

---

# Spezielle Gesteinskörnungen für Spritzbetone mit höchster Brandsicherheit

---

## SPECIAL AGGREGATES FOR SHOTCRETE WITH HIGHEST FIRE SECURITY

### WOLFGANG MÖRTH, CHRISTOF HABERLAND, JOHANNES HORVATH

Aufgrund des immer größer werdenden öffentlichen Straßen- und Schienenverkehrs und den damit verbundenen Risiken, gewinnt der konstruktive Brandschutz für Tunnelbauwerke zunehmend an Bedeutung. Das Auskleidungssystem muss so geplant sein, dass im Brandfall einerseits ausreichender Personenschutz gewährleistet ist, andererseits die Instandsetzungsmaßnahmen ökonomisch vertretbar sind und die Wiederinbetriebnahme des Tunnels möglichst rasch erfolgen kann.

In den letzten Jahren wurden intensive Forschungsarbeiten hinsichtlich Verwendung von speziellen Gesteinskörnungen mit reduzierter Wärmeleitfähigkeit bei höheren Temperaturen und erhöhter Beständigkeit unter Temperaturbeanspruchung durchgeführt. Dieser spezielle Spritzbeton mit geringerer Temperaturleitfähigkeit benötigt eine geringere Betonüberdeckung (Lichtraum!) und infolge der erhöhten Temperaturbeständigkeit (keine Volumsveränderungen und Modifikationen) erfordert dieser nach einem Brandfall einen geringeren Sanierungsaufwand. Anwendung findet dieses Spezialprodukt sowohl zur Adaptierung von bestehenden Untertagebauwerken hinsichtlich erhöhten Brandschutzes als auch zur Sanierung von brandgeschädigten Bauwerken.

*On the basis of the increasing public road and railway traffic and the increase of risks interconnected with it, the importance of structural fire protection in tunnel constructions is a main objective in many countries. The lining system of tunnels must be planned in a way that sufficient protection of life safety in the case of a fire is guaranteed on the one hand, and on the other hand the repair measures must be economically justified and the reconstruction of the tunnel must be performed as quickly as possible.*

*In recent years intensively investigations concerning the use of special aggregates with reduced heat conductivity and increased thermal stability (constant volume and no modifications) were done. The reduction of the heat conductivity of this special shotcrete leads to lower concrete cover and as a result of the enhanced temperature resistance to minor repair costs after fire. This special sprayed concrete can be used for the improvement of the fire resistance of consisting tunnel linings or for the repair of damaged constructions after fire ingress.*

#### 1. Allgemeines

Die Brandbeständigkeit von Beton lässt sich primär auf 2 Versagensarten reduzieren. Zum einen die

Gefahr des Abplatzens und zum zweiten die Gefahr der thermischen Zerstörung des Betons.

Zur Verringerung von Abplatzungen hat sich ausgehend von Erfahrungen in anderen Werkstoffberei-

chen so wie aus gezielten Betonforschungsvorhaben [1,2], die Beigabe von Polymerfasern zum Frischbeton, beispielsweise von PP-Fasern, als sehr wirksam erwiesen.

Eine Ursache für das thermische Versagen von Betonen im Brandfall sind neben der Dehydratation der Bindemittelmatrix ungünstige, nicht brandbeständige Gesteinskörnungen.

Bekanntlich gilt die zwingende Forderung, dass Bewehrungsstahl maximal einer Temperatur von 300 °C ausgesetzt werden darf. Bei Brandbeanspruchungen gemäß [3] kann dies bei üblichen Gesteinskörnungen zu großen Betondeckungen führen. Eine Alternative dazu ist die Verwendung von Gesteinskörnungen mit geringem Wärmeleitwert bei erhöhten Temperaturen. Speziell bei konstruktiven Spritzbetonen für die Sanierung ist die Spritzdicke aufgrund von evtl. einzuhaltenden Lichtraumprofilen von entscheidender Bedeutung.

„Aus dem Studium von Schadensfällen, der Fachliteratur und Patentschriften ist bekannt, dass bislang die meisten wissenschaftlichen Untersuchungen, Forschungsarbeiten usw. allerdings kaum tieferen Bezug auf Stoffparameter und Eigenschaftsmerkmale wie Wärmeleitfähigkeit, thermische Dehnung, Schmelzbereiche, Gasabspaltung, thermischen Zerfall etc. der als Zuschlag verwendeten Gesteinskörnungen nehmen.

