

Verhalten von Betonbauteilen unter Brandeinwirkung

schweizerischer
ingenieur- und
architektenverein

société suisse
des ingénieurs et
des architectes

società svizzera
degli ingegneri e
degli architetti

swiss society
of engineers and
architects

selnaustrasse 16
postfach
ch-8027 zürich
www.sia.ch

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Vorwort	4
1 Einleitung	5
2 Einwirkungen	6
3 Nachweiskonzepte	7
3.1 Normnachweise	7
3.2 Zertifizierung von Bauteilen	8
4 Abplatzen von Beton	9
5 Bauteile	11
5.1 Allgemeines	11
5.2 Stützen	11
5.3 Träger	12
5.4 Decken	12
5.5 Besonderheiten spezieller Bauteile.....	13
6 Weiteres Vorgehen	14
7 Publikationen	15

VORWORT

Während den Arbeiten an der Teilrevision der Norm SIA 262 *Betonbau*, Ausgabe 2003 wurde ein Bedarf für Ergänzungen der Norm zum Thema Brand festgestellt, die jedoch über den Rahmen der Teilrevision hinausgingen. Deshalb hat die Normenkommission NK SIA 262 «Betonbau» anfangs 2013 eine Arbeitsgruppe Brand (AG «Brand») gebildet. Hauptziel dieser Arbeitsgruppe ist die Erarbeitung von Vorschlägen für die Bemessungssituation Brand als Basis für die nächste Revision der Norm SIA 262:2013. Aufgrund von aktuellen Diskussionen hat die NK SIA 262 der AG «Brand» zudem den Auftrag erteilt, in einem Dokument den heutigen Stand des Wissens zusammenzufassen und die wichtigsten Ziele für das weitere Vorgehen der NK SIA 262 aufzuzeigen. Das vorliegende Dokument wurde von der AG «Brand» und von der NK SIA 262 in mehreren Sitzungen diskutiert und am 11.04.2014 zur Publikation freigegeben. Es steht unter www.sia.ch/korrigenda > SIA 262 zur Verfügung und wird nach Bedarf aktualisiert.

Allfällige Fragen zu diesem Dokument sind an den Präsidenten der AG «Brand», Dr. Walter Borgogno, zu richten.

Dr. Walter Borgogno, Dr. Hans Rudolf Ganz, Prof. Dr. Mario Fontana

1 EINLEITUNG

Die Erfahrung hat gezeigt, dass Beton auf Grund der tiefen Wärmeleitfähigkeit und der hohen Wärmekapazität einen guten Schutz gegen hohe Temperatureinwirkungen infolge eines Brandes bietet. Im Gegensatz zu bisher gängig benutzten Betonen können hochfeste und ultrahochfeste Betone ein ungünstigeres Verhalten bei hohen Temperaturen zeigen [5]. Die Entwicklung und das Verständnis für solche Hochleistungsbetone bei Normaltemperaturen ist in den letzten Jahren schnell vorangeschritten. Das Verhalten bei erhöhten Temperaturen wird jedoch noch nicht restlos verstanden. Diese Lücke wurde erkannt (SIA 262:2013, 4.3.10.5.2). Zur Aufarbeitung dieses Themas wurde daher Anfang 2013 eine Arbeitsgruppe Brand innerhalb der Normkommission SIA 262 gebildet, deren Thema primär die Überarbeitung des Kapitels Brand in der Norm SIA 262 und die Initiierung von allfällig notwendigen Forschungsprogrammen ist. Parallel dazu sind auch auf europäischer Ebene neue Arbeitsgruppen mit analogen Zielsetzungen gebildet worden.

Das Verhalten von Betonen bei erhöhten Temperaturen ist primär von zwei Phänomenen geprägt:

- Änderung des mechanischen Materialverhaltens (Festigkeit, Elastizität, Kriechen, ...).
- Geringe Permeabilität und dadurch Abplatzungsgefahr der Betonoberfläche (insbesondere, aber nicht nur bei dichten Betonen).

Ersteres ist bereits heute gut erforscht und kann mit Modellen näherungsweise abgebildet werden [7,9, 14]. Für letzteres ist weder das Phänomen restlos verstanden, noch gibt es zuverlässige Modelle, um es abzubilden [23].

