

Brandverhalten von Beton

Autor(en): **Hermann, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Cementbulletin**

Band (Jahr): **60-61 (1992-1993)**

Heft 10

PDF erstellt am: **05.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-153773>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Brandverhalten von Beton

Verhalten von Beton- und Stahlbetonbauten beim Erwärmen allgemein und bei Brandfällen im besonderen.

Beton brennt nicht. Bei einem Brand schmilzt er nicht und setzt weder Rauch noch toxische Gase frei. Er ist das Material der Wahl, wenn die Ausbreitung eines Feuers während einer begrenzten Zeit verhindert werden soll. Dessenungeachtet verändert sich Beton während eines Brandes auf äusserst komplexe Weise, denn im Normalfall ist er nicht konzipiert, um einem Feuer dauernd standzuhalten. Dafür wurden hitzebeständige Betone entwickelt, die Betriebstemperaturen von weit über 1000 °C widerstehen können [1].

Aus Erfahrung weiss man, dass viele brandgeschädigte Betonbauten weiterverwendet werden können [2]. Dies setzt allerdings voraus, dass die aufgetretenen Schäden genau erfasst und geeignete Sanierungsmassnahmen ergriffen werden. Daraus ergeben sich die folgenden Schwerpunkte, die in drei aufeinanderfolgenden Ausgaben des «Cementbulletin» behandelt werden:

- Brandverhalten von Beton
- Zustandsaufnahme von brandgeschädigtem Beton
- Sanierung von brandgeschädigtem Beton.

Wärmeeinwirkung auf Beton

Während eines Brandes sind Betonoberflächen oft Temperaturen zwischen 500 und 1000 °C ausgesetzt. Als Folge davon laufen chemische, physikalische und mineralogische Prozesse ab, von denen sowohl der Zementstein als auch die Zuschläge betroffen sind. Diese Prozesse hängen von den einzelnen Komponenten des Betons, seinem Feuchtegehalt, der Intensität und Dauer der Hitze-

2 einwirkung und vielen weiteren Faktoren ab. Die im folgenden vorgestellten Befunde beziehen sich in der Regel auf einen «normalen» Beton.

Laboruntersuchungen sind nicht unbedingt repräsentativ für das Brandverhalten von Beton, sie geben aber doch wertvolle Hinweise auf die ablaufenden Veränderungen. Resultate aus Aufheizversuchen mit Mikrowellen [3] und differentialthermische Messungen (Untersuchungen von Reaktionen, die beim Aufheizen mit Wärmetönungen verbunden sind) [4] sind in *Tabelle 1* zusammengefasst.

Daraus geht hervor, dass bereits bei relativ niedrigen Temperaturen Umwandlungen und Reaktionen im Beton, und hier vor allem in Zementstein, auftreten. Bei niedrigen Temperaturen stehen Entwässerungsreaktionen im Vordergrund.

Die in *Tabelle 1* beschriebenen Veränderungen wirken sich selbstverständlich stark auf die physikalischen Eigenschaften des Betons aus, meistens im negativen Sinne. Zu beachten ist, dass selbst geschädigter Beton als Dämmschicht wirkt, welche den tragenden Kern vor einer vollen Temperatureinwirkung schützt [6]. Wenn Betonoberflächen einer Umgebungstemperatur von 1000 °C ausgesetzt werden, tritt die oft als kritisch betrachtete Temperatur von 300 °C in einer Tiefe von 5 cm erst nach 2 Std. auf. (Leichtbeton mit Blähtonzuschlagstoffen genügt sogar höheren Ansprüchen [5].) Die im folgenden erwähnten negativen Wärmeauswirkungen beschränken sich meist auf eine 3 bis 5 cm dicke Aussenschicht [6].

<i>Temperaturbereich</i>	<i>Veränderungen im Beton</i>
ab etwa 100 °C	Wasser aus den Grobporen verdunstet.
ab 150 bis 180 °C	Hydratwasser von Calciumhydroxid wird freigesetzt; der Zementstein schwindet, und die Zuschläge expandieren.
ab 400 bis 500 °C	Calciumhydroxid zersetzt sich: $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$
ab 570 °C	Spontane Umwandlung von α - in β -Quarz.
ab etwa 700 °C	Calciumsilikathydrat-Phasen zersetzen sich: $\text{CSH} \rightarrow \beta\text{-CSH}$
ab etwa 800 °C	Kalksteinentsäuerung setzt ein: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
1150 bis 1200 °C	Beton beginnt zu schmelzen (zuerst Zementstein, dann Zuschläge).
oberhalb 1300 bis 1400 °C	Beton liegt als Schmelze vor.

