

Erhöhter Brandschutz für unterirdische Bauwerke - aktuelle Entwicklungen

Dipl.-Ing. Dieter Werner, Ing. Kurt Danzinger, Dr. Christian Pöhn

alle MA 39 - VFA

A-1110 Wien • Rinnböckstraße 15

Tel. 01 / 795 14 - 920 61 bzw. 920 65

Einleitung

*Mittwoch, 24. März 1999,
Mont-Blanc-Tunnel, 1965 fertig gestellt, 12 km lang*

Auf einem LKW, der mit Mehl und Margarine beladen war, und sich gerade mitten im Tunnel befand, brach durch eine achtlos weggeworfene Zigarette Feuer aus. Der Brand breitete sich rasch aus, eine Brandbekämpfung war aufgrund der starken Rauchentwicklung zunächst nicht möglich, selbst zwei Tage später war der Brand noch nicht vollständig gelöscht. Die traurige Bilanz: 42 Todesopfer, zahlreiche Verletzte. Der Tunnel selbst hielt der Hitzebelastung nicht stand, die Tunneldecke stürzte auf einer Länge von über 100 m ein. Die Wiedereröffnung des Tunnels erfolgte erst drei Jahre später.

*Mittwoch, 24. Oktober 2001,
St. Gotthard-Tunnel, 1980 fertig gestellt, 17 km lang*

Nach dem Zusammenstoß zweier LKWs im Tunnel fängt die Ladung des einen LKWs, Reifen und Kunststoff-Planen, Feuer. Schnell wurde klar, dass wegen der rasanten Temperaturentwicklung und später auch wegen der einstürzenden Tunneldecke nicht an ein Vordringen der Einsatzkräfte zum Brandherd gedacht werden konnte. Für 11 Menschen kam jede Hilfe zu spät. Der Tunnel, dessen Decke über eine Länge von 300 Metern eingestürzt war, blieb für rund zwei Monate gesperrt. Der Sachschaden belief sich auf über 10 Millionen Euro.

Nur zwei Beispiele aus der Historie von Tunnelkatastrophen die deutlich machen, dass in der Vergangenheit den Brandschutzmaßnahmen in Tunnelbauwerken keine zentrale Beachtung geschenkt wurde - und dies vor dem Hintergrund, dass sich sowohl das Verkehrsaufkommen als auch die Anzahl der erbauten Tunnels stetig erhöht.

Der vorliegende Artikel soll die österreichischen Anstrengungen skizzieren, die in den letzten Jahren unternommen wurden, um das brandschutztechnische Schutzziel „Verhinderung von Beschädigung oder Zerstörung des unterirdischen Bauwerkes“ als Teil eines Gesamtsicherheitskonzeptes für Tunnelanlagen zu verwirklichen.

Brandverhalten von Beton bei Tunnelbränden

Die Unterschiede zwischen „durchschnittlichen“ Bränden im Hochbau und Tunnelbränden liegen vor allem in den zeitlichen und räumlichen Dimensionen. Sowohl Rauch als auch Hitze können sich in Tunnelröhren praktisch ungehindert und deshalb sehr rasch ausbreiten. Bei einem Gebäudebrand werden im allgemeinen große Wärmemengen über Wände und Gebäudeöffnungen an die Umwelt abgegeben, sodass hier nach 90 Minuten Branddauer etwa 1.000° C erreicht werden. Die Tunnelwände sowie das umgebende Felsgestein nehmen die Wärme eines Brandes in

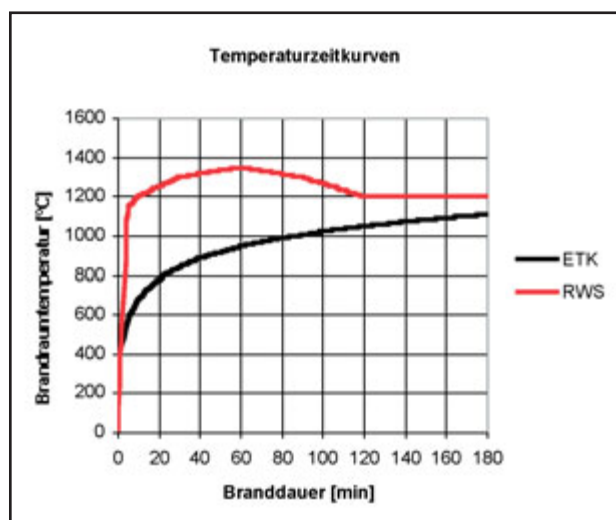


Abbildung 1: Brandbeanspruchungskurven ETK - RWS



Abbildung 2: Betonabplatzungen bei Normalbeton nach Beanspruchung mit der RWS-Kurve, 45 Minuten