Dieser Artikel soll den State-of-the-art für das Verhalten von Betonbauteilen unter Brandeinwirkung in groben Zügen darstellen und aufzeigen, auf welchem Weg die Lücken in der Norm geschlossen werden sollen. Weiter soll der Artikel zeigen, welche Nachweisführungen für den Feuerwiderstand eines Tragwerkes gemäss heutigem Wissensstand als hinreichend zuverlässig gelten.

2 EINWIRKUNGEN

Das Temperaturverhalten von Bauteilen wird in der Regel anhand von normierten Temperatur-Zeit-Kurven überprüft. Während im Hochbau für die Feuerwiderstandsklassierung die sogenannte Normbrandkurve gemäss ISO 834 angewendet wird, ist für den Tunnelbau die Hydrocarbon-Kurve oder andere projektspezifisch zu vereinbarende Temperatur-Zeit-Kurven (z.B. RWS-Kurve, erhöhte Hydrocarbon-Kurve) massgebend (Bild 1), siehe [6].

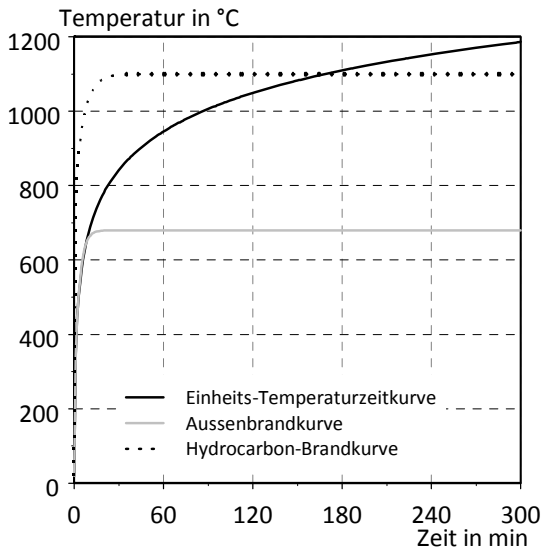


Bild 1 Aufheizkurven für die Normierung des Feuerwiderstandes [6]

Die Normbrandkurve gemäss ISO 834 ist in Europa für die Normierung von Bauteilen im Hochbau unbestritten. Die Temperatur-Zeit-Kurve ist insofern von Bedeutung, dass bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Aufheizens der Dampfdruckaufbau im Betoninnern unterschiedlich bzw. unterschiedlich schnell abläuft und je nach Betoneigenschaften Abplatzen auftreten kann oder nicht [5, 10, 17].

3 NACHWEISKONZEPTE

3.1 Normnachweise

Die Normen SIA 260, SIA 261 und SIA 262 [1, 2, 3] stellen für den Nachweis des Feuerwiderstandes verschiedene Konzepte zur Verfügung. Heute in der Schweiz anerkannte Nachweisverfahren gelten bislang unabhängig der verwendeten Festigkeitsklassen von Beton.

Voraussetzung für die Anwendung der nachfolgend aufgeführten Nachweiskonzepte ist die wirksame und nachgewiesene Vermeidung von Abplatzungen des Überdeckungsbetons, Verbundversagen der Bewehrung und Ausknicken der Druckbewehrung.

3.1.1 Nachweis mit Tabellen

Für verschiedene Bauteile mit vorwiegender Biege- und Normalkraftbeanspruchung werden die Minimalabmessungen und die minimalen Bewehrungsüberdeckungen für die einzelnen Feuerwiderstandsklassen vorgeschrieben. Die tabellierten Daten basieren auf Erfahrung und der guten Isolationsfähigkeit von Beton.

3.1.2 Nachweis mit Ingenieurmodellen

Unter Berücksichtigung der infolge erhöhter Temperaturen reduzierten mechanischen Materialeigenschaften werden die Widerstände R_d berechnet. Grundlage dafür ist die Ermittlung der Temperaturverteilung über den Querschnitt. Lokale Abplatzungen, welche die Integrität des Tragwerks nicht beeinträchtigen und die in einem erwiesenen Modell berücksichtigt werden, sind erlaubt.