Tab. 1. Verhalten von Beton beim Aufheizen [3, 4].

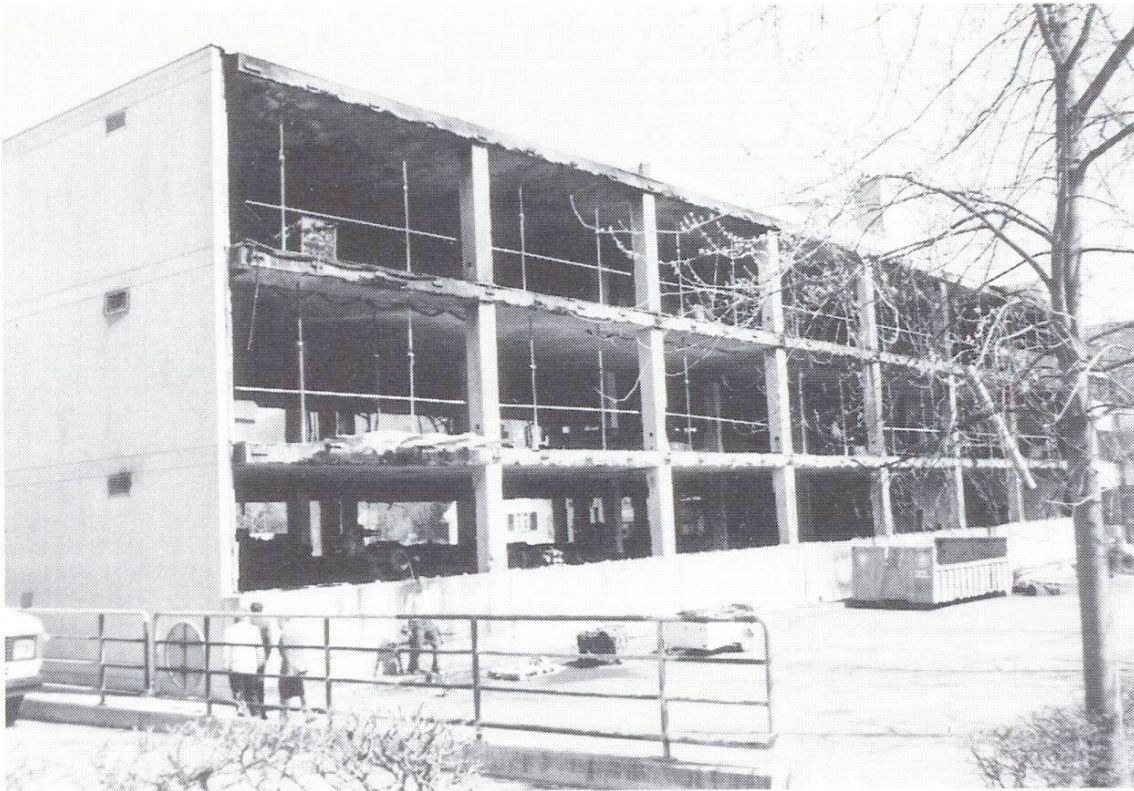


Abb. 1. Nach dem Brand in einem kunststoffverarbeitenden Betrieb: Die hochbeanspruchte Tragkonstruktion aus Stahlbeton hat sich bewährt.

(Fotos: Brandverhütungsdienst für Industrie und Gewerbe, BVD, Zürich)

Die Betondruckfestigkeit nimmt bis 200°C nur wenig, bei höheren Temperaturen aber schnell ab und kann bei 300°C bereits auf 30 % des Ausgangswerts zurückgegangen sein. Ab dieser Temperatur schrumpft der Zementstein, der sich vorher leicht ausgedehnt hat; Zuschläge aber dehnen sich – je nach Art mehr oder weniger stark – über den gesamten Temperaturbereich aus. Als Folge dieser gegenläufigen Vorgänge treten Scherspannungen und Risse auf, welche neben der Zug- auch die Druckfestigkeit vermindern. Während der E-Modul abnimmt, erhöht sich die Verformungsfähigkeit [6, 7].

