in brandschutztechnischer Hinsicht zahlreiche Schwachstellen“ aufweisen, und empfiehlt: „Tragkonstruktionen aus Holz können im Prinzip nur brandsi-

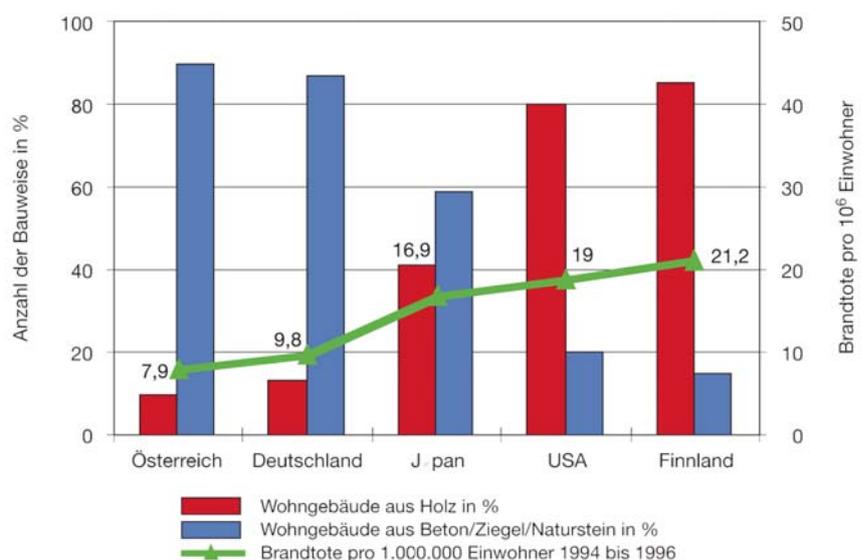


Bild 4.1: Brandtote in Abhängigkeit von der Bauweise in fünf großen Ländern (1994 bis 1996) (TUW, Wien, Schneider und Oswald 2005 [22])

cher gemacht werden durch den Einsatz automatischer Feuerlöschsysteme oder durch die Verwendung nichtentflammbarer Baustoffe zur feuersicheren Verkleidung aller entflammbaren Oberflächen, wie dies auch in den neuen Musterrichtlinien für Tragkonstruktionen aus Holz festgelegt ist“ (Schneider und Oswald, 2005 [22]).

## Bericht 2: Unabhängige Brandschaden-Erhebung

In Schweden ermittelte Olle Lundberg in einer unabhängigen Untersuchung [23] das Verhältnis von Kosten durch Brandschäden zu dem Baustoff, aus dem die Häuser errichtet wurden. Als Grundlage dienten Statistiken des schwedischen Versicherungsverbandes (*Forsakringsforbundet*). Die Studie beschränkte sich auf größere Brände in Mehrfamilienhäusern, bei denen der Wert des versicherten Gebäudes höher als 150.000 € lag. In der Studie wurden 125 Brände in einem Zeitraum von 1995 bis 2004 erfasst. Dies entsprach 10 %

der Brände in Mehrfamilienhäusern, aber 56 % der Großbrände. Die Ergebnisse zeigten:

Die durchschnittliche Versicherungsleistung pro Brand und Wohnung liegt bei Holzhäusern etwa fünfmal so hoch wie bei Wohnhäusern aus Beton/Mauerwerk (ca. 50.000 € gegenüber 10.000 €).

Die Wahrscheinlichkeit für das Entstehen eines Großbrandes ist in Holzhäusern mehr als 11-mal so hoch wie in Häusern aus Beton oder Mauerwerk.

Während 50 % der durch Feuer geschädigten Häuser aus Holz abgerissen werden mussten, betrug diese Zahl bei den Betonhäusern gerade einmal 9 %.

Bei nur drei der 55 Brände in Wohnhäusern aus Beton griff das Feuer auf benachbarte Wohnungen über.

45 der 55 Brände betrafen Brände, die auch auf Dachböden und in den Dachbereich übergriffen; typischerweise bricht ein Brand im oberen Wohngeschoss aus und greift dann auf den Dachboden und den Dachbereich über, wo üblicherweise mit Holz gebaut wird.

Diese Forschungsarbeiten liefern wichtige Belege für die Gefahren, die eine Tragkonstruktion aus Holz birgt, und unterstreichen die Notwendigkeit, alle brandschutztechnischen Vorzüge der Beton- und Betonmauerwerksbauweise in Erwägung zu ziehen. Wie die Ergebnisse zeigen, macht die Kombination aus Nichtbrennbarkeit und den höchst wirkungsvollen Brand abschirmenden Eigenschaften Beton zur ersten Wahl bei der Erstellung sicherer Wohngebäude.

## Beton verhindert ein Ausbreiten von Bränden nach Erdbeben

Aufgrund der in manchen Ländern geltenden Planungsregeln zum erdbebensicheren Bauen müssen Planer das spezifische Problem von Bränden nach Erdbeben beachten. Dieser Tatsache wurde in Ländern wie Neuseeland Rechnung getragen, wo Bauwerken aus Beton eine geringe Anfälligkeit für die Ausbreitung von Bränden nach Erdbeben bescheinigt wurde (Wellington Lifelines Group, 2002 [24]).



Bild FB 6.1: Der Brand in den erst teilweise errichteten Wohnblocks in Holzbauweise in Colindale wütete fünf Stunden lang. 100 Feuerwehrleute und 20 Löschfahrzeuge waren nötig, um ihn unter Kontrolle zu bringen. (Quelle: John-Macdonald-Fulton, GB)

## Fallbeispiel 6: Brand an im Bau befindlichem Holzgebäude, Colindale, London (2006)

An einem großen neuen Wohnkomplex im Norden von London brach während der Bauphase ein Feuer aus und setzte einige sechsstöckige Gebäude aus Holztragwerk in Brand (Bild FB 6.1). Das Feuer brannte fünf Stunden lang; 100 Feuerwehrleute und 20 Löschfahrzeuge waren im Einsatz, um es unter Kontrolle zu bringen. Laut Augenzeugenberichten wurden die Wohnblöcke innerhalb von Minuten zerstört. Kurz nach dem Brand zeichnete eine in der Nähe installierte Station zur Luftqualitätsüberwachung einen erheblichen Anstieg der Belastung mit toxischem PM10-Feinstaub auf, was bei Menschen mit Atemwegserkrankungen zu ernstlichen gesundheitlichen Problemen führen kann. Aus der Umgebung wurden etwa 2.500 Menschen evakuiert, eine große Straße war zwei Stunden lang

gesperrt, und das Studentenwohnheim eines benachbarten Colleges wurde so schwer beschädigt, dass die Studenten nicht dorthin zurückkehren konnten. Glücklicherweise waren die neuen Bewohner noch nicht in das Wohnbauprojekt eingezogen, und das College stand während der Sommerferien weitestgehend leer. Trotzdem entstanden erhebliche Beeinträchtigungen. Beamte der örtlichen Bauaufsichtsbehörden äußerten sich besorgt und stellten fest: „Wenn die Decken in Betonbauweise ausgeführt sind und es brennt, wird der Brand in Abschnitte unterteilt. Bei Holz dagegen frisst sich der Brand voll durch.“ (Building Design, 21/07/06, S. 1). Als dieser Text verfasst wurde, sollte zumindest ein Block des Projekts wieder aufgebaut werden – diesmal aber aus Beton!