Parallel dazu sind die Schnittkräfte infolge der abgeminderten Einwirkungen im Brandfalle zu bestimmen. Je nach Bauteilart und Modell sind auch die auftretenden Eigenspannungen zu berücksichtigen. Der Nachweis lautet dann $E_d \leq R_d$.

3.1.3 Nachweise durch Simulationen

Es ist auch möglich, das Verhalten ganzer Bauteile oder Strukturen über die Zeit in Funktion der Einwirkungen zu simulieren. Dies erfordert aufwändige FE-Modelle und viel Spezialwissen. Die in den FE-Modellen integrierten Materialgesetze müssen das Betonverhalten abbilden. Entsprechende Kalibrierungsversuche sind im Allgemeinen notwendig, die Modellunsicherheit ist zu berücksichtigen und das Sicherheitskonzept (Pariafaktoren oder globaler Sicherheitsfaktor) ist dem Problem angepasst zu wählen.

3.1.4 Nachweise durch Versuche

Die Normen SIA 260, SIA 261 und SIA 262 [1, 2, 3] erlauben auch den Nachweis über Versuche (oder auch Prüfung genannt). Diese erfolgen in der Regel als Brandversuche unter Normbrandeinwirkung nach genauen Prüfvorschriften [22] durch anerkannte Prüfinstitute. Ein Brandversuch gilt explizit nur für das Bauteil, so wie es geprüft wurde (Grundsatz: „Wie geprüft, so eingebaut.“).

3.1.5 Nachweise gemäss Eurocodes

Für Brand sind in den Normen des SIA grundsätzlich die Nachweiskonzepte aus den Eurocodes übernommen worden. In den Eurocodes gibt es für den Nachweis mit Ingenieurmodellen zusätzlich vereinfachte Modelle für verschiedene Bauteile. Auf die Nachweise gemäss SN EN 1992-1-2 [7] wird im vorliegenden Dokument im Kapitel 4 detaillierter eingegangen.

Mit der Publikation der SN EN 1992-1-2/NA [8] im Mai 2014, in der die nationalen festzulegenden Parameter (NDP) zur SN EN 1992-1-2 festgelegt sind, kann die SN EN 1992-1-2 nun auch in der Schweiz angewendet werden (vor der Publikation der NDP mussten sie für die Anwendung der SN EN 1992-1-2 explizit in der Nutzungsvereinbarung aufgeführt werden).

3.2 Zertifizierung von Bauteilen

Ist ein Brandversuch gemäss Ziffer 3.1.4 erfolgreich, so kann für das geprüfte Bauteil bei der VKF (Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen) eine VKF Brandschutzanwendung beantragt werden. Diese bestätigt die Anwendbarkeit im Sinne der Schweizerischen Brandschutzvorschriften und beinhaltet die folgenden Angaben:

- Die geprüfte Ausführung des Bauteils.
- Den direkten Anwendungsbereich. Dieser ist in der Prüfnorm definiert und wird vom Prüfinstitut im Prüfbericht ausgewiesen. Er beschreibt mögliche Veränderungen am Bauteil, welche ohne weiteren Nachweis zulässig sind.
- Den erweiterten Anwendungsbereich, sofern er in der VKF Brandschutzanwendung explizit erwähnt ist. Er beinhaltet Konstruktionsänderungen und Übertragungen auf andere Anwendungsparameter, welche durch Gutachten einer anerkannten Prüfstelle gemacht werden.

In der Praxis bedeutet das für tragende Bauteile, dass z.B. ein Beton-Fertigteilwerk für jedes einzelne Bauteil mit VKF-Anerkennung mindestens eine Anerkennung für den direkten Anwendungsbereich vorweisen muss, welche unter gleicher oder höherer Beanspruchung, mit gleicher oder grösserer Länge/Spannweite und gleichem Querschnitt geprüft worden ist. Dies erfordert für eine grosse Produktpalette sehr viele Versuche. Anders verhält es sich bei einer VKF-Anerkennung für den erweiterten Anwendungsbereich, wodurch z.B. weniger Prüfergebnisse erforderlich werden, da Zwischenwerte interpoliert werden können. Grundlage dazu sind Gesetzmässigkeiten (Modell), die durch genügende Prüfergebnisse verifiziert werden können. Eine VKF-Anerkennung kann sowohl für tragende wie auch für nichttragende Bauteile beantragt werden.

