

Frank Dehn  
Normen Werther

## Brandversuche an Tunnelinnenschalenbetonen für den M 30-Nordtunnel in Madrid

### 1 Einleitung

Im Zuge des Madrid-Calle-30-Projektes werden in der spanischen Hauptstadt gegenwärtig umfangreiche Tunnelarbeiten durchgeführt. Mit einem Bohrdurchmesser von 15,20 m wird hierbei der weltweit größte Tunnelquerschnitt für den rd. 4 km langen M 30-Nordtunnel inmitten der Metropole aufgeföhren. Die tragende Schalenkonstruktion wird aus Tübbing hergestellt.

Zur Bestimmung des Brand- und Abplatzverhaltens des favorisierten Tunnelinnenschalenbetons wurden im Auftrag der Arge Acciona Infraestructuras S.A./Ferrovial-Agroman-Nesco S.A. an der MFPA Leipzig verifizierende Brandversuche an Betonen mit unterschiedlichen Polypropylenfasergehalten durchgeführt. Als Brandbeanspruchung wurde die sogenannte RWS-Temperatur-Zeit-Kurve (Bild 1) herangezogen. Ein Einsatz von Polypropylenfasern zur Reduzierung des Abplatzverhaltens wird vorausgesetzt. Bezogen auf ei-

nen Referenzbeton ohne Polypropylenfasern gilt das BB 2-Kriterium als erfüllt, wenn mit Fasern modifizierte Betone eine auf den Referenzbeton massebezogene Abplatzmenge von < 2,0% aufweisen. Für die Untersuchungen wurden insgesamt sechs bewehrte Kleinprobekörper obiger Abmessungen hergestellt.

### 3 Brandschutztechnische Anforderungen an den Tunnelinnenschalenbeton

Für den Tunnelinnenschalenbeton wurde seitens der Arge Acciona Infraestructuras S.A./Ferrovial-Agroman-Nesco S.A. eine Einstufung in die Faserbetonklasse BB 2 der ÖVBB-Richtlinie Faserbeton gefordert [1].

Als Kriterium wird hiefür das Abplatzverhalten an unbelasteten Kleinprobekörpern der Abmessung  $600 \times 500 \times 300 \text{ mm}^3$  bei einseitiger Brandbeanspruchung nach der sogenannten Rijkswaterstaat-Temperatur-Zeit-Kurve (RWS-Temperatur-Zeit-Kurve, Bild 1) herangezogen. Ein Einsatz von Polypropylenfasern zur Reduzierung des Abplatzverhaltens wird vorausgesetzt. Bezogen auf ei-

### 4 Probekörpergeometrie

Bei den Kleinprobekörpern handelte es sich um sechs bewehrte Betonplatten mit unterschiedlichem Faseranteil von  $0 \text{ kg/m}^3$ ,  $1 \text{ kg/m}^3$  und  $2 \text{ kg/m}^3$  der Polypropylenfaser Polylac 2,8 dtex/6 mm. Jeweils zwei Betonplatten wiesen den gleichen Fasergehalt auf. Die Platten besaßen alle die gleichen Abmessungen von  $b = 600 \text{ mm}$ ; Höhe  $h = 500 \text{ mm}$  und Dicke  $d = 300 \text{ mm}$ . Auf der brandzugewandten Seite war jeweils eine Bewehrungsmatte mit einer Betondeckung von 40 mm angeordnet.

### 2 Projekt M 30-Nordtunnel in Madrid

Die M 30-Autobahn in Madrid ist das Herzstück eines großangelegten Stadterneuerungsplans des Straßen- und Metronetzes in der spanischen Hauptstadt. Aufgrund des gestiegenen Verkehrsaufkommens und der damit verbundenen zunehmenden Umweltbelastung in den der Autobahn angrenzenden Stadtbezirken sollen große Teile der M 30-Autobahn zukünftig unter der Stadt in Tunnelbauwerken geführt werden.