# Schutz für Sachwerte und Betriebe

Beton schützt Hab und Gut – Brandschutz mit Beton sichert Sachwerte und ermöglicht die schnelle Wiederaufnahme des Geschäftsbetriebs.

Gebäude und Konstruktionen aus Beton können Menschen und Sachwerte vor Brandgefahren schützen. Bei der Planung und in Notfallsituationen hat der Personenschutz natürlich die höchste Priorität. Aber auch das wirtschaftliche Überleben, der Umweltschutz und die Erhaltung äußerst wichtiger Infrastrukturen liegen im Interesse von Privateigentümern, Versicherungen und Behörden. Diesen Gesichtspunkten trägt die europäische Gesetzgebung zum Brandschutz Rechnung. Das steht in Kapitel 1.

## Beton schützt vor und nach dem Brand

Die jährlichen Gesamtkosten von Brandschäden werden auf 0,2 bis 0,3 % des Bruttosozialprodukts (BSP) geschätzt (siehe Tabelle 5.1). Das summiert sich in den europäischen Ländern auf viele Millionen Euro. Doch diese Zahl allein kann noch keine ausreichende Vorstellung vom möglichen Ausmaß der Auswirkungen von Bränden vermitteln, wie Denoël/Febelcem (2006 [25]) darlegt. In *Usine enterprise* (2004 [26]) wird festgestellt, dass über 50 % der Unternehmen nach einem Großbrand Bankrott gehen. Bei Gewerbebetrieben, wie Lagerhallen, Hotels, Fabriken, Bürohäusern und Logistikzentren, bringt ein Brand die Abläufe und die Produktivität des Geschäftsbetriebs zum Erliegen, was für ihre Kunden den Ausfall der bestellten Leistungen bedeutet. Daraus ergeben sich schwer wiegende Probleme, die zum Verlust von Arbeitsplätzen oder zur Betriebsschließung führen können. Bei infrastrukturell wichtigen Gebäuden kön-

nen die Auswirkungen noch weitreichender sein. Zu solchen Gebäuden zählen Krankenhäuser, Bahnhöfe, Wasserwerke, Kraftwerke, Regierungsgebäude sowie Datensicherungs- und Telekommunikationseinrichtungen. Betriebsausfälle bei dieser Kategorie von Gebäuden sind unerwünscht und haben möglicherweise verheerende Auswirkungen auf die Lebensabläufe.

## Beton bietet Brandschutz kostenlos

Die These, dass Beton kostenlosen Brandschutz ermöglicht, mag überraschen. Denn den weltweiten Angaben zu Brandschutzkosten ist zu entnehmen, dass in der Regel etwa 2 bis 4 % der Baukosten auf Brandschutzmaßnahmen entfallen (siehe Tabelle 5.1). Bei Beton ist Brandschutz jedoch ein mit dem Baumaterial selbst verbundener

Vorzug, der gratis geliefert wird. Die brandschutztechnischen Eigenschaften von Beton ändern sich im Laufe der Zeit nicht und bleiben gleich hoch, ohne dass dafür Wartungskosten anfallen.

Beton verfügt sogar über Brandschutzreserven, die häufig dann genutzt werden können, wenn das Gebäude anders genutzt oder umgebaut wird, woraus sich möglicherweise höhere brandschutztechnische Anforderungen ergeben.

Durch ihre materialbedingten Feuerwiderstandseigenschaften erfüllen Betonbauteile auf wirtschaftliche Weise die Brandschutzanforderungen. Ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen, wie z. B. Bekleidungen, Schutzanstriche, decken sie den vollen Umfang der Feuerwiderstandsklassen – bis R 360 – ab. Mit den oft vorhandenen Reserven an Feuerwi-

Tabelle 5.1: Internationale Statistikangaben zu Gebäudebränden 1994 bis 1996 (Neck, 2002 [1])

Land	Kosten direkter und indirekter Brandschäden in % vom BSP	Tote pro 100.000 Einwohner und Jahr	Kosten für Brandschutzmaßnahmen in % vom BSP	Kosten für Schäden und Schutzmaßnahmen in % vom BSP
Österreich	0,20	0,79	o. A.	o. A.
Belgien	0,40 <sup>(1988-89)</sup>	1,32	o. A.	0,61
Dänemark	0,26	1,82	o. A.	o. A.
Finnland	0,16	2,12	o. A.	o. A.
Frankreich	0,25	1,16	2,5	0,40
Deutschland	0,20	0,98	o. A.	o. A.
Italien	0,29	0,86	4,0	0,63
Norwegen	0,24	1,45	3,5	0,66
Spanien	0,12 <sup>(1984)</sup>	0,77	o. A.	o. A.
Schweden	0,24	1,32	2,5	0,35
Schweiz	0,33 <sup>(1989)</sup>	0,55	o. A.	0,62
Niederlande	0,21	0,68	3,0	0,51
Großbritannien	0,16	1,31	2,2	0,32
USA	0,14	1,90	o. A.	0,48
Kanada	0,22	1,42	3,9	0,50
Japan	0,12	1,69	2,5	0,34

derstand fängt Beton auch kleinere Änderungen in der Brandschutzgesetzgebung auf und schafft damit sozusagen brandschutztechnisch „zukunftssichere“ Bauwerke. Wenn tatsächlich ein Brand ausbricht, macht sich die Entscheidung für ein Gebäude aus Beton besonders bezahlt. Das betrifft Wohnungen und Betriebe gleichermaßen. Deshalb bietet das günstige Brandverhalten von Beton nicht nur im Brandfall, sondern auch in seiner Folge erhebliche wirtschaftliche Vorteile:

- Aufgrund der hohen Feuerwiderstandsfähigkeit von Betonbauteilen kann jeder Brand **auf einen kleinen Bereich**, Raum oder Abschnitt **begrenzt** werden; dies minimiert die Schäden und damit auch Umfang und Ausmaß der erforderlichen Instandsetzung.
- **Instandsetzungsarbeiten an brandgeschädigten Betonbauten sind in der Regel nicht sehr umfangreich.** Sie können relativ einfach und kostengünstig ausgeführt werden. Denn häufig müssen nur begrenzte Bereiche der Betonoberfläche instand gesetzt werden. Nur selten muss ein Gebäude teilweise oder ganz abgerissen werden (vgl. Kapitel 2).
- **Brandabschnittswände und -decken aus Beton verhindern ein Ausbreiten des Brandes**, sodass angrenzende Räume in Fabrik-, Lager- und Bürogebäuden sowie benachbarte Wohnungen in Wohngebäuden im Regelfall unabhängig vom Zustand des brandgeschädigten Bereichs weiter normal genutzt werden können, sobald das Feuer gelöscht ist.
- **Brandabschottende Wände aus Beton verhindern** in Industrie- und Gewerbebetrieben **den Verlust wertvoller Sachgüter** wie Maschinen, Einrichtungen oder Lagerbestände, wodurch die negativen Auswirkungen auf den Geschäftsbetrieb und die Ansprüche an die Versicherungen begrenzt werden.
- Der **Wasserschaden** nach einem Brand ist in Betongebäuden erfahrungsgemäß **unwesentlich**.