4 ABPLATZEN VON BETON

Voraussetzung für die Anwendung der vorgängig besprochenen Nachweiskonzepte ist die Integrität der Tragstruktur. Beim Abplatzen des Betons ist dies nicht mehr oder teilweise nicht mehr vorhanden. Es gibt unterschiedliche Arten von Abplatzen, wie Abplatzen der Zuschlagstoffe, explosives Abplatzen, Oberflächen-Abplatzen, Eck-Abplatzen, Abplatzen während des Abkühlens, usw. Für die Integrität der Tragstruktur sind v.a. explosives und Oberflächen-Abplatzen massgebend [18].

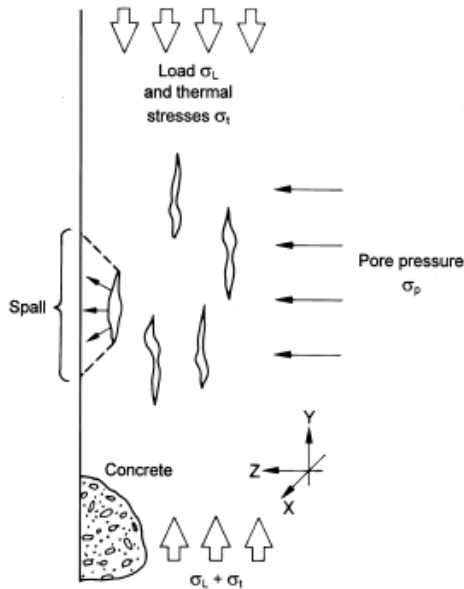


Bild 2 Spannungen in erhitzten Betonbauteilen nach [14, 25]

Das Abplatzen wird von mehreren Eigenschaften beeinflusst wie Art der Temperatureinwirkung (Höhe und zeitlicher Verlauf), Lastausnutzungsgrad, Spannungszustand, Betonzusammensetzung, Zuschlagstoffe, Betoneigenschaften (Festigkeit, Permeabilität, Porosität, Feuchtegehalt, usw.), Bewehrungsgehalt und -führung, usw. [16, 17]. Hauptgrund dafür sind der infolge erhöhter Temperaturen entstehende Dampfdruck, die thermischen Eigenspannungen und die Spannungen aus Lasten im Beton (Bild 2).

Während die Norm SIA 262 einen Nachweis für das Vermeiden von Abplatzen von Beton generell verlangt, unterscheidet die SN EN 1992-1-2 [7] zwischen Beton bis Festigkeitsklasse C 50/60 und hochfestem Beton ab C 55/67. Für Beton bis C 50/60 wird kein Nachweis verlangt. Für den hochfesten Beton werden Methoden angegeben wie Abplatzen verhindert werden kann:

- A. zusätzliches Bewehrungsnetz,
- B. geprüfter Beton, welcher erwiesenermassen kein Abplatzen zeigt (Versuche, Erfahrung),
- C. zusätzliche Brandschutzschicht und
- D. Betonmischung mit mehr als 2 kg/m^3 PP-Fasern.

Es hat sich gezeigt, dass diese Massnahmen alleine und losgelöst von den anderen Eigenschaften / Randbedingungen zu wenig differenziert sind und ein Abplatzen nicht ausschliessen können [21]. Grundsätzlich wirken sich folgende Massnahmen auf das Abplatzverhalten günstig aus:

- Eine enge Verbügelung und gute konstruktive Durchbildung der Bewehrung.
- Ein zusätzliches Bewehrungsnetz, das gut rückverankert ist.
- Die Zugabe von PP-Fasern [14, 24]. Der notwendige Fasergehalt, der Schmelzpunkt der Fasern, die Faserlänge und der Faserdurchmesser sind wichtige Parameter.
- Art der Zuschlagstoffe und Beanspruchung beeinflussen das Abplatzverhalten ebenso. Z.B. verhalten sich quarzhaltige Zuschlagstoffe ungünstiger als kalk- oder basalhaltige Zuschlagstoffe [18].