Negativ auf den Gesamtzustand eines Gebäudes nach einem Brand wirken sich Abplatzungen aus. Häufig erfolgen diese explosionsartig während den ersten 30 Minuten eines Brandes. Als Erklärung werden innere Spannungszustände hinzugezogen, die auf den grossen Temperaturgradienten (schlechte Wärmeleitfähigkeit des Betons) und den in geschlossenen Poren erzeugten Dampfdruck zurückzuführen sind. Weitere Ursachen sind möglicherweise auch die Reibungskräfte, die durch den ausströmenden Wasserdampf an den Porenwänden entstehen. In späteren Brandphasen können zudem Betonschichten allein wegen der andauernden Zerstörung des Betongefüges abfallen [8].

Nachteilige Folgen auf die Festigkeit hat auch die ab ungefähr 400°C einsetzende Umwandlung von Calciumhydroxid in Calciumoxid (Tabelle 1): Nach dem Abkühlen reagiert Calciumoxid erneut mit Wasser. Die daraus resultierende Volumenzunahme bewirkt den Zerfall des Betons.

4 Brandauswirkungen auf Stahlbeton

Selbst hochbeanspruchte Tragkonstruktionen aus Stahlbeton, wie sie beispielsweise bei Hochhäusern anzutreffen sind, haben sich bei Brandfällen hervorragend bewährt. Da Beton ein schlechter Wärmeleiter ist, bietet er – sogar im weit fortgeschrittenen Stadium der Wärmeumwandlungen – einen guten Schutz der Bewehrung vor übermässiger thermischer Beanspruchung. Bei genügend langer Wärmeeinwirkung oder wenn die Betonüberdeckung abplatzt, sind irreversible Schäden am Stahl und eine Erniedrigung des Haftverbundes zwischen Beton und Stahl unvermeidbar.

Einmal erwärmte Bewehrungsstähle weisen in der Regel nach dem Abkühlen niedrigere Festigkeiten auf [8–10]. Bei naturharten Stählen sind diese Verluste gering. Auch vergütete Stähle erlangen nach dem Erwärmen auf 300 °C wieder annähernd ihre ursprüngliche Festigkeit, nicht aber nach dem Erhitzen auf 500 °C. Im Gegensatz dazu erleiden kaltgezogene Stähle bereits ab Temperaturen von 300 °C Festigkeitseinbussen [8]. Auf Zug beanspruchter Stahl erreicht um 500 °C seine Fließgrenze; er kann dann keine wesentlichen Kräfte mehr aufnehmen. Bei Spannstahl beträgt die kritische Temperatur oft nur 350 °C [6].

Zu berücksichtigen ist auch der Abschreckeffekt des Löschwassers bei freigelegten Bewehrungen, der je nach Stahlart eine Versprödung oder gar eine Verfestigung bewirkt [11]. Die Wärmedehnung des Stahls ist bei erhöhten Temperaturen grösser als diejenige des



Abb. 2. Innenaufnahme aus dem in *Abbildung 1* gezeigten Gebäude.