### Niedrigere Versicherungsprämien mit Beton

Jeder Brand verursacht wirtschaftlichen Schaden, und in den meisten Fällen sind es die Versicherungen, die für Brandschäden aufkommen müssen. Aus diesem Grund unterhalten Versicherungsgesellschaften umfassende Datenbanken zum Brandverhalten aller Baustoffe. Sie wissen, dass Beton hervorragenden Brandschutz bietet. Das schlägt sich in niedrigeren Versicherungsprämien nieder. Die Versicherungsprämien für Gebäude aus Beton sind in ganz Europa in der Regel niedriger als für Gebäude aus anderen Baustoffen, die durch Brände häufiger schwer beschädigt oder gar zerstört werden. In den meisten Fällen werden Betongebäude aufgrund ihres bewährten Brandschutzes und Feuerwiderstandes bei der Feuer-/Betriebsunterbrechungs-

Versicherung in die günstigste Kategorie eingestuft. Selbstverständlich hat jede Versicherungsgesellschaft ihre eigenen Vorschriften und Prämientabellen, die zudem von Land zu Land verschieden sind. Bei der Berechnung der Prämien für eine Police kann es sein, dass Versicherungen unter anderem folgende Faktoren in Betracht ziehen:

- Baumaterial
- Art der Dacheindeckung
- Zweck und Art der Nutzung des Gebäudes
- Abstand zu benachbarten Gebäuden
- Art der Bauteile der Gebäudekonstruktion
- Art des Heizungssystems
- Beschaffenheit der elektrischen Installationen
- Schutz- und Vorbeugemaßnahmen für den Brandfall

#### Fallbeispiel 7: Versicherungsprämien für Lagergebäude in Frankreich

Leider hat die Öffentlichkeit nur in sehr geringem Umfang Zugang zu Zahlen über Versicherungskosten, aber es gibt einige Vergleichsstudien. In Frankreich veröffentlichte CIMbéton 2006 [8] eine Zusammenstellung und ein Modell für Versicherungskosten, das darauf basiert, wie Versicherungen einstöckige Lager-/Industriebauten risikotechnisch bewerten. Aus der Studie geht hervor, dass Versicherungsprämien auf einigen Faktoren basieren, zu denen auch die im Gebäude ausgeübte Tätigkeit und die Bauweise zählen. Der Baustoff ist zweifellos wichtig – das Tragwerk, die Außenwände, die Anzahl der Stockwerke, die Dacheindeckung und die Einrichtungen fließen in die Kalkulation mit ein. Die Ergebnisse zeigen deutlich, in welchem Maße Beton in allen Bereichen des Gebäudes anderen Baustoffen wie

Stahl und Holz vorzuziehen ist. Beispielsweise schlägt sich die Entscheidung, bei einem einstöckigen Lagergebäude Tragwerk und Wände aus Beton zu errichten, in einem Abschlag von 20 % auf die „Standard-“ bzw. Durchschnittsprämie nieder. Würde man alternativ eine Tragkonstruktion aus Stahl mit Bekleidung wählen, müsste man einen Aufschlag von 10 bis 12 % auf die „Standard“-Prämie zahlen. Das macht also insgesamt einen Unterschied vom mindestens 30 % aus. Bei der Entscheidung über die endgültige Prämie berücksichtigen Versicherungen auch die Sicherheitsausstattung sowie Maßnahmen des vorbeugenden und betrieblichen Brandschutzes. Dazu zählt auch die Einteilung in Brandabschnitte – eine Möglichkeit des vorbeugenden Brandschutzes, zu der sich Beton hervorragend eignet.

*Tabelle FB 7.1: Versicherungsprämien für ein Lagergebäude von 10.000 m<sup>2</sup> (einstöckig, ohne Einrichtungen); Gesamtversicherungssumme = 25 Millionen Euro (CIMbéton, 2006)*

Bauweise	Jahresprämie (ohne Steuer) Durchschnittliche Jahresrate = 50.000 €
Beton	40.000 € (20 % unter der Durchschnittsrate)
Stahl	56.000 € (12 % über der Durchschnittsrate)

#### Fallbeispiel 8: Zerstörung eines Schlachthauses, Bordeaux (1997)

Dieser spektakuläre Brand, der durch einen Kurzschluss im Dachbereich ausgelöst wurde, breitete sich sehr schnell aus und wütete innerhalb von 10 Minuten bereits auf 2.000 m<sup>2</sup>. Die Feuerwehr brauchte drei Stunden, um ihn unter Kontrolle zu bekommen. Bis dahin war das 9.000 m<sup>2</sup> große Gebäude zur Hälfte ausgebrannt. Die rasend schnelle Ausbreitung war darauf zurückzuführen, dass sich das brennbare Dämmmaterial im Inneren der an der Gebäudefassade befestigten Sandwichplatten entzündete. Die Feuerwehr konnte nicht verhindern, dass sich der Brand über die 130 m lange Fassade ausbreitete (ähnlich wie in Bild FB 8.1). Es ist klar, dass eine Unterteilung des Gebäudes in Brandabschnitte mittels Betonwänden und die Verwendung von Fassadenplatten aus Beton die Ausbreitung dieses Brandes begrenzt hätten.



*Bild FB 8.1: Die Sandwichplatten in Metall-Leichtbauweise versagten bei diesem Brand in einem Schlachthaus in Bordeaux (Frankreich) im Jänner 1997. Der Brand breitete sich über das gesamte Gebäude und auf angrenzende Gebäude aus. (Quelle: SDIS 33, Fire and Rescue Service, Gironde, Frankreich)*

#### Beton hilft der Feuerwehr, Sachwerte zu retten

Obwohl die europäische Gesetzgebung den Schutz von Menschenleben, Sachwerten und der Umwelt fordert, besitzt der Schutz von Menschenleben für die Feuerwehr in der Praxis Vorrang. Das Vorgehen beim Feuerwehreinsatz in einem brennenden Gebäude sieht daher in der Regel vor, dass die Rettung der Bewohner an erster Stelle steht, während der Schutz von Sachwerten und der Umwelt erst an zweiter Stelle kommen. Sind beispielsweise alle Bewohner aus einem Gebäude evakuiert, betreten Feuerwehrleute es nur äußerst ungern. Sie werden jedoch stets versuchen, so nahe wie möglich an das Gebäude heranzukommen, um den Brand wirksam bekämpfen zu können. Betonfassaden bieten den notwendigen Schutz, der eine solche Annäherung ermöglicht. Sobald die Löschkräfte sich davon überzeugt haben, dass alle Bewohner in Sicherheit sind, konzentrieren sie sich darauf, den Brand zu löschen, ein Übergreifen des Brandes auf angrenzende Nutzungseinheiten zu verhindern und abzuschätzen, welche Umweltgefahren durch die Verbrennungsprodukte möglicherweise entstehen. Diese verständliche Vorgehensweise der Feuerwehr unterstreicht die Notwendigkeit, dass die Menschen auch wirklich während der gesetzlich vorgeschriebenen Feuerwiderstandsdauer sicher aus einem Gebäude herauskommen können.