Es ist heute noch nicht möglich, allgemein gültige, zuverlässige quantitative Regeln anzugeben, wie Abplatzen nachweislich verhindert werden kann.

Wird für ein Projekt die Norm SIA 262 angewendet, so ist Abplatzen in jedem Fall nachzuweisen. Wird die SN EN 1992-1-2 angewendet (sofern Bestandteil der Nutzungsvereinbarung), so darf ein Beton bis C 50/60 ohne Nachweis für das Abplatzen verwendet werden (gilt nicht für die Anwendung der Tabelle 16 der SIA 262).

Die AG «Brand» empfiehlt, auf Grundlage des heutigen Wissensstandes bei dichten Betonen (z.B. tiefer W/Z-Gehalt, Beton mit Mikrosilica) das Abplatzverhalten anhand von Versuchen unter den Bedingungen der Normbrandkurve gemäss ISO 834 zu prüfen. Das gilt auch für Betone der Festigkeitsklassen bis C 50/60, bei denen Zweifel bezüglich des Abplatzverhaltens bestehen. Weiter sind für hochfesten Beton gemäss SN EN 1992-1-2 (ab C 55/67) nur die Methoden B und C sicher. Für die Methoden A und D ist der Weg über Versuche oder detailliertere Nachweise zu wählen. Der Umgang mit der Nacherhärtung des Betons und dem langfristigen Verhalten nach einem Brand (kalkhaltige Zuschlagsstoffe) sind in den heute gültigen Normen nicht geregelt.

5 BAUTEILE

5.1 Allgemeines

Einzelne Bauteile unterscheiden sich bezüglich Beanspruchung (Druck, Biegung, Querkraft, Zug) und Lagerung. Entsprechend unterschiedlich wirkt sich eine lokale Brandeinwirkung auf das Verhalten des Gesamttragwerks aus. Der Redundanz des Tragwerks kommt grosse Bedeutung zu. Bauteile sind auf Grund ihrer Funktion und Lage im Gesamttragwerk zu beurteilen (z.B. Stützen, Träger, usw.). Darauf wird im Folgenden konzeptionell eingegangen. Um die Ausführungen zu vertiefen, liegt eine umfangreiche Literaturliste bei. Als sehr gute Zusammenfassung seien die beiden fib-Publikationen [18, 19] erwähnt.

5.2 Stützen

Stützen besitzen meist geringe bis keine Redundanz in der Struktur und sind wegen des einachsialen Spannungszustands mit Querdehnung ungünstig beansprucht. Umlagerungen oder alternative Lastpfade sind nur in Ausnahmefällen möglich. Ein frühzeitiges Versagen (Bild 3) kann bei einer Stütze katastrophale Folgen haben. Massnahmen dagegen sind neben den in Kapitel 4 erwähnten auch eine optimale Bewehrungsführung oder ein geringerer Lastausnutzungsgrad.



Bild 3 Reduktion des Abplatzens durch Verringern des Bügelabstandes und geeignete Verankerung der Bügel [13]

Ist das Abplatzen nachweislich verhindert (Bild 4), so sind rechnerische Feuerwiderstandsnachweise mit Ingenieurmodellen oder FEM möglich [7, 14]. Die verwendeten Materialgesetze müssen auf gesicherten Grundlagen basieren. Alternativ anerkennen die Behörden versuchsbasierte Anerkennungen für den direkten Anwendungsbereich. Der direkte Anwendungsbereich umfasst z.B. Stützen mit gleichem Querschnitt, gleicher oder kleinerer Last und gleicher oder geringerer Stützenlänge als geprüft.



Bild 4 Belasteter Stützen-Brandversuch, bei der während über 150 min Versuchsdauer kein Abplatzen und Versagen auftrat (BAM Berlin)

Der erweiterte Anwendungsbereich erfordert die Kenntnis grundlegender Zusammenhänge und die Vernetzung von anerkannten Modellen. Anträge für den erweiterten Anwendungsbereich sind bei verschiedenen Produzenten in Bearbeitung oder sind derzeit bei der VKF zur Prüfung vorgelegt worden.