Insgesamt betragen die neu zu errichtenden Straßenkonstruktionen ca. 99 km – 56 km davon sind Tunnelbauwerke. Mit den Arbeiten wurde im Jahre 2004 begonnen. Die Ge-

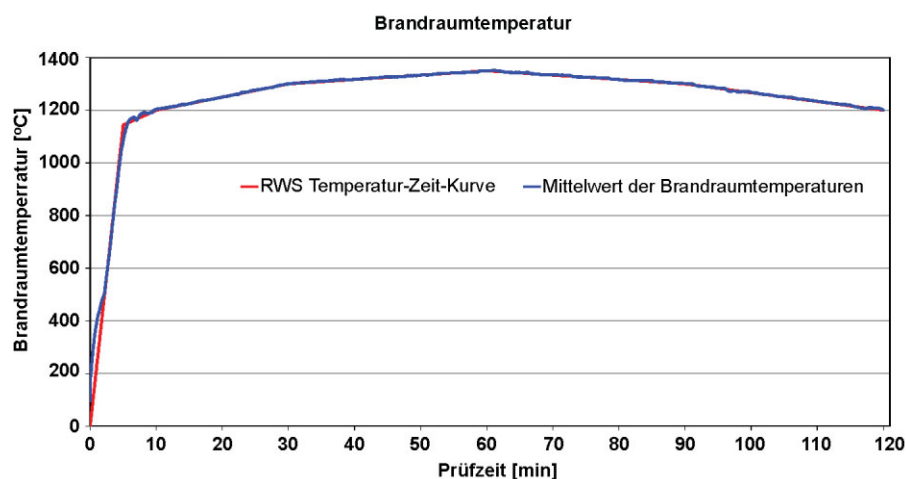


Bild 1. RWS-Temperatur-Zeit-Kurve und Brandraumtemperatur für die Versuche mit  $2,0 \text{ kg/m}^3 \text{ PP}$

Für die Kleinprobekörper wurde eine Betonfestigkeitsklasse C 55/67 angegeben. Zum Zeitpunkt der Prüfung hatten die Kleinprobekörper ein Alter zwischen 28 und 34 Tagen und wiesen eine durchschnittliche Feuchte von rd. 2,0 M.-% auf.

### 5 Konzeption der Versuche und Versuchsaufbau

Für die Prüfungen wurde der vorgesehene Versuchsstand mit einer zusätzlichen inneren Ausmauerung aus Porenbetonsteinen versehen und zwei seitliche Öffnungen zur Aufnahme der Probekörper angepaßt. Je Prüfung wurden zwei der in Abschnitt 4 beschriebenen Prüfkörper als vertikaler Raumabschluß in die seitlichen Öffnungen des Brandofens eingebaut. Die Prüfkörper wurden darin einseitig auf einer Fläche von 600 × 500 mm<sup>2</sup> beflammt.

Die Aufheizung des Brandraums erfolgte nach der Rijkswaterstaat-Temperatur-Zeit-Kurve (RWS-Temperatur-Zeit-Kurve). Zur Messung der Temperaturen im Brandraum dienten zwei mit Keramik ummantelte Platin-Rhodium-Thermoelemente, die im Abstand von 100 mm vor den Prüfkörpern auf halber Höhe installiert wurden. Sie dienten auch zur Steuerung der Brandraumtemperatur. Zum Nachweis der Temperatur im Prüfkörper wurden an der Bewehrung Temperaturmeßfühler (Ni-Cr-Ni) zur Aufzeichnung des Temperaturanstiegs angeordnet. Die Brandraum- und Betontemperaturen wurden im Zeitintervall von 2 Sekunden gemessen und aufgezeichnet.

### 6 Versuchsergebnisse

Die nachfolgenden Bilder 2 und 3 sowie Tabellen 1 und 2 stellen das Verhalten der unterschiedlichen Betone ohne (Probenbezeichnung 1) und mit 2,0 kg/m<sup>3</sup> (Probenbezeichnung 3) PP-Fasern exemplarisch gegenüber. Bei den Kleinprobekörpern ohne Polypropylenfaserzusatz wurden bereits nach 10 min auf den nicht im Brandraum liegenden Plattenober- und -querseiten Risse mit einer Weite von 0,25 mm beobachtet, aus denen Wasser austrat. Im Laufe der Brandbeanspruchung weiteten sich diese Risse auf maximal 0,3 mm auf. Die Kleinprobekörper mit 1,0 kg/m<sup>3</sup> PP-Fasern

zeigten ein vergleichbares Verhalten. Dagegen wurden für 2,0 kg/m<sup>3</sup>-PP-Faserzusatz nur Rißweiten von maximal 0,1 mm gemessen, die frühestens nach 100 min bestimmbar waren.