Das ist erstaunlich, wo doch die meisten Betonqualitäten zu rund 85 M.-% aus mineralischen Zuschlagstoffen bzw. Gesteinskörnungen bestehen und die Zuschlagstoffe mit Sicherheit einen wesentlichen Einfluss auf die jeweiligen Betonwerkstoffe und deren Brandbeständigkeit ausüben.

## 2. Spezielle Gesteinskörnung

Unter besonderer Berücksichtigung der in Österreich sehr zahlreichen Straßen- und Eisenbahntunnelanlagen einerseits und der gegebenen Rohstoffsituation andererseits, wurde im Jahre 2002 ein umfangreiches Forschungs- und Entwicklungsprogramm mit Schwerpunkt "Brandbeständige Baustoffe für den Tunnelbau" gestartet.

Die bislang üblicherweise als Betonzuschlag verwendeten Gesteine lassen sich grob in folgende Gruppen einteilen.

### Gesteine mit Quarzvormacht:

Lockergesteine: Kiese wie sie in den großen Schottervorkommen des Quartärs bzw. Tertiärs in Österreich vorliegen.

Festgesteine: gebrochene Granite, Gneise etc.

### Gesteine mit Karbonatvormacht:

Lockergesteine: quartäre Schotter bzw. Schuttfächer v.a. im Einflussbereich der Kalkalpen

Festgesteine: gebrochene Kalke und Dolomite  
Natürlich vorkommende Gemenge aus den beiden oben genannten Gruppen.

Untergeordnet werden gebrochene Zuschläge aus Basalt bzw. Diabas und Amphibolit verwendet.

Die thermische Beständigkeit dieser Zuschläge wird durch die folgenden Parameter gekennzeichnet:

- Relativ niedrige Schmelz- oder Zerfallstemperaturen von 1000 - bis 1200 °C
- Zerfall und Festigkeitsverlust z.B. der Karbonate bei ca. 800 - 1000 °C. Dabei kommt es ab ca. 800 °C zur Abspaltung von CO<sub>2</sub> Gas, welches z.B. mit heißen Brandgasen und Russ zu giftigem und hochexplosivem CO-Gas reagieren kann.
- Das aus Kalkstein oder Dolomit freigesetzte Kalziumoxid "Brandkalk = Ätzkalk" bildet unter Feuchtigkeitszutritt hoch basisches, ätzendes Ca(OH)<sub>2</sub>, welches sowohl für die Löschmannschaften als auch für die Umwelt eine zusätzliche Gefahrenquelle darstellt.
- Bei Verwendung von an sich feuerfesten Quarzzuschlägen treten bei 573 °C spontane und reversible Modifikationsänderungen von Tiefquarz (Beta-Quarz) in Hochquarz (Alpha-Quarz) und damit verbundene sprunghafte und gefügezerstörende Volumsänderungen auf. Der Übergang von Alpha-Quarz zu Cristobalit oder Tridymit ist mit Volumenänderungen von 15 - 16 % verbunden.

Als Alternative zu den bisher genannten Zuschlägen haben sich Gesteine mit einem hohen Magnesium-Eisen-Hydrosilikatanteil - in weiterer Folge als "Preger Zuschlag" bezeichnet - in der Steiermark als besonders vorteilhaft erwiesen. Die Lagerstätte liegt innerhalb des als "Kraubather Ultramafitstock" bekannten Massivs.

Es handelt sich bei diesen Gesteinen um Abkömmlinge aus dem Bereich des Oberen Erdmantels, die in vereinfachter Nomenklatur als zumeist stark serpentinisierte Peridotite (Dunite und Harzburgite/Lherzolite) sowie untergeordnet Orthopyroxenite (Bronzite bzw. Bronzifelse) anzusprechen sind.

Diese ultrabasischen Tiefengesteine unterscheiden sich sehr wesentlich von den meisten handelsüblich verwendeten Gesteinskörnungen vor allem in Hinblick auf die thermische Beständigkeit.