Alternativ zur Zertifizierung können Tabellen zur Bemessung herangezogen werden. Voraussetzung dazu sind die Ausführungen in Kapitel 4. Bei der Anwendung der Tabellen aus der SN EN 1992-1-2 gilt es zu beachten, dass für die Rechenmethode A (Methode A, nicht zu verwechseln mit Methoden A bis D gegen Abplatzen) auf Bewehrungsgehalte kleiner als 4 %, Ersatzlängen im Brandfall kleiner oder gleich 3,0 m und Mindest-/Maximalabmessungen beschränkt ist. Die Methode A ist mit vielen Versuchen validiert. Die Werte der Tabellen der Rechenmethode B (Methode B) und des Anhangs C ergeben teils grosse Abweichungen zur Rechenmethode A [26]. Daher ist Methode B in der SN EN 1992-1-2/NA ausgeschlossen. Wird die Brandbemessung nach SN EN 1992-1-2 durchgeführt, dann muss auch für den Kaltzustand nach SN EN 1992-1-1 bemessen werden.

5.3 Träger

Träger sind primär biegebeansprucht und oft statisch unbestimmt ausgebildet. Durch die Ausbildung von Biegerissen kann sich ein allfälliger Dampfdruck (der das Abplatzen mitverursacht) besser entlasten. Eine statisch unbestimmte Lagerung führt zu erhöhter Redundanz, wodurch das Risiko eines möglichen Kollaps beim Erreichen des Tragwiderstandes eines einzelnen Querschnittes sinkt (Bild 5). Voraussetzung ist eine konstruktive Bewehrungsausbildung, die ein duktilen Verhalten gewährleistet. Alternative Lastpfade sind ebenfalls möglich.

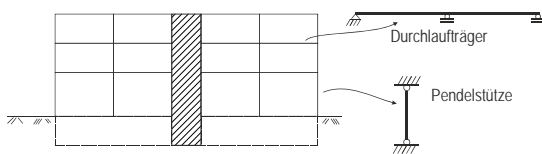


Bild 5 Statisch unbestimmte Lagerung von Trägern führt zu erhöhter Robustheit und statischer Integrität und damit zu erhöhter Sicherheit gegenüber einem Kollaps [18, 19, 20]

Für vorgefertigte Träger ist der Endzustand massgebend, welcher sich oft vom Einbauzustand unterscheidet. Um eine statisch unbestimmte Lagerung und damit Redundanz zu erreichen, muss eine entsprechende monolithische Detailausbildung vorgesehen werden.

5.4 Decken

Ortsbetondecken sind in der Regel in zwei Richtungen gespannt, wodurch die Redundanz des Gesamttragwerkes vergrößert wird. Auch wird durch grosse Verformungen gegenüber den Trägern die Möglichkeit von alternativen Lastpfaden zusätzlich erhöht (z.B. die Membranwirkung). Umgekehrt steigt der Einfluss der Eigenspannungen infolge erhöhter Temperaturen an, da der Querschnitt dünn ist (grosser Temperaturgradient und demzufolge Eigenspannungen). Zur Sicherung eines duktilen Verhaltens ist auch eine risseverteilende Bewehrung notwendig.

Vorgefertigte Deckenelemente sind meist schlank ausgebildet und das Tragsystem ist statisch bestimmt. Diese sind daher eher wie Träger zu behandeln. Zusätzlich ist die Problematik der dünnen und schlanken Elemente zu berücksichtigen.

5.5 Besonderheiten spezieller Bauteile

5.5.1 Durchstanzen

Brandbelastungen in Decken erzeugen neue Spannungszustände und Lastumlagerungen. Die ohnehin schon spröde Versagensart Durchstanzen wird dadurch begünstigt. Eine genügend überdeckte Durchstanzbewehrung kann dies verhindern. Lokale Abplatzungen führen aber nicht zwangsläufig zu einem Versagen.

Infolge der thermischen Einwirkungen treten Verformungen (Rotationen über der Stütze, Stützenverlängerung, Deckendehnung) auf, die zu einer Umverteilung der Stützenlasten führen können. Modellideen zur Berücksichtigung dieser Phänomene sind vorhanden, doch fehlt eine Absicherung auf Grundlage von Versuchen [11].