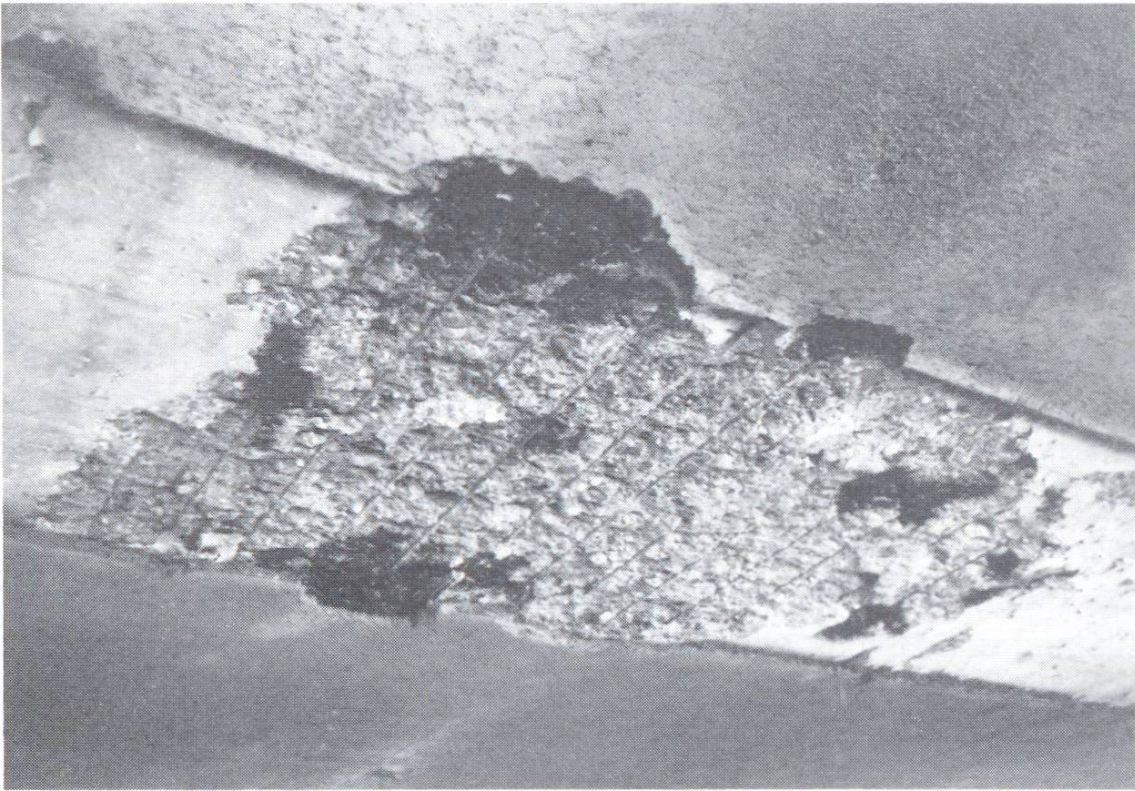


Abb. 3. Abplatzungen von Beton an der Unterseite einer Decke infolge grosser Wärmeentwicklung.

Betons. Spannungen sind die Folge, die besonders in den Ecken zu Absprengungen von Teilen der Betonüberdeckung führen können [6].

Schäden am Haftverbund zwischen Beton und Stahl treten auf, wenn hohe Temperaturen bis zum Stahl vordringen: Bereits ab 150 °C sind deutliche Schädigungen festzustellen, und bei 500 °C beträgt die Verbundfestigkeit praktisch Null.

Bei Bränden mit begrenzter Ausdehnung sind auch Wechselwirkungen mit nicht erwärmten Bauteilen zu berücksichtigen. Zusätzlich auftretende Zwängspannungen und lokale Lastumlagerungen, die bei der Konstruktion in der Regel nicht mitberücksichtigt wurden, können zu starken Verformungen und Rissen in Teilen führen, die nicht unter Brandeinwirkung stehen [6]. Auf die komplizierten Einflüsse der Verbundwirkung einer Gesamtkonstruktion kann hier nicht eingegangen werden.

Spannbetonkonstruktionen, vor allem wenn sie mit kalt gezogenen Drähten und Litzen ausgeführt wurden, sind für Schäden besonders anfällig. Allerdings kann beim Aufwärmen die Vorspannung vor dem Versagen beim Erreichen der Fließgrenze sogar zunehmen.

Nicht hitzebedingte Schäden

Bei Bränden sind die Korrosionsschäden durch freigesetzten Chlorwasserstoff (HCl) bzw. durch die daraus beim Kontakt mit Wasser gebildete Salzsäure oft grösser als die eigentlichen Brandschäden

6 [12]. Zurückzuführen ist dies auf die zahlreichen chlorhaltigen Kunststoffe, allen voran PVC, aus dem Fussbodenbeläge, Rohre, Kabelummantelungen, Verpackungsfolien und viele andere Produkte in Betrieben und Haushalten bestehen. Zu berücksichtigen sind auch chlor- und bromhaltige Flammenschutzadditive in an sich halogenfreien Kunststoffen.