einem Tunnel jedoch nur sehr langsam auf, die Lufttemperatur steigt daher bei Tunnelbränden in wenigen Minuten auf 1.300° C an. Diesem Umstand wird auch bei Laborbrandversuchen Rechnung getragen. Bauteile, die einem Tunnelbrand standhalten sollen, werden thermisch mit der Rijkswaterstaat-Tunnelkurve (RWS) beaufschlagt, während Bauteile für den Hochbau nach der bewährten Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) beflammt werden (siehe Abbildung 1).

Das Grundproblem „herkömmlichen“ Betons liegt im Brandfall in seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften. Wasser, das auch nach Jahren im Beton physikalisch und chemisch gebunden ist, beginnt im Brandfall bei 100° C zu verdampfen. Bei diesem Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand kommt es zu einer Volumenzunahme des Wassers um das etwa 1.000-fache, riesige Dampfdrücke entstehen im Beton. Diese Drücke können aufgrund der - für diese Funktion - zu kleinen Kapillarporen des Betons nicht schnell genug abgebaut werden, es kommt zu massiven Betonabplatzungen, die bis zur Freilegung der Stahlbewehrung und damit zum Verlust der Tragstruktur führen können (siehe Abbildung 2). Bei entsprechender Feuchtigkeit im Beton können Abplatzraten von bis zu 30 cm pro Stunde auftreten.

Brandschutzmaßnahmen

Beton mit erhöhtem Brandschutz

Ergebnisse von Forschungsvorhaben in Österreich haben gezeigt, dass die oben beschriebenen Betonabplatzungen am wirkungsvollsten durch den Zusatz von Polypropylenfasern zur Schaffung von Expansionskanälen für den beim

Brand im Beton entstehenden Wasserdampf verringert bzw. verhindert werden. Die Fasern schmelzen beim Brandangriff (bei ca. 160° C) und bilden durchgängige Mikroporen bzw. Risssysteme, durch die der entstehende Wasserdampf abtransportiert werden kann. Im Brandfall muss somit nur die unmittelbar am Brandherd liegende Betonhülle oberflächlich saniert werden, die Tragfähigkeit der Tunnelkonstruktion bleibt jedenfalls erhalten.

Basierend auf diese Erfahrungen wurde unter Federführung der Österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik (ÖVBB) im Jahre 2004 die Richtlinie „Erhöhter Brandschutz mit Beton für unterirdische Verkehrsbauwerke“ veröffentlicht.

Richtlinie „Erhöhter Brandschutz mit Beton für unterirdische Verkehrsbauwerke“

Der Nachweis einer entsprechend erhöhten Brandbeständigkeit von Faserbeton für unterirdische Verkehrsbauwerke gemäß dieser ÖVBB-Richtlinie hat in Brandversuchen an zwei Versuchskörpern mit den Abmessungen 180 cm x 140 cm x 50 cm über eine Brandversuchsdauer von 120 Minuten zu erfolgen. Dazu ist definierter Beton mit der vom jeweiligen Antragsteller zuzugebenden Menge an Fasern zu mischen.



Abbildung 3: Prüfkörper bei der Lagerung



Abbildung 4: Prüfkörper vor dem Brandversuch

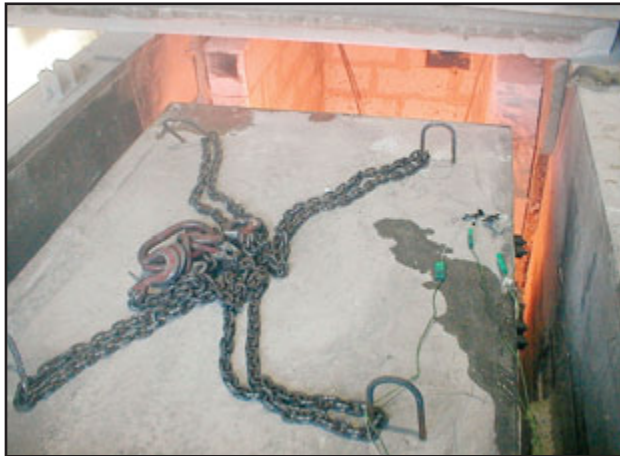


Abbildung 5: Prüfkörper während des Brandversuches (feuerabgekehrte Seite)



Abbildung 6: Prüfkörper nach dem Brandversuch - geringfügigste Betonabplatzungen

Nach klimatisierter Lagerung sind die Probekörper in einem Alter von 28 bis 56 Tagen zu prüfen. Die Brandraumtemperatur wird nach der RWS-Brandkurve gefahren, während des Brandversuches ist das visuelle und akustische Verhalten festzuhalten (siehe Abbildung 3 bis Abbildung 6).