Forschungsarbeiten in Frankreich haben gezeigt, dass 5 % der 13.000 Brände pro Jahr in Industriegebäuden ausbrechen und ein Großbrand Betriebsverluste in Höhe von 2 Millionen € verursachen kann (CIMbéton, 2006 [27]). Die gelagerten Waren in solchen Gebäuden können hochbrennbar sein und in sehr großen Mengen vorliegen. Hierdurch entsteht bei Bränden ein erhebliches Einsturzrisiko, sofern nicht Brandabschnitte wirkungsvoll zur Aufteilung der Lagerbestände und somit zur Eingrenzung der Brandlast eingesetzt werden. Dies sollte

#### Fallbeispiel 9: Brand in einem Bekleidungs- und Sportausrüstungslager, Marseille (1996)



*Bild FB 9.1: Luftbild der ausgebrannten Lagerhalle nördlich von Rognac in der Nähe von Marseille, das erkennen lässt, wie sich der Brand über das gesamte Gebäude ausbreitete, in dem es keine abschottenden Betonwände gab (Quelle: SDIS 13, Fire and Rescue Service, Bouches du Rhone, Frankreich)*

Der Brand in dieser Lagerhalle für Bekleidung und Sportausrüstung, in der zu dem Zeitpunkt 40 Beschäftigte arbeiteten, breitete sich sehr schnell aus. Innerhalb von fünf Minuten stand das gesamte Gebäude in Flammen, wobei die brennenden Waren große Hitze und viel Rauch erzeugten. Es gab weder Sprinkler noch Brandabschnittswände und das Gebäudeträgerwerk erwies sich bei dem Brand als instabil. So wurde es völlig zerstört, wie in Bild FB 9.1 zu sehen ist. Da der Wind die Flammen weitertrug, bedrohten sie auch benachbarte Lagergebäude in 10 m Entfernung, aus denen die Beschäftigten evakuiert werden mussten. Diese anderen Gebäude konnten nur gerettet werden, weil die Feuerwehr eine vorhangartige Wand aus Wasser erzeugte.

zum Beispiel ein Lagerhallenbesitzer bedenken, der den Schaden an seinen Beständen im Fall eines Brandes so gering wie möglich halten will, aber genau weiß, dass die Feuerwehr wohl darauf bestehen wird, den Brand aus sicherer Entfernung – also von außen – zu bekämpfen.

Für einen solchen Fall bietet Beton einige eindeutige Vorteile:

1. Je nach Art der Lagerbestände und Größe des Brandabschnitts kann die Brandlast in derartigen Gebäuden sehr hoch sein. In regelmäßigen Abständen eingesetzte raumabschließende Innenwände aus Beton zur Brandabschnittsbegrenzung **verringern die Gefahr, dass der Brand sich von einem Raum zum nächsten ausbreitet**; sie vermindern dadurch die Höhe des entstehenden Schadens.
2. Bei eingeschossigen, lang gestreckten und nicht unterteilten Gebäuden ist erfahrungsgemäß die Gefahr eines frühen und plötzlichen Dacheinsturzes besonders hoch. **Betonwände bleiben stabil**. Selbst wenn der Dachstuhl einstürzt, knicken und stürzen die Wände in der Regel nicht ein, wodurch angrenzende Bereiche geschützt werden.

3. Feuerbeständige Fassaden aus Beton (eingestuft als REI 120) verhindern ein Ausbreiten des Brandes und schützen die Löschkräfte (vgl. Bild 1.2). Durch ihre Hitze abschirmende Wirkung **ermöglichen Betonfassaden es den Löschkräften, etwa 50 % näher an ein Feuer heranzukommen**.
4. **Betonaußenwände verhindern das Übergreifen der Flammen auf andere Nutzungseinheiten so wirkungsvoll**, dass die Regelungen in einigen Ländern (z. B. Frankreich) zwischen benachbarten Gebäuden bei Beton einen geringeren Abstand zulassen, als er für andere Wandbaustoffe vorgeschrieben ist.
5. **Ein Betondach ist nichtbrennbar**, d. h., es hat das Brandverhalten gemäß Klasse A1 und es tropfen keine geschmolzenen oder brennenden Teilchen herab.

#### Fallbeispiel 10: Internationaler Blumenmarkt, Rungis, Paris (2003)

Diese 7.200 m<sup>2</sup> große Lager- und Packhalle für Blumen (Bild FB 10.1) überstand einen verheerenden Brand im Juni 2003 weitgehend. Als die zum Binden und Verpacken verwendeten Materialien Feuer fingen, hielten die Wände und die Decke, die starke Hitze und Rauchgase erzeugten, den Flammen gut stand.



Bild FB 10.1: Außenansicht der Blumen-Lagerhalle in Rungis, die sechs Monate nach dem Brand ihren Betrieb wieder aufnahm (Quelle: CIMbéton, Frankreich)

Die ätherischen Öle in den Pflanzen trugen noch zusätzlich zur Brandlast bei. Der durch die Zerstörung von Waren und Einrichtung auf einer Fläche von 1.600 m<sup>2</sup> entstandene Rauch hatte Auswirkungen auf den gesamten südlichen Teil von Paris.

Obwohl 100 m<sup>2</sup> des Gebäudes einstürzten, konnte der Brand auf den Bereich begrenzt werden, in dem er ausgebrochen war. Trotz langwieriger Begutachtungen durch die Versicherung war das Gebäude sechs Monate später instand gesetzt und das Unternehmen konnte den Betrieb wieder aufnehmen.



Bild FB 10.2: Das zerstörte Innere der Lagerhalle, das schnell instand gesetzt wurde (Quelle: CIMbéton, Frankreich)

# Beton und Ingenieurmethoden im Brandschutz

Beton bietet eingebauten Feuerwiderstand, so dass Eigentümer von Gebäuden zum Schutz von Leben und Sachwerten nicht auf betriebliche Maßnahmen angewiesen sind.

Wie Brandschutz-Ingenieurmethoden funktionieren

Ingenieurmethoden des Brandschutzes (FSE – nach engl.: **Fire Safety Engineering**) sind eine relativ neue Möglichkeit zur Berechnung von Brandschutzmaßnahmen, die nicht auf normativen Tabellenwerten, sondern auf schutzzielorientierten, risikogerechten und leistungsbezogenen Verfahren beruhen. Sie kommen in erster Linie bei großen, komplexen Bauwerken, wie Flughäfen, Einkaufszentren, Messehallen oder Krankenhäusern, zur Anwendung. Ziel ist es, damit eine fallbezogene brandschutztechnische Auslegung zu erreichen, wobei oft eine Minimierung des erforderlichen baulichen Brandschutzes, sprich des erforderlichen Feuerwiderstandes der Bauteile, angestrebt wird. Eine allgemein gültige Definition für FSE gibt es nicht, doch ISO definiert den Begriff als die „Anwendung von Ingenieurverfahren auf Basis wissenschaftlicher Grundlagen zur Entwicklung oder Beurteilung von Planungskonzepten im Bereich des Bauwesens durch eine Analyse spezifischer/ bestimmter Brandszenarien oder durch eine Quantifizierung/Bewertung von Brandrisiken für eine gewisse Anzahl von Brandszenarien“ (ISO/CD [28]).