Im Einzelnen sind zu nennen:

- Hohe Schmelzbereiche bis über 1700 °C
- keine sprunghaften Modifikations- und Volumen-

änderungen, da diese Gesteine keinen freien Quarz und bis auf Kluffüllungen auch keine freien Karbonate führen;

- eine hohe Wärmespeicherfähigkeit und vergleichsweise geringe Wärmeleitfähigkeit.
- Im Brandfall wird aus dem Kristallgitter bestimmter Minerale Hydratwasser unter hohem Wärmeverbrauch abgegeben.
- Des Weiteren bilden sich durch die Abgabe von Hydratwasser Mikroporenräume, welche eine zusätzliche thermische Isolationswirkung bedingen.
- Durch den Zusatz ausgewählter Magnesiumsilikate können im Brandfalle bereits an der Betonoberfläche große Mengen an schädlichen, aggressiven Brandgasbestandteilen wie Chlorwasserstoff und Schwefeldioxid, zu entsprechenden Magnesiumchloriden oder Magnesiumsulfaten chemisch gebunden und am weiteren Eindringen in den Beton gehindert werden [6].

### 3. Neu entwickelte Spritzbetone als Schutzschichte

#### 3.1 Zusammensetzung und Eigenschaften

Prinzipiell unterscheidet sich dieser Beton hinsichtlich Frisch- und Festbetoneigenschaften nicht von konventionell verwendeten Betonen. Lediglich durch die Verwendung der speziellen Gesteinskörnung und der Fasern erfährt der Beton eine hohe Brandbeständigkeit. Je nach Anforderung kann die Rezeptur verändert werden. In *Tabelle 1* ist die Zusammensetzung der Rezeptur eines FRSpC 25/30/III/J1/BB 2G/HZ 1,5 dargestellt.

Bestandteile	kg/m <sup>3</sup>
CEM II/A-S 42,5R	440
Wasser	220
Zuschlag 0/8	1630
PP-Fasern 6 mm	2
Fließmittel LZF	8
Gesamt	2300

Tab. 1: Bestandteile der Rezeptur

Die Konsistenz des Spritzbetons wurde auf ein Ausbreitmaß von 58 cm eingestellt. Gemäß Erstprüfung hat der Beton einen E-Modul von 22.600 N/mm<sup>2</sup> und erfüllt die Anforderung an die Frostbeständigkeit gemäß XF3. Der Nassspritzbeton wird im Dichtstromverfahren appliziert. Dies bringt zusätzlich Vorteile hinsichtlich des Rückpralls der eingemischten PP-Fasern.

#### 3.2 Nachweis der Brandbeständigkeit

Im Zuge der Entwicklung wurden zahlreiche Prüfungen mit unterschiedlichen Probengrößen und ver-

schiedenen Temperaturbeanspruchungen durchgeführt. Beginnend von Kleinprobekörpern nach der Richtlinie Faserbeton bis hin zu Realbrandversuchen an Tunnelsegmenten (*Bild 1 und 2*).

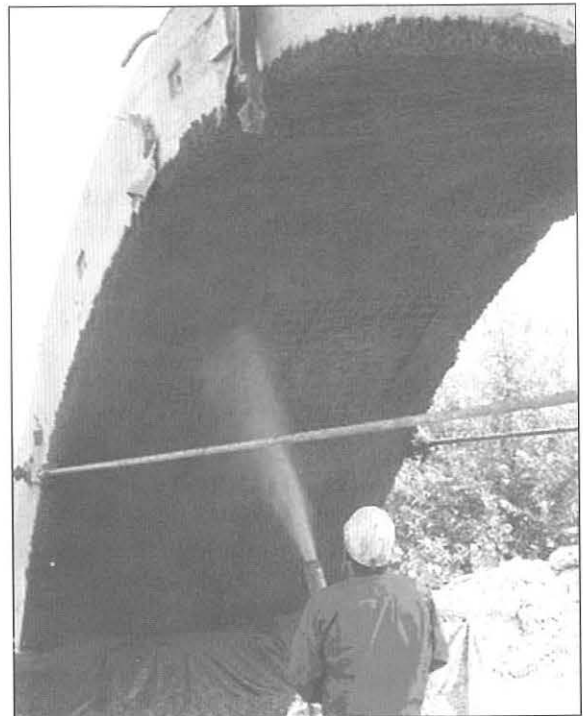


Bild 1: Spritzen eines thermisch geschädigten Tunnelsegmentes

Für den Einsatz in Tunneln wurde das Nachweisverfahren gemäß Richtlinie Innenschalenbeton [4] geführt (*Bild 2*).