15 Minuten nach Brandende ist der Probekörper vom Brandraum abzuheben und die Abplatztiefe optisch zu beurteilen. Um den Faserbeton in die Faserbetonklasse BBG nach dieser Richtlinie klassifizieren zu können, darf die mittlere Abplatztiefe der beiden Probekörper nicht mehr als 1 cm betragen, an keiner Stelle darf die Abplatzung bis zur Bewehrung reichen.

Aufgrund zahlreicher Versuche in der MA 39 - VFA konnten positive Versuche für Faserzugaben von $1,2 \text{ kg/m}^3$ - $2,0 \text{ kg/m}^3$, für Faserdurchmesser von $15 \mu\text{m}$ bis $42 \mu\text{m}$ und für Faserlängen von 3 mm bis 6 mm nachgewiesen werden. Erste Tunnelvorhaben (z. B. Bindermichel-Tunnel) unter Verwendung von Faserbeton der Klasse BBG wurden bereits fertig gestellt.

Schutzschichten für den erhöhten Brandschutz

Eine weitere Möglichkeit die Tunnelinnenschale vor einem Brandangriff wirkungsvoll zu schützen besteht in der Aufbringung von Schutzschichten. Diese können einerseits durch Aufbringen von Spritzbeton- oder Mörtelschichten (diese wiederum mit Polypropylenfasern durchsetzt), andererseits durch Befestigung von entsprechenden Platten hergestellt werden. Um auch in diesem Bereich standardisierte Prüfungen einzuführen, kreierte die ÖVBB das Merkblatt „Schutzschichten für den erhöhten Brandschutz für unterirdische Verkehrsbawerke“.

Merkblatt „Schutzschichten für den erhöhten Brandschutz für unterirdische Verkehrsbawerke“

Schutzschichten mit Beton und Mörtel

Diese haben - neben Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, den Verbund, die Abzeichnung von Rissen und an die Ausführung - Anforderungen an die Brandbeständigkeit nachzuweisen. Dazu ist die Schutzschicht an zwei Versuchskörpern aus Normalbeton mit den Abmessungen $180 \text{ cm} \times 140 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ praxisgerecht aufzubringen (Abmessung der Schutzschicht $120 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$ x gewünschte Dicke). In die Schutzschicht sind Thermoelemente in unterschiedlichen Tiefen einzuarbeiten. Nach entsprechender Lagerung erfolgt der Brandversuch nach spätestens 56 ± 2 Tagen über eine Versuchsdauer von 180 Minuten, die Brandraumtemperatur wird wiederum nach der RWS-Brandkurve gefahren (siehe Abbildung 7 bis Abbildung 10).



Abbildung 7: Aufbringen der Schutzschicht



Abbildung 8: Fertig aufgetragene Schutzschicht



Abbildung 9: Schutzschicht unmittelbar vor dem Brandversuch



Abbildung 10: Schutzschicht nach dem Brandversuch

15 Minuten nach Brandende ist der Probekörper vom Brandraum abzuheben und die Abplatztiefe optisch zu beurteilen. Um die Gleichwertigkeit des Mörtels zur Brandklasse BBG zu bestimmen, darf die mittlere Abplatztiefe der beiden Probekörper nicht mehr als 1 cm betragen, an keiner Stelle darf die Abplatzung bis zum Unterlagsbeton reichen. Die Oberflächentemperatur am Unterlagsbeton darf 350° C, die Bewehrungsstahltemperatur 250° C nicht überschreiten.

Bisherige Versuchsreihen in der MA 39 - VFA hatten Schutzschichten von 5 cm bis 8 cm zum Inhalt, wobei als grundlegendes Resümee gezogen werden kann, dass der Verbund zwischen Schutzschicht und Unterlagsbeton und dessen Bestehen im Brandfall weitaus kritischer anzusehen ist als die Abplatztiefen an der Schutzschicht selbst.