In den Entwurfs- und Planungsprozessen, bei denen Brandschutz-Ingenieurmethoden eingesetzt werden, fließen zur Berechnung der Brandlast als Bemessungswert für die Bauteile unter anderem nachfolgend aufgeführte Fak-

toren ein. Anhand dieser Brandbelastung kann für die einzelnen Bauteile des Tragwerks der brandschutztechnisch erforderliche Widerstand ermittelt werden, und es kann damit die Wahrscheinlichkeit berechnet werden, ob ein Brand zu einem Tragwerksschaden führen kann. Die Einflussfaktoren sind:

- Die charakteristische, flächenbezogene Brandlast (entsprechende Werte stehen in EC1, Teil 1-2 [10]).
- Die realen Brandbelastungen, die durch den Abbrand des Gebäudeinhalts zu erwarten sind (Abbrandfaktor).
- Das Brandrisiko in Abhängigkeit von der Größe des Brandabschnitts – je größer der Abschnitt, desto höher das Risiko (Brandabschnittsfaktor).
- Die Wahrscheinlichkeit für den Ausbruch eines Brandes unter Berücksichtigung der Risiken, die durch die Bewohner oder die Art der Nutzung bestehen (Nutzungsfaktor).
- Belüftungsverhältnisse und Wärme-freisetzung/-abzug (Lüftungsfaktor).

In die Berechnungsverfahren gehen zudem noch sämtliche technischen Maßnahmen zur Branderkennung bzw. -bekämpfung im Inneren des Gebäudes ein. Hiermit erhält man einen weiteren Komplex an Faktoren, die die Berechnung der Brandbelastung beeinflussen. Dazu gehören u. a.:

- automatische Branderkennung, z. B. Brandmelder, Rauchmelder, automatische Alarmierung der Feuerwehr
- automatische Brandeindämmung, z. B. Sprinkler/Löschsysteme, Verfügbarkeit eines unabhängigen Wasservorrats
- personengebundene Brandbekämpfungsarten, z. B. Werkfeuerwehr, Frist für den Einsatz einer nicht im Werk stationierten Werkfeuerwehr oder einer örtlichen Feuerwehr.

Brandschutz-Ingenieurmethoden in der Praxis

Für die Verfahren der Brandschutz-Ingenieurmethoden (FSE) gibt es keine allgemein gebräuchlichen Regeln. Anwenderfreundliche Software befindet sich noch im Entwicklungsstadium und zwischen den verschiedenen Ansätzen, den Erfahrungen und dem Grad der Akzeptanz bei Behörden bestehen erhebliche Unterschiede. Bei der Anwendung von FSE sind ein sorgfältiges Vorgehen durch sachkundige Fachleute und eine sachgerechte Bewertung der zu treffenden Annahmen unerlässlich. Bezüglich der Gültigkeit und Genauigkeit der auf Wahrscheinlichkeitsannahmen basierenden Berechnungsgrundlagen werden zum Teil ernsthafte Bedenken vorgebracht. Kritiker beanstanden, dass eine fehlerhafte FSE-Berechnung katastrophale Auswirkungen haben kann. Andere befürchten, dass unerfahrenes, unsachgemäßes Vorgehen bei der Anwendung von FSE zu unzutreffenden Einschätzungen bzw. Bewertungen bei den Berechnungen und damit zu falschen Ergebnissen bei den Anforderungen führen kann. Zumindest bei folgenden Aspekten können sich starke Abweichungen bei den Parametern ergeben, die als Annahmen in die Berechnungen eingehen:

- **Erfolgsquoten der Feuerwehr:** Hier wird von Durchschnittswerten ausgegangen, die jedoch eindeutig nicht für alle Gebäude gelten; die Leistungsunterschiede bei den Wehren sind erheblich.
- **Menschliches Verhalten:** Es werden Annahmen zum Verhalten von Menschen in Krisensituationen getroffen. Doch das reale Verhalten von Menschenmengen sowie die Art und Weise zu fliehen, z. B. bei Panik, können sich deutlich von den generellen Annahmen unterscheiden.
- **Zuverlässigkeit von Sprinkleranlagen:** Die angegebenen Durchschnittswerte sind nicht aussagekräftig. Denn es gibt eine Vielzahl verschiedener

Typen, die aber im Prinzip bei jeder Art von Gebäuden eingesetzt werden können und nicht immer die für den Einzelfall erforderliche Wirksamkeit besitzen.

- **Brandstiftung oder vorsätzliche Brände:** Brände, die aus kriminellen Absichten gelegt werden, lösen möglicherweise besondere Brandabläufe aus, die nicht ausreichend berücksichtigt werden. Bestimmte Gebäude und Standorte sind naturgemäß anfälliger für kriminelle Handlungen.

Einige Statistiken über die Leistung von Sprinkleranlagen deuten auf geringe Zuverlässigkeit hin. Febelcem (2007 [13]) und PCI (2005 [29]) berichten über Erkenntnisse aus den USA, denen zufolge die „National Fire Protection Association“ ein Versagen von Sprinkleranlagen in 20 % von Krankenhaus-/Bürobränden, in 17 % von Hotelbränden, in 13 % von Wohnungsbränden und in 26 % von Bränden in öffentlichen Gebäuden festgestellt hat. Daraus ergibt sich landesweit eine durchschnittliche Ausfallquote von 16 % (Zahlen von 2001). Die in derselben Veröffentlichung genannten Zahlen aus Europa ergeben ein positiveres Bild. Eine Untersuchung der Sprinklerfunktionsquote nach Risikoklassen ergab Folgendes:

- Büros (geringes Risiko)  
Funktionsquote 97,4 %
- Betriebe (mittleres Risiko)  
Funktionsquote 97,2 %
- Holzindustrie (hohes Risiko)  
Funktionsquote 90,8 %

Andere Quellen erklären die Ausfälle durch menschliche Eingriffe an den Sprinklerköpfen (Überstreichen mit Farbe, Abdecken durch herabhängende Gegenstände, zu hohe Stapelhöhen etc.). Allerdings kann die Leistung von Sprinkleranlagen auch durch ein systembedingtes Problem beeinträchtigt werden, das sich durch eine Wechselwirkung zwischen Entrauchungs- und Sprinkleranlagen ergibt. In mehreren Studien wurde herausgefunden, dass Wasser aus Sprinklern die Rauchgasschicht abkühlt