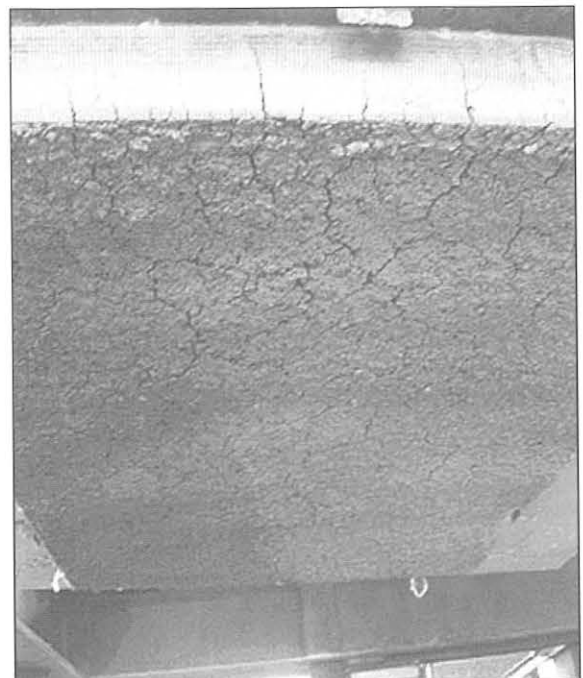


Bild 2: Spritzbeton nach 180 min RWS-Feuer

Auf einem Trägerbeton wurden 8 cm Spritzbeton aufgetragen und entsprechend den Vorgaben von [4] geprüft. Die Temperatur nach 180 min an der Grenzfläche zum Bestandsbeton betrug 215 °C, an der Bewehrung des Bestandsbetons in 4 cm Tiefe (12 cm gesamt) nur 110 °C [5].

In Bild 3 ist ein Vergleich der Temperatureindringkurven zwischen einem Beton mit Spezialzuschlag (System PORR) und einem Beton mit quarzitischem bzw. karbonatischem Zuschlag dargestellt. Beispielsweise würde man für die Einhaltung der 300 °C Grenze bei konventionellem Zuschlag ca. 10 cm Betondeckung benötigen, bei jenem mit Spezialzuschlag lediglich ca. 7 cm.

### 3.3 UPTUN -Projekt

Im Rahmen des EU Projekts UPTUN (5. Framework Program) wurde im Virgolo -Tunnel vor Bozen ein Realbrandversuch unter der Leitung von Univ.Prof. DDr. Bergmeister durchgeführt (Bild 4). Insgesamt wurden sechs verschiedene Materialien getestet, eines davon der neu entwickelte Spritzbeton.

Zusätzlich zu diesem Versuch wurden zahlreiche weitere Versuche durchgeführt, um eine genaue Charakterisierung des Betons zu erhalten. Die



Bild 4: Spritzbetonauftrag im Tunnel

Zwischenergebnisse sind sehr zufriedenstellend, dürfen aber erst nach Abschluss des Projekts veröffentlicht werden.

### 3.4 Verhalten des (Spritz)Betons nach einem Brandereignis

Im Zuge der Untersuchungen wurden immer wieder Vergleichstests zwischen Spritzbetonen mit herkömmlichen Gesteinskörnungen und solchen mit speziellen Zuschlägen in Bezug auf das Verhalten der Betone nach einem Brandereignis durchgeführt.