Schutzschichten mit Platten

Diese haben - neben Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, an die Befestigung, den Untergrund und an die Ausführung - Anforderungen an die Brandbeständigkeit nachzuweisen. Dazu ist die Schutzschicht an zwei Versuchskörpern aus Normalbeton mit den Abmessungen



Abbildung 11: Aufbringen der Platten



Abbildung 12: Fertig aufgebrachte Platten

180 cm x 140 cm x 50 cm praxisgerecht aufzubringen (Abmessung der Schutzschicht 120 cm x 80 cm x gewünschte Dicke). Insbesondere der Verdübelungsraster ist dabei zu beachten. Nach entsprechender Lagerung erfolgt der Brandversuch nach spätestens 56 +/- 2 Tagen über eine Versuchsdauer von 180 Minuten, die Brandraumtemperatur wird wiederum nach der RWS-Brandkurve gefahren (siehe Abbildung 11 bis Abbildung 14).



Abbildung 13: Schutzschicht während des Brandversuches

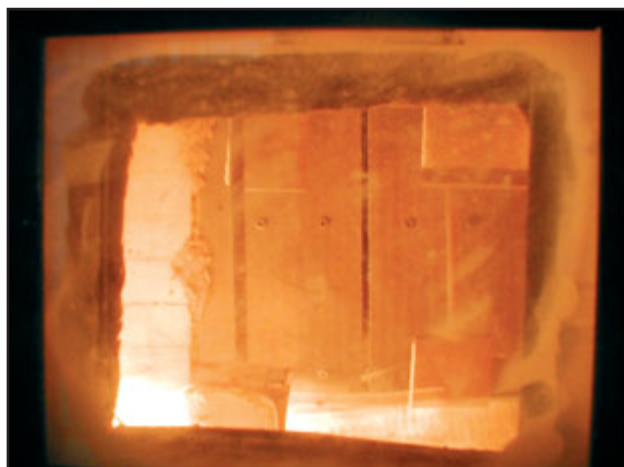


Abbildung 14: Schutzschicht zum Ende des Brandversuches

Die Kriterien betreffend die Temperaturentwicklung und die Beurteilung gemäß Brandklasse BBG entsprechen jenen für Schutzschichten aus Beton oder Mörtel.

Hier zeigte sich bei den bisher in der MA 39 - VFA durchgeführten Versuchen, dass insbesondere der Brandeintritt durch Dehnungsfugen, die sich zwischen den Platten befinden, zum Unterlagsbeton erfolgreich verhindert werden muss, um eine positive Prüfung über die geforderten 180 Minuten absolvieren zu können.

Resümee

Mit der nun vorliegenden Richtlinie „Erhöhter Brandschutz mit Beton für unterirdische Verkehrsbauewerke“ und des vorliegenden Merkblattes „Schutzschichten für den erhöhten Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauewerke“ wurde seitens der ÖVBB ein historischer Grundstein gelegt, um die brandschutztechnische Widerstandsfähigkeit von Betonkonstruktionen in Tunneln der Verkehrsinfrastruktur essentiell anzuheben.

Bei den in der MA 39 - VFA durchgeführten Brandversuchen konnte gezeigt werden, dass sowohl Beton, der mit Polypropylenfasern versetzt war, als auch Schutzschichten mit Mörtel und Platten den Anforderungen dieser standardisierten Prüfungen bei fachgerechter Ausführung entsprechen können. Abplatzungen, die bei herkömmlichem Beton zum Verlust der Tragfähigkeit führen können, sind durch derartige Brandschutzmaßnahmen zu verhindern.

Literatur

Kusterle, W. et al.: Brandbeständigkeit von Faser-, Stahl- und Spannbeton, Republik Österreich, BM für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.), Straßenforschung, Heft 544, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien, 2004

Glatzl J., Nischer P., Steigenberger J., Wagner O.: PP-Faserbeton für erhöhte Brandbeständigkeit, Zement und Beton, Heft 3/2004

Wolf G.: Untersuchung über das Temperaturverhalten eines Tunnelbetons mit spezieller Gesteinskörnung, Diplomarbeit, ausgeführt am Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz der TU Wien, Januar 2004

Richtlinie „Faserbeton“, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien, Ausgabe März 2002

Richtlinie „Erhöhter Brandschutz mit Beton für unterirdische Verkehrsbauewerke“, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien, Ausgabe Dezember 2004; Merkblatt „Schutzschichten für den erhöhten Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauewerke“, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien, Ausgabe November 2004. ▶