Die in Tabelle 1 angegebenen Werte zur Abplatzung wurden zwischen 15 und 30 min nach den Brandversuchen ermittelt. Nach vollständiger Abkühlung der stehend ge-



Bild 2. Kleinprobekörper mit 0 kg/m<sup>3</sup> PP-Fasern direkt nach dem Brandversuch



Bild 3. Kleinprobekörper mit 2,0 kg/m<sup>3</sup> PP-Fasern direkt nach dem Brandversuch

Tabelle 1. Gegenüberstellung der Abplatzungen

Kleinprobekörperbezeichnung	Faseranteil	Feuchtegehalt [M.-%]	Masseermittlung		Abplatzung*)	
			vor dem Brandversuch [kg]	nach dem Brandversuch [kg]	Masse [kg]	Volumen [cm <sup>3</sup> ]
1.1	0 kg/m <sup>3</sup>	2,35	222,5	216,1	1,33	1100
1.2			249,0**)	241,6**)	1,73**)	1600**)
2.1	1 kg/m <sup>3</sup>	1,81	233,8	229,3	0,44	-***)
2.2			234,8	229,8	0,92	
3.1	2 kg/m <sup>3</sup>	2,35	221,0	216,0	0	0
3.2			222,8	217,7	0	0

\*) Die Masse der Abplatzungen wurde gravimetrisch bestimmt,

\*\*\*) Der Probekörper war mit einem höheren Bewehrungsgehalt versehen

\*\*\*) Werte konnten aus technische Gründen nicht ermittelt werden, jedoch kann aufgrund der vergleichbaren Rohdichten eine Interpolation dieser Werte vorgenommen werden.

Tabelle 2. Temperaturen in Höhe der Bewehrung

Kleinprobekörperbezeichnung	Faseranteil	Temperaturen in Höhe der Bewehrung nach					
		[°C]					
		20 min	40 min.	60 min.	80 min.	100 min.	120 min.
1.1	0 kg/m <sup>3</sup>	244	455	567	643	681	694
1.2		613	847	961	1000	1000	972
2.1	1 kg/m <sup>3</sup>	89	152	241	321	386	434
2.2		89	184	284	364	424	469
3.1	2 kg/m <sup>3</sup>	86	110	179	246	306	355
3.2		111	154	200	253	305	351



Bild 4. Nachträgliches Abfallen von Betonschichten an den Kleinprobekörper vier Tage nach den Brandversuchen

lagerten Prüfkörper war ein durch chemische Vorgänge bedingtes nachträgliches Abfallen von Betonschichten zu verzeichnen, wobei die Betondeckung zum Teil bis zur Bewehrung abfiel (Bild 4).

Die während der Versuche in den Kleinprobekörpern aufgezeichneten Temperaturerhöhungen in Höhe der Bewehrungslage geben Rückschlüsse auf die Wärmeleitung und das Abplatzverhalten. Eine Gegenüberstellung der Temperaturen in Höhe der Bewehrung ist in Tabelle 2 enthalten.

## 7 Schlußbetrachtung

Auf der Grundlage der aus den Tabellen 1 und 2 ersichtlichen Prüfergebnisse läßt sich nur für den Tunnelbe-

ton mit einem Polypropylenfaserteil von  $2 \text{ kg/m}^3$  die geringste Beanspruchung – in bezug auf Abplatzungen sowie Temperaturerhöhung und der damit verbundenen Entfestigung der Bewehrung – ablesen. Entsprechend der ÖVBB-Richtlinie kann somit nur für diesen Beton eine Zuordnung zur Faserbetonklasse BB 2 erfolgen. Daher wurde für den M 30-Nordtunnel die Verwendung eines Betons mit  $2,0 \text{ kg/m}^3$  Polypropylenfasern empfohlen [2].

## Literaturverzeichnis

[1] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik (ÖVBB), Richtlinie Faserbeton, Abschnitt 6.2. Erhöhung der Brandbeständigkeit, Ausgabe März 2002.

[2] Dehn, F. and Werther, N.: Tests on unloaded concrete plates with varying polypropylene fibre contents, Prüfbericht PB III/B-05-269 vom 14.10.2005, MFPA Leipzig GmbH (unveröffentlicht).



Dr.-Ing. Frank Dehn  
Email: dehn@mfpaleipzig.de



Dipl.-Ing. Norman Werther  
Email: werther@mfpaleipzig.de

Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH (MFPA Leipzig GmbH)  
Hans-Weigel-Straße 2B  
04319 Leipzig