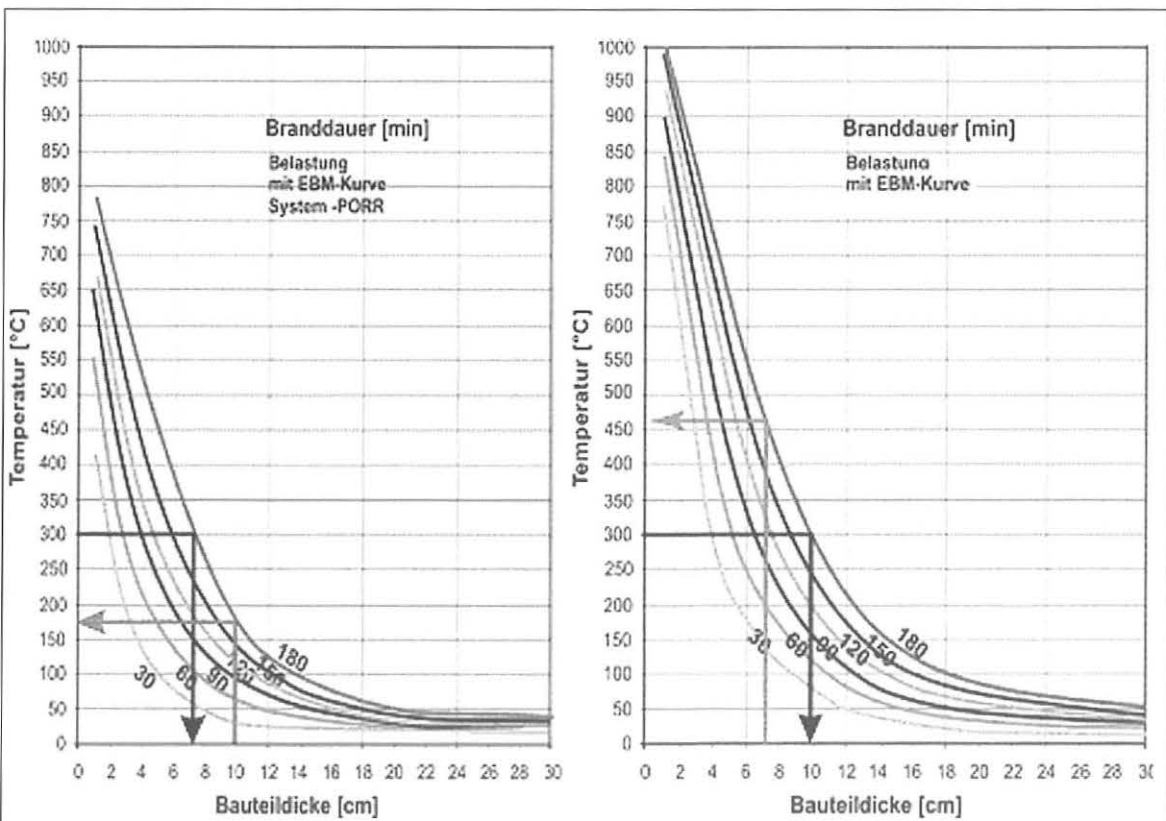


Bild 3: Vergleich der Temperaturkurven eines Betons mit speziellen Gesteinskörnungen (linkes Bild) und einem Beton mit üblichen Gesteinskörnungen (rechtes Bild)

Dabei zeigte sich ein signifikant besseres Verhalten der Betone mit Preger Zuschlägen hinsichtlich thermischer Beständigkeit und Dehydratation. Bei Betonen mit herkömmlichen Zuschlägen sind im Zeitraum von wenigen Tagen bis Wochen massive Zerfallerscheinungen der Struktur zu beobachten, die bis zur völligen Auflösung des Betons unter normalen Umweltbedingungen reichen. An Betonen mit Preger Zuschlägen sind auch Monate bzw. 2 Jahre nach dem Brandereignis keine Zerfallerscheinungen feststellbar (vgl. Bild 5 mit Bild 6).

Diese Erkenntnis ist vor allem für die Sanierungsphase von Bedeutung. Eine geringere Beeinträchtigung der Betonstruktur nach einer thermischen Schädigung bedeutet in weiterer Folge eine raschere Sanierung, damit eine schnellere Nutzung des Bauwerkes und somit eine ökonomischere Lösung.

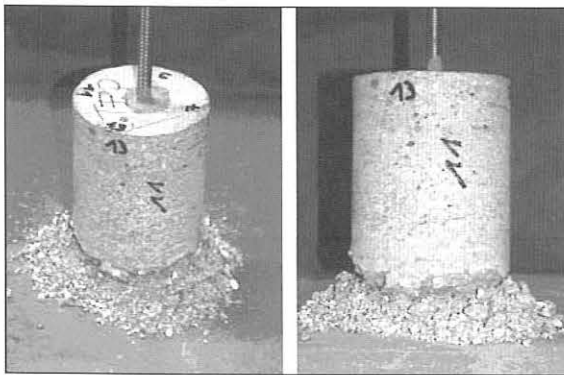


Bild 5: Spritzbetonbohrkern 100 mm Durchmesser, konventioneller Zuschlag; 20 Tage nach Brandversuch bei Lagerung unter Normklima: Völliger Zerfall der Betonstruktur der thermisch beanspruchten Bereiche ohne mechanische Einwirkung