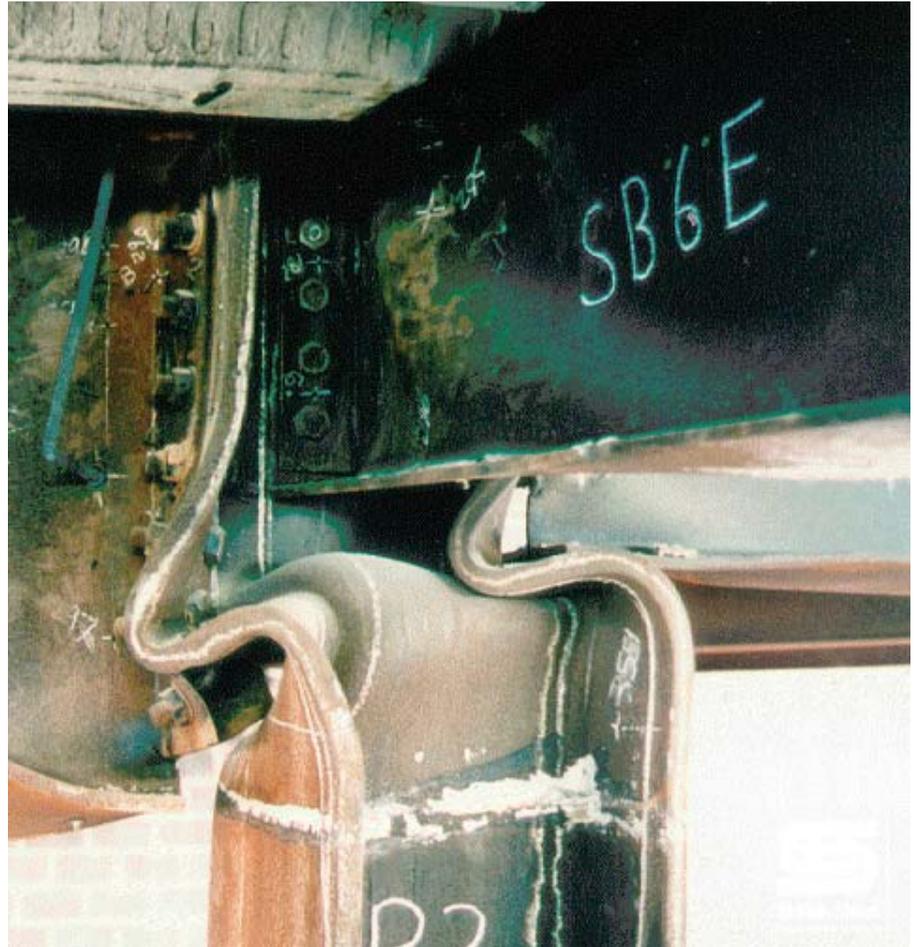


Bild 6.1: Stark verformter Kopf einer Stahlstütze nach einem Brandversuch (Quelle: Building Research Establishment, GB)

und so ihren Auftrieb deutlich vermindert. Der Rauch steigt folglich nicht auf, was die Sicht bei der Evakuierung erheblich beeinträchtigen kann (Heselden, 1984 [30]; Hinkley und Illingworth, 1990 [31]; Hinkley et al., 1992 [32]). Allerdings kann es im Gegensatz dazu auch passieren, dass das Wasser aus den Sprinklern zur Feuereindämmung nicht genügend wirksam bis zum Brandherd herabregnen kann, weil durch den automatisch ausgelösten mechanischen Rauchabzug die Aufwärtsbewegung der Rauchgasschicht erheblich verstärkt wird.

Das bei der FSE angewandte Entwurfskonzept geht davon aus, dass durch die Einbeziehung der diversen technischen Brandbekämpfungsmaßnahmen die Wahrscheinlichkeit für einen brandbedingten Tragwerksschaden sinkt. Die bei

FSE übliche Kombinationsmöglichkeit dieser Maßnahmen hat jedoch einen Multiplikationseffekt, wodurch die anzunehmende spezifische Brandbelastung in dem Gebäude weit heruntergerechnet werden kann. Durch solche Rechnungen lässt sich der für ein Gebäude erforderliche bauliche Brandschutz deutlich reduzieren. Als Folge davon können sich Baustoffe, die bei einem Brand ungeschützt nicht sehr leistungsfähig sind und für einen höheren Feuerwiderstand praktisch auf technische Maßnahmen für die Brandbekämpfung angewiesen sind, durchaus als akzeptable Option für die Gebäudekonstruktion „empfehlen“. Damit aber hängt der Brandschutz für das Bauwerk in wesentlichem Maße von der Funktionssicherheit der technischen Brandschutzeinrichtungen ab.

Konkret bedeutet dieses Prinzip im Wesentlichen, dass bei Brandschutz-Ingenieurmethoden (FSE) das Feuerwiderstandsvermögen einer Konstruktion dadurch erreicht wird, dass z. B. die Feuerlöschkonzeption und die bei der Konstruktion eingesetzten Schutzmaßnahmen integraler Bestandteil einer rechnerischen brandschutztechnischen Bemessung werden. Dennoch kann FSE ein Gebäude, seine Bewohner und seinen Inhalt möglicherweise nicht genügend schützen. Die Gründe für diese skeptische Einschätzung illustrieren einige Beispiele in Tabelle 6.2.

Trifft ein solches Versagen ein, so besitzt die Konstruktion genau die Feuerwiderstandsfähigkeit, die sie üblicherweise

aufgrund des Brandverhaltens der verwendeten Baustoffe hat – sei es nun Beton, Holz, Mauerwerk oder Stahl. In einem solchen Fall wäre die FSE-Strategie sofort hinfällig, weil die Tragfähigkeit von ungeschützten Bauteilen aus Stahl und Holz nicht über längere Zeit erhalten bleibt, sobald die automatischen/technischen Brandschutzsysteme nicht mehr voll funktionieren.

Im Normalfall ist Beton der **einzige** Baustoff, der ohne technische Maßnahmen dauerhaften Brandschutz schaffen kann. Er stellt eine passive Art des vorbeugenden Brandschutzes dar, die zuverlässig greift – unabhängig von betrieblichen und/oder technischen Maßnahmen. Bei der Anwendung von Brandschutz-

Ingenieurmethoden wird oft die Bedeutung bewährter und wartungsfreier baulicher Maßnahmen, wie etwa die Konstruktion in Betonbauweise, unterschätzt. Dies kann zu einer übermäßig großen, ja tragischen Abhängigkeit von nur bedingt zuverlässigen aktiven Systemen führen, wodurch eben Menschenleben und Sachwerte in Gefahr geraten können.

Bei Beton greifen die Maßnahmen für die Brandsicherheit häufig auch dann noch, wenn die Art der Nutzung sich geändert hat, da Beton materialbedingt in hohem Maße feuerwiderstandsfähig ist. Wenn der Schutz über FSE geschaffen wurde, so greift er nur, wenn sich die Art der Nutzung nicht ändert. Denn bei der Festlegung von FSE-Maßnahmen geht auch die Art der Nutzung des Gebäudes in die Bewertung ein. Ergeben sich Änderungen, beispielsweise im Hinblick auf die Höhe und Verteilung der Brandlast, so reicht der Schutz durch z. B. Sprinkler oder Brandschutzbeschichtungen möglicherweise nicht mehr aus. Sofern überhaupt machbar, ist ein brandschutztechnisches Nachrüsten unbedingt erforderlich, wodurch zum Teil erhebliche Kosten entstehen.

Tabelle 6.2: Warum FSE-Strategien eventuell nicht aufgehen

**Das automatische Feuerlöschsystem ist eventuell nicht wirksam**

- weil es ausfällt oder
- weil es für den Brand nicht angemessen ist.

**Die technischen Brandschutz-Einrichtungen funktionieren eventuell nicht**

- weil sie ausfallen
- weil sie veraltet sind
- weil sie in schlechten Zustand geraten sind oder
- weil sie für den auftretenden Brand unzureichend ausgelegt sind.

# Die Mehrwert-Vorteile von Beton

Beton bietet noch mehr als umfassenden Brandschutz.