PVC selbst ist nur schwer entflammbar. Beim Verschwelen spaltet es ab ungefähr 200°C HCl ab, das teilweise in die im Kunststoff ablaufenden chemischen Reaktionen eingreift und so selbstverlöschend wirkt. Dieser positive Effekt wird bei Bränden jedoch durch die Folgeschäden von HCl-Dämpfen, die in den Beton eindringen, bei weitem aufgehoben.

Die Eindringtiefe der chloridhaltigen Lösungen hängt stark vom Zustand des Betons ab: Vergrößerungen des Porenraumes, Gefügestörungen (Abplatzungen und Risse) begünstigen ein tiefes Eindringen. Durch Reaktion mit Calciumhydroxid in der Betonmatrix entsteht gut wasserlösliches Calciumchlorid, das selbst in einem nur wenig brandgeschädigten Beton durch Poren als Transportwege und Wasser als Transportmedium – oft erst im Verlauf von Monaten und



Abb. 4. Abplatzungen an einer brandgeschädigten Stütze.

7 Jahren – zu einer gegebenenfalls vorhandenen Bewehrung gelangen kann. In Anwesenheit von Sauerstoff führt dies schliesslich zu schwerwiegenden Korrosionsschäden. Nicht gefährdet ist die Bewehrung bei einem Chloridgehalt von maximal 0,40 Massenprozent (bezogen auf Zement); für Spannbeton mit direktem Verbund reduziert sich diese Menge auf 0,20 Massenprozent [6, 12].

Kurt Hermann

Literatur

- [1] *Trüb, U.*, «Beständigkeit von Beton bei höheren Temperaturen», *Cementbulletin* **47** [23] (1979).
- [2] «Über das Verhalten von Beton bei Bränden», *Cementbulletin* **44** [7] (1976).
- [3] *Hertz, K.D.*, «Residual properties of concrete heated rapidly», in *Harmathy, T.Z.*, «Evaluation and repair of fire damage to concrete», American Concrete Institute, Detroit (Mi.), Seiten 143–152 (1986).
- [4] *Schneider, U.*, und *Diederichs, U.*, «Physikalische Eigenschaften von Beton von 20 °C bis zum Schmelzen», *Betonwerk + Fertigteile-Technik* **47** [3], 141–149 (1981).
- [5] *Piguet, A.*, «Brandschutz beginnt mit dem Projekt», *Cementbulletin* **49** [20] (1981).
- [6] *Ruffert, G.*, «Brandschäden an Stahlbetonkonstruktionen», *Deutsche Bauzeitschrift* **39** [11], 1659–1668 (1991).
- [7] *Schneider, U.*, «Verhalten von Beton bei hohen Temperaturen», Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft **337** (1982).
- [8] *Zumbühl, R.*, «Brandverhalten von Beton», *SIA-Dokumentation* **83**, 45–50 (1984).
- [9] *Schneider, U.*, «Brandschäden an Stahlbetonbauwerken», schriftliche Unterlagen zur Fachveranstaltung «Reparaturfähigkeit von Stahlbetonbauteilen nach einem Brand» der Haus der Technik eV, Essen, vom 5. Mai 1988.
- [10] «Fire design of concrete structures», *Bulletin d'information* no **208** du Comité Euro-International du Béton (1991).
- [11] *Haksever, A.*, und *Krampf, L.*, «Möglichkeiten, nachträglich die in einem Betonteil während eines Schadenfeuers aufgetretenen Temperaturen abzuschätzen», Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft **352**, 35–65 (1984).
- [12] *Wesche, K.*, *Neroth, G.*, und *Weber, J.W.*, «Eindringen von Chlorid-Ionen aus PVC-Abbrand in Stahlbetonteile», Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft **352**, 81–101 (1984).

TFB

Zu jeder weiteren Auskunft steht zur Verfügung die
TECHNISCHE FORSCHUNGS- UND BERATUNGSSTELLE
DER SCHWEIZERISCHEN ZEMENTINDUSTRIE

Postfach

Lindenstrasse 10

5103 Wildegg

Telefon 064 57 72 72

Telefax 064 53 16 27