5.5.2 Tunnel

Tunnelbauten unterscheiden sich in mancher Hinsicht von Hoch- und / oder Brückenbauten. Aus Brandunfällen in Tunnels und Simulationen weiss man, dass die extrem hohen Temperatureinwirkungen sehr rasch eintreten. Dadurch ist auch der Temperaturgradient über den Tunnelquerschnitt sehr hoch. Aufgrund der Anforderung für eine lange Dauerhaftigkeit und der korrosiven Immissionen werden z.B. sehr dichte Betontübbinge eingesetzt, wodurch wiederum das Abplatzungsrisiko ansteigt.

Da es verschiedene Typen von Tunnelquerschnitten und verschiedene Bauteile im Querschnitt gibt, muss das Brandverhalten auch sehr differenziert betrachtet werden: belastet – unbelastet, kreisförmig – kastenförmig, hauptsächlich membranbeansprucht – momentenbeansprucht, Ortsbeton – Spritzbeton – vorfabrizierte Betonelemente, Aussenschale – Zwischendecken, usw. Ein sehr kritisches Bauteil ist die Zwischendecke im Tunnelquerschnitt. Um das Brandverhalten zuverlässig zu verbessern (in der Regel auf Grundlage von Versuchen), werden heute vermehrt PP-Fasern in die Betone eingemischt oder kritische Stellen sogar mit Brandschutzsystemen abgedeckt. Auf jeden Fall sollten für jeden Tunnel die Anforderungen und die entsprechenden Lösungskonzepte projektspezifisch festgeschrieben werden.

5.5.3 Bestehende Konstruktionen

Die statische Überprüfung von bestehenden Konstruktionen kann anhand der bereits bekannten Modelle/Tabellen zusammen mit den Normen SIA 269 ff Erhaltung von Tragwerken [25]. durchgeführt werden. Gebäude mit ungenügendem Feuerwiderstand können generell ertüchtigt werden durch:

- Schützen des Betons, damit die Bewehrung nicht über 500 °C bzw. der Beton nicht über 200 °C (Abplatzen) heiss werden,
- oder Kühlen der Umgebung bzw. Betonbauteile durch den Einbau einer Sprinkleranlage.

5.5.4 Spannbeton

Bei kaltverformten Spannstählen liegt die kritische Temperatur tiefer als bei schlaffer Bewehrung. Entsprechend wird in der Normung für Spannbeton-Bauteile die Bewehrungsüberdeckung bzw. die erforderlichen Achsabstände gegenüber schlaff bewehrten Bauteilen vergrößert. Das Einhalten nur der rein geometrischen Vorschriften ist insbesondere bei schlanken und frühfesten Bauteilen (z.B. Spannbettverfahren) zu hinterfragen. Faktoren wie Abplatzverhalten, Eigenspannungen, Abbau der Verankerungslänge und Abbau der Vorspannkraft können das Brandverhalten entscheidend beeinflussen.

6 WEITERES VORGEHEN

Es gibt für ein gesamtheitliches Verständnis für das Verhalten von Betonbauteilen bei erhöhten Temperaturen noch zahlreiche offene Punkte. Die Überprüfung des Abplatzens von Beton kann im Moment mit Gewissheit nur an Hand von Versuchen vorgenommen werden. Je nach Bauteil sind Grossversuche notwendig.

Es ist ein Ziel der AG «Brand», das Abplatzverhalten von Betonbauteilen standardisiert und möglicherweise in kleinerem Massstab überprüfen zu können.

Dazu soll ein Programm gestartet werden, um Abplatzen für gewisse Beton-Bauteile auch anhand von Kleinversuchen überprüfen zu können. Solche Versuche sind weniger kosten-, material- und zeitintensiv als grossmassstäbliche Bauteilversuche.

Langfristiges Ziel der AG «Brand» ist es, Eigenschaften von Beton quantitativ benennen zu können, um sicherzustellen, wann Abplatzen im Brandfalle nicht massgebend wird. Entsprechende Verfahren sind zu entwickeln, wie diese Eigenschaften am Beton bzw. Betonbauteil bestimmt werden können.