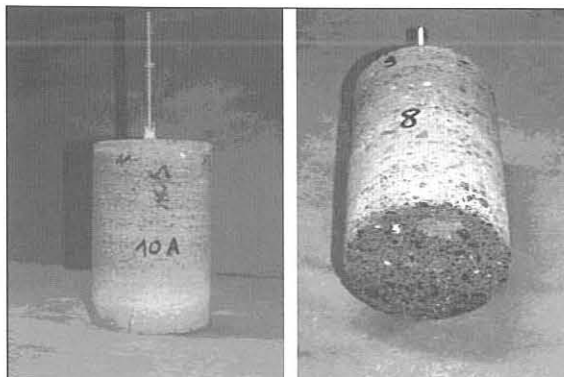


Bild 6: Spritzbetonbohrkern 100 mm Durchmesser Spezialzuschlag Preg, 20 Tage nach Brandversuch bei Lagerung unter Normklima: Keine Zerfallerscheinungen an der Betonstruktur der thermisch beanspruchten Bereiche ohne mechanische Einwirkung

#### 4. Erkenntnisse

Personen- und Umweltschutz:

„Besonders hervorzuheben ist, dass diese neuen Betonqualitäten kein CO<sub>2</sub> und kein giftiges CO-Gas freisetzen. Im Zuge von Lösch- und Sanierungsarbeiten entstehen keine ätzenden, Personen und die Umwelt gefährdenden, Ca(OH)<sub>2</sub>-Laugen.

Giftige Chlor- Schwefel- und Fluorgase können noch während des Brandes, von der später abzutragenden Betonoberfläche im erheblichen Umfang chemisch gebunden und neutralisiert werden.

Durch die im Temperaturbereich zwischen etwa 100 und 800 °C thermisch induzierte Abspaltung des chemisch-mineralisch gebundenen Wassers, stellt sich ein zusätzlicher Kühl- und Brandlöschereffekt ein. In den neu entwickelten Betonqualitäten, kann durchschnittlich mit etwa 250 kg mineralisch gebundenem Wasser je Kubikmeter Beton gerechnet werden [6].“

Bauwerksschutz:

„Die Feuerfestigkeit der Magnesium- Silikatzuschläge liegt so hoch, dass selbst bei 1350 °C als extreme Temperaturergrenze und Brandzeiten von 3 Stunden, noch kein Abschmelzen der neuentwickelten Betonbaustoffe auftritt.

Durch das Fehlen von freiem Quarz und Karbonaten entfallen die Modifikationsänderungen und die damit verbundene Totalschädigung des Betons. Als Folge der autogenen Kühlung durch den stark endothermen Effekt bei der Abspaltung des mineralisch gebundenen Wassers wird nicht nur der Beton gekühlt, sondern es entwickeln sich im Zuschlags-gestein auch noch zusätzliche Mikroporen welche eine erhöhte Wärmedämmung und ein langsames Eindringen der Temperaturfront in den Beton bewirken.

Die für den Bewehrungsstahl kritischen 300 °C wurden bei einer Betondeckung von etwa 7 cm erreicht. Bei vergleichbaren Brandversuchen mit üblichen Zuschlag waren bisher immer etwa 10 cm Betonüberdeckung nötig um die maximal zulässigen 300 °C nicht zu überschreiten [6].“

#### 5. Literatur

- [1] Kusterle, W.; et.al.: Brandbeständigkeit von Faser-, Stahl- und Spannbeton. Straßenforschung Heft 544, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2004.

- [2] Nischer, P.; Steigenberger, J.:  
Praxisverhalten von erhöht Brandbeständigem  
(Innenschalen-)Beton, VÖZFI, Wien, 2003.
- [3] Österreichische Vereinigung für Beton- und  
Bautechnik:  
Richtlinie - Erhöhter Brandschutz mit Beton für  
unterirdische Verkehrsbauwerke. Ausgabe Juli  
2004, ÖVBB, Wien, 2004.
- [4] Österreichische Vereinigung für Beton- und  
Bautechnik:  
Richtlinie - Innenschalenbeton. Ausgabe Okto-  
ber 2003, ÖVBB, Wien, 2003.
- [5] Pöhn, Ch.; Werner, D.:  
Prüfbericht zum Brandverhalten von Spritz-  
beton mit Polypropylenfaserbeimischung.  
26.1.2005, MA39, Wien.
- [6] Mörth, W.; Mayer, A.:  
Zuschlagsoptimierte Betone für Tunnelinnen-  
schalen mit hohem Brandwiderstand. Zement  
+ Beton 1/05, Seite 28-33, Wien, 2005.