Die hervorragenden und bewährten Feuerwiderstandseigenschaften von Beton schützen im Brandfall Menschenleben, Sachwerte und Umwelt. Beton erfüllt wirksam alle in der europäischen Gesetzgebung festgelegten brandschutztechnischen Schutzziele und kommt so den Nutzern eines Gebäudes, den Eigentümern, Unternehmern und Bewohnern bis hin zu Versicherungen, Aufsichtsbehörden und Löschkraften zu-

gute. **Ganz gleich, ob Beton in Wohngebäuden, Gewerbegebäuden, Industriebauten oder Tunneln zum Einsatz kommt, Beton kann so bemessen und ausgelegt werden, dass er selbst unter extremen Brandbedingungen bestehen bleibt.**

Beton hat aber nicht nur besonders gute Feuerwiderstandseigenschaften, sondern bietet darüber hinaus Wärme- und Schalldämmung

Durch die Verbindung dieser drei Leistungsmerkmale können Planer die größtmöglichen Vorteile verwirklichen. Der Einbau einer Betontrennwand zwischen benachbarten Brandabschnitten sorgt

für den erforderlichen Brandschutz, trägt jedoch zusätzlich durch die thermisch wirksame Masse auch zum Temperaturengleich bei und schottet die Räume akustisch voneinander ab (Bild 7.1). Für all dies braucht man nur einen Baustoff und keine betriebliche und/oder technische Schutzmaßnahmen sowie keinen Einbau zusätzlicher Isolierschichten oder Bekleidungen. Deshalb fallen auch keine turnusmäßigen Wartungs- oder Instandsetzungsarbeiten an. Beton bietet somit in dieser Hinsicht eindeutig einen langfristigen wirtschaftlichen Vorteil – und was noch wichtiger ist, er bietet den Vorteil eines zuverlässigen und Sicherheit bringenden Langzeit-Brandschutzes!

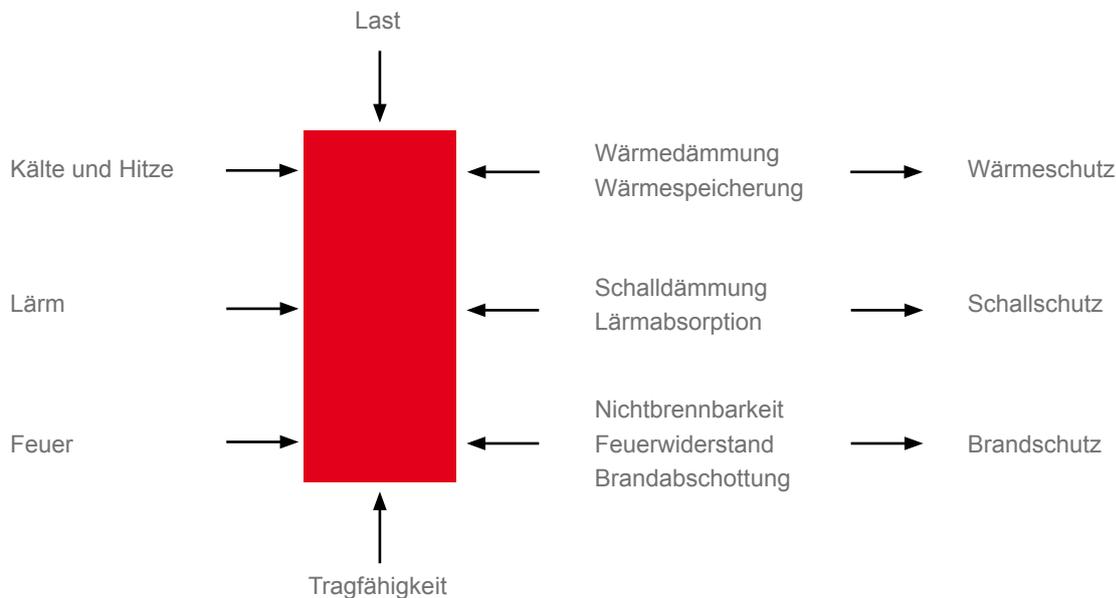


Bild 7.1: Die Mehrwert-Vorteile von Beton

(Quelle: Neck, 1999 [2])

# Glossar

## Brandbekämpfungsabschnitt

Unter einem Brandbekämpfungsabschnitt wird jeder für den Brandfall bemessene, von anderen Gebäudebereichen brandschutztechnisch abgetrennte Bereich verstanden. Die Abtrennung/Ab-schottung wird durch entsprechend feuerwiderstandsfähig ausgeführte Wände und Decken hergestellt.

## Brandlast

Die Wärmemenge, die bei der vollständigen Verbrennung aller brennbaren Stoffe in einem bestimmten Bereich frei werden kann. Dies gilt einschließlich der Bekleidungen aller angrenzenden Bauteiloberflächen.

## Durchwärmungswiderstand

Fähigkeit eines Baustoffs, das Eindringen der im Brandfall freigesetzten Wärmemenge in einen Bauteilquerschnitt zu verzögern. Das heißt, dass beispielsweise die inneren Bereiche eines Betonbauteils durch die an der Bauteiloberfläche herrschenden Temperaturen nur deutlich zeitverzögert aufgeheizt werden.

## Einheitstemperaturzeitkurve (ETK)

Genormte zeitabhängige Temperatur-Zeit-Kurve auf der Basis des Abbrands von Holz für die Feuerwiderstandsprüfung von Bauteilen (Normbrand). Die Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) wird auch ISO-Kurve genannt.

## Feuerwiderstandsdauer

Definierte Zeitdauer in einer genormten Feuerwiderstandsprüfung, während der ein Bauteil die Fähigkeit besitzt, die geforderte Standfestigkeit und/oder die raumabschließende Wirkung (Raumabschluss) und/oder die Wärmedämmung bzw. Hitzeabschirmung zu erfüllen

## Flash-over

Eintritt in eine Brandphase (Vollbrand) während eines Brandablaufs, in der sich schlagartig die gesamten Oberflächen aller brennbaren Materialien in einem geschlossenen Raum entzünden und in der Folge am Brand beteiligen

## Hitzeabschirmung

Fähigkeit eines raumabschließenden Bauteils, während einer genormten Prüfung auf Feuerwiderstandsfähigkeit den Wärmedurchgang zu beschränken. Auf der den Flammen abgekehrten Seite des Bauteils darf die Temperatur im Mittel nicht um mehr als 140 K und an keiner einzelnen Stelle um mehr als 180 K ansteigen.

## Hydrocarbonkurve

Temperatur-Zeit-Kurve auf der Basis des Abbrands von Kohlenwasserstoffen. Dadurch ergeben sich eine schnellere Aufheizung und höhere Maximaltemperaturen als bei der ETK. Die Hydrocarbonkurve wird für die labormäßige thermische Beanspruchung bei der

Feuerwiderstandsprüfung von Bauteilen für spezielle Einsatzbereiche, wie z. B. für Ölbohrplattformen, angewendet. Eine verschärfte Version wird bei der Feuerwiderstandsprüfung von Bauteilen für Tunnel eingesetzt.

## Normbrand

Eine im Labor unter bestimmten genormten Bedingungen erzeugte thermische Beanspruchung von Bauteilen zur Prüfung des Feuerwiderstands. Die Aufheizung erfolgt dabei nach der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK).