Als Projektpartner für solche Vorhaben sollen vor allem ETHZ, EPFL, EMPA, VKF, allenfalls Fachhochschulen und diverse Industriepartner gewonnen werden. Es haben bereits erste Gespräche stattgefunden und konkrete Projektdefinitionen sollen folgen. Es wird auch angestrebt, Resultate von ausländischen Instituten miteinzubeziehen, um Doppelspurigkeiten zu verhindern.

7 LITERATUR

- [1] SIA 260 (2013). *Grundlagen der Projektierung von Tragwerken*; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- [2] SIA 261 (2014). *Einwirkungen auf Tragwerke*; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- [3] SIA 262 (2013). *Betonbau*; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- [4] SIA 269 (2011). *Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken*; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- [5] Kordina, Meyer-Ottens; *Beton Brandschutz-Handbuch*; 1999; Verlag Bau und Technik GmbH, Düsseldorf.
- [6] SN EN 1991-1-2 (2002). *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen, Brandeinwirkung auf Tragwerke*; Schweizer Ingenieur- und Architektenverein.
- [7] SN EN 1992-1-2 (2004). *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall*; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- [8] SN EN 1992-1-2/NA (2014). *Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design – National annex NA to SN EN 1992-1-2:2004*; Schweizer Ingenieur- und Architektenverein.
- [9] Background Document to EN 1992-1-2 (2003). *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules – Structural fire design*. 05.07.2004, CEN European Committee for Standardization.
- [10] Klingsch, E., Frangi, A., Fontana, M.; *Explosive Spalling of Concrete – Test Report*; 17.06.2013; Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich.
- [11] Bamonte, P., Fernández Ruiz, M., Muttoni, A.: *Punching Shear Strength of R/C Slabs Subjected to Fire*. 7th International Conference on Structures in Fire, Zurich, Switzerland, June 6-8, 2012
- [12] Bundesamt für Strassen: *Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Beton*. V 500 0245, Versuchsstollen Hagerbach AG, Flums, 16.02.2009
- [13] Kodur, V.K.R., Phan, L.: *Critical factors governing the fire performance of high strength concrete systems*. Fire Safety Journal 42 (2007), p. 482 – 488.
- [14] Huismann, S.: *Materialverhalten von hochfestem Beton unter thermomechanischer Beanspruchung*. Dissertation, Technische Universität Wien, 2010, Berlin
- [15] Hertz, K.: *Limits of spalling of fire-exposed concrete*. Fire Safety Journal 38 (2003), p. 103 - 116.
- [16] Raut, N., Kodur, V.: *Response of High-Strength Concrete Columns under Design Fire Exposure*. Journal of Structural Engineering, ASCE, January 2011, p. 69 - 79.
- [17] Dwaikat, M., Kodur, V.: *Hydrothermal model for predicting fire-induced spalling in concrete*. Fire Safety Journal 44 (2009), p. 425 – 434.
- [18] fib Bulletin 38: *Fire design of concrete structures - materials, structures and modelling*. State-of-art report, Lausanne, April 2007.
- [19] fib Bulletin 46: *Fire design of concrete structures - structural behaviour and assessment*. State-of-art report, Lausanne, July 2008.
- [20] Knoll, F., Vogel, T.: *Design for Robustness*. Structural Engineering Documents 11, IABSE, Zürich, 2011.
- [21] CEN TC 250 / SC 2 / WG 1 / TG 5: *Draft report of 1st meeting*. 24.05.2013, Paris. N98
- [22] SN EN 1365-1 bis -4: *Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Wände / Decken und Dächer / Balken / Stützen*. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- [23] Pimienta, P., Meftah, F.: *Concrete Spalling due to Fire Exposure – Proceedings of the 3rd International Workshop*. Paris, 2013.
- [24] Pistol, K., Weise, F. Meng, B.: *Polypropylen-Fasern im Hochleistungsbeton – Wirkungsmechanismen im Brandfall*. Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012), Heft 7.
- [25] Khoury, G.A., Anderberg, Y.: *Concrete Spalling Review*. Swedish National Road Administration, 2000.
- [26] Hosser, D.: *Brandschutz in Europa – Bemessung nach Eurocodes; Erläuterungen und Anwendungen zu den Brandschutzteilen der Eurocodes 1 bis 5*. 2. und vollständig überarbeitete Auflage 2012, Beuth Verlag.