## Raumabschluss

Fähigkeit eines raumabschließenden Bauteils, während einer definierten Zeitdauer unter einer genormten Feuerbeanspruchung von einer Seite den Durchgang von Flammen und heißen Gasen oder das Auftreten von Flammen auf der nicht beanspruchten Seite zu verhindern

## Temperatursteigerungsrate

Pro Zeiteinheit berechneter Anteil des Temperaturanstiegs innerhalb eines Bauteilquerschnitts während einer Brandbeanspruchung

## Vollbrand

Brandphase, in der sich sämtliche in einem Raum vorhandenen brennbaren Stoffe am Brand beteiligen

# Literatur

- [1] NECK, U. (2002): Comprehensive fire protection with precast concrete elements – the future situation in Europe, Proceedings of BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry. Session 5, 8 pp. Ankara, Turkish Precast Concrete Association, (CD only).
- [2] NECK, U. (1999): Comprehensive performance of precast concrete components through integrated utilization of the material and component properties. Proceedings of BIBM 16th International Congress of the Precast Concrete Industry in Venice. pp. I-69-74. Milan, ASSOBETON, National Precast Concrete Association.
- [3] CEN: EN 13501-1 (2002): Fire classification of construction products and building elements – Part 1; Classification using test data from reaction to fire tests. CEN, Brussels, Belgium.
- [4] Liste von Betonprodukten der Kategorie A – Klassifizierung ohne Prüfung. Veröffentlicht mit der Entscheidung 96/603/EG (Europäischer Rat), Amtsblatt der EG L267/23 vom 19.10.1996.
- [5] KORDINA, K. und MEYER-OTTENS, C. (1981): Beton-Brand-schutz-Handbuch. Beton-Verlag GmbH (heute Verlag Bau+Technik GmbH), Düsseldorf, Deutschland.
- [6] KHOURY, G. (2000): Effect of fire on concrete and concrete structures; Progress in Structural Engineering and Materials. Vol. 2, pp. 429-447.
- [7] LENNON, T. (2004): Fire safety of concrete structures; background to BS 8110 fire design. Building Research Establishment (BRE), Garston, Watford, UK, 41 pp.
- [8] BEESE, G. und KÜRKCHÜBSCHHE, R.: Hochhaus Platz der Republik in Frankfurt am Main. Teil III: Der Brand vom 22. August 1973. Beton- und Stahlbetonbau, 70 (1975) H. 8, S. 184/188.
- [9] CEN: EN 1992-1-2 (2004): Eurocode 2 Part 1-2: Design of concrete structures – General rules – Structural fire design. CEN, Brussels, Belgium.
- [10] CEN: EN 1991-1-2 (2002): Eurocode 1, Part 1-2: Actions on structures – General actions – Actions of structures exposed to fire. CEN, Brussels, Belgium.
- [11] NARYANAN, N. and GOODCHILD, C. H. (2006): Concise Eurocode 2. The Concrete Centre, Camberley, UK, 107 pp.
- [12] Hosser, D. und Richter, E.: Rechnerische Nachweise im Brandschutz – Zukunftsaufgabe der Prüfenge-nieure. Der Prüfeningenieur 2007, Nr. 31, S. 24-37.
- [13] DENOËL, J.-F. (2007): Fire safety and concrete structures. Febelcem, Brussels, Belgium, 90 pp. (French, Dutch versions downloadable from [www.febelcem.be](http://www.febelcem.be)).
- [14] HORVATH, S. (2002): Fire safety and concrete; fire safety and architectural design. CIMbéton, Paris, France. 13 pp. (presented at 1st Advanced Seminar on Concrete in Architecture, Lisbon, Portugal).
- [15] STOLLARD, P. and ABRAHAMS, J. (1995): Fire from first principles; a design guide to building fire safety (2nd edition), E&FN Spon, London, UK, 192 pp.
- [16] CHANA, P. and PRICE, B. (2003): The Cardington fire test, Concrete – the magazine of The Concrete Society. January, pp. 28-33, Camberley, UK.
- [17] INTEMAC (2005): Fire in the Windsor Building, Madrid. Survey of the fire resistance and residual bearing capacity of the structure after fire. Notas de información Técnica (NIT), NIT-2 (05), (Spanish and English). Intemac (Instituto Técnico de Materiales y Construcciones), Madrid, Spain, 35 pp.
- [18] NIST: Federal Building and Fire Safety investigation of the World Trade Centre disaster: Final report of the National Construction Safety Team on the collapse of the World Trade Center Tower. NCSTAR 1.
- [19] AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (2003): The Pentagon building performance report, ASCE, Washington, USA, 64 pp.
- [20] MUNICH RE (2003): Risk management for tunnels. Munich Re group, Munich, Germany, 55 pp.
- [21] CEMBUREAU (2004): Improving fire safety in tunnels: the concrete pavement solution. CEMBUREAU, Brussels, Belgium, 8 pp.
- [22] SCHNEIDER, U. and OSWALD, M. (2005): Fire safety analysis in concrete and timber frame construction (German/English), Institute for Building Construction and Technology, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, 42 pp.
- [23] LUNDBERG, O. (2006): Brandrapport 2006; Undersökning av brander i flerbostadshus. Available at: <http://www.betong.se/brandrapport2006.pdf> Betongforum, Danderyd, Sweden, 12 pp.

- [24] WELLINGTON LIFELINES GROUP (2002): Fire following earthquake; identifying key issues for New Zealand. Wellington Lifelines Group, Wellington, New Zealand, 41 pp.
- [25] DENOËL, J.-F. (2006): La protection incendie par les constructions en béton. Dossier ciment 37, Febelcem, Brussels, Belgium, 20 pp (French, Dutch versions downloadable from [www.febelcem.be](http://www.febelcem.be)).
- [26] Usine enterprise (Factory business) no. 3031, November 2004, Brussels, Belgium.
- [27] CIMbéton (2006): Conception des bâtiments d'activités en béton: Murs séparatifs coupe-feu et façades à fonction d'écran thermique en béton (B67), CIMbéton, Paris, France, 111 pp.
- [28] ISO/CD 23932: Fire safety engineering – General principles (under development).
- [29] SZOKE, S. S. (2005): Are we protected from fire in buildings? PCI Journal, January – February 2005, PCI, United States.
- [30] HESELDEN, A. J. M. (1984): The interaction of sprinklers and roof venting in industrial buildings; the current knowledge. BRE, Garston, UK.
- [31] HINKLEY, P. L. and ILLINGWORTH, P. M. (1990): The Ghent fire tests; observations on the experiments. Colt International, Havant, Hants, UK.
- [32] HINKLEY, P. L., HANSELL, G. O., MARSHALL, N. R. and HARRISON, R. (1992): Sprinklers and vent interaction. FireSurveyor, 21 (5) pp. 18-23 UK.



Für weiterführende Informationen steht  
Ihnen die Gruppe Betonmarketing  
Österreich jederzeit zur Verfügung

[www.beton-marketing.at](http://www.beton-marketing.at)



Gruppe Betonmarketing Österreich  
per Adresse VÖB  
Kinderspitalgasse 1/3  
A-1090 Wien  
Tel. +43 (0)1 403 48 00



Vereinigung der Österreichischen  
Zementindustrie  
Reisnerstraße 53  
A-1030 Wien  
Tel. +43 (0)1 714 66 81-0



Verband Österreichischer  
Beton- und Fertigteilwerke  
Kinderspitalgasse 1  
A-1090 Wien  
Tel. +43 (0)1 403 48 00



Güteverband  
Transportbeton  
Wiedner Hauptstraße 63  
A-1045 Wien  
Tel. +43 (0)5 90 900-4882



Forum  
Betonzusatzmittel  
Wiedner Hauptstraße 63  
A-1045 Wien  
Tel. +43 (0)5 90 900-3749