

Literatur

- [1] Brameshuber, W.: Beton mit Flugasche im Tunnelbau. In: Flugasche im Beton - Neue Wege - BVK/VGB Fachtagung, 17. Januar 2002 in Frankfurt. Tagungsband, VGB-TB 701, V 7, S. 1-11
- [2] Schießl, P.; Wiens, U.; Schröder, P.; Müller, C.: Neue Erkenntnisse über die Leistungsfähigkeit von Beton mit Steinkohlenflugasche. In: Beton 51, 1/2001, S. 10-17, 2/2001, S. 66-71
- [3] Springenschmid, R.; Breitenbücher, R.: Über das Vermeiden von Rissen am Beispiel der Innenschale von Tunneln. In: Zement und Beton 30, 4/1985, S. 121-128
- [4] Bundesverband Kraftwerksnebenprodukte, BVK: Merkblatt Massenbeton, Ausgabe 1999
- [5] Österreichischer Betonverein: Richtlinie "Innenschalenbeton". Wien, 1994, Neufassung 2003
- [6] Rock, D.; Zwick, O.: Der Engelberg-Basistunnel – Die Ausführung der Tunnelinnenschale. In: beton 1/2000, S. 10-15

Seit mehr als drei Jahrzehnten wird in Deutschland Beton durch Zugabe von Flugasche als Betonzusatzstoff optimiert. In dieser Zeit ist ein umfassendes bautechnisches Regelwerk entstanden, welches die stofflichen, anwendungsbezogenen und überwachungstechnischen Aspekte umfasst. Eine übersichtliche Darstellung dieses Regelwerkes gibt der BVK mit seinen BVK- Betontechnischen Empfehlungen heraus. Praktische Erfahrungen und neue Anwendungen mit Zustimmung im Einzelfall helfen, die Leistungsfähigkeit des Baustoffs Flugasche weiter auszuschöpfen.

Basierend auf Forschungsergebnissen und praktischen Erfahrungen beim Einsatz von Flugasche im Beton geben wir als Anregung zur Lösung eigener Betonaufgaben und zur Optimierung vorhandener Betonrezepturen in loser Folge unsere BVK- Betontechnischen Merkblätter heraus. Die hier zusammengestellten Angaben und Empfehlungen wenden sich an den Fachmann. Sie sind mit großer Sorgfalt und nach bestem Wissen der Herausgeber zusammengestellt, eine Haftung kann jedoch nicht übernommen werden.

Erarbeitet durch:
BVK-Arbeitskreis Beton

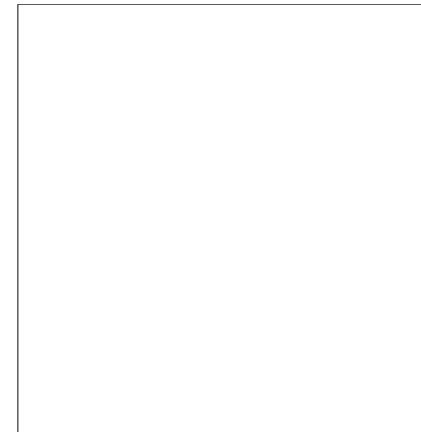
Impressum:
Copyright by Bundesverband Kraftwerksnebenprodukte e. V. Düsseldorf,
Ausgabe 7/2007
Nachdruck auch auszugsweise mit Quellenangabe gestattet.

Bestell-Nr. 052109



Bundesverband
Kraftwerksnebenprodukte e. V.

Niederkasseler Kirchweg 97
D-40547 Düsseldorf
Telefon 0211/57 91 95
Telefax 0211/57 95 24
e-Mail: thamm.bvk@t-online.de
<http://www.bvk-online.com>



**BVK-
Betontechnische Merkblätter**

Merkblatt

Tunnelbauwerke

Bestell-Nr. 052109
Herausgegeben vom
Bundesverband Kraftwerksnebenprodukte e. V.

Stichworte

- Tunnelbau
- Spritzbeton
- Sohlbeton
- Gewölbebeton

Allgemeines

Tunnelbauwerke sind Bestandteil des effizienten Verkehrswegebau. Aufgrund der Charakteristik der durchfahrenen Gebirge, der Verfahrenstechnik in der Bauausführung und der Belastungen aus dem Betrieb bestehen an die eingesetzten Betone sehr unterschiedliche Anforderungen in Hinblick auf die Verarbeitbarkeit sowie die mechanischen Kennwerte und Dauerhaftigkeitseigenschaften. Bild 1 zeigt schematisch mögliche Expositionsklassen (nach DIN EN 206 bzw. DIN 1045-2), die für ein Tunnelbauwerk relevant werden können. Neben dem chemischen Angriff durch Gebirgschwässer (XA) und der ggf. durch die Tunnelatmosphäre verstärkten Karbonatisierung (XC) benötigen die Betone im Portalbereich einen ausreichenden Frost-, bei Straßentunneln sogar Frost-Tausalz-widerstand (XF), und eine hohe Dichtigkeit gegen eindringendes Chlorid (XD).

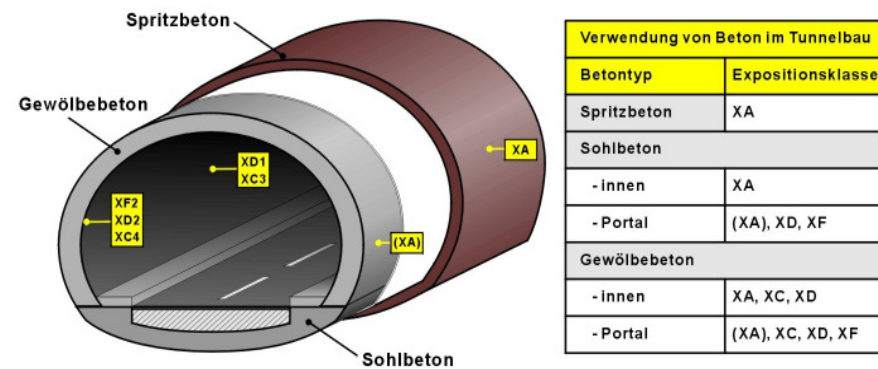


Bild 1: Schematische Darstellung eines Tunnelaufbaus mit den relevanten Expositionsklassen

Im Vortrieb von Tunnelröhren werden zur Ausbruchssicherung häufig Spritzbetone mit sehr kurzen Erstarrungszeiten und schneller Erhärtung eingesetzt. Im Tunnelausbau muss der Beton bei geeigneter Konsistenz ggf. über weite Strecken pumpfähig sein, ohne zu entmischen. Für einen mit dem Vortrieb abgestimmten Baufortschritt sind kurze Abbindezeiten zu erreichen. Gleichzeitig müssen die Schwindneigung und die Entwicklung von Hydratationswärme gering gehalten werden, um eine möglichst rissarme Tunnelschale in Sichtbetonqualität herzustellen, die den Zutritt von Gebirgswasser in die Tunnelröhre weitgehend verhindert. Eine hohe Stabilität bei großer mechanischer Auflast ist zudem Voraussetzung.

Stand der Technik

Der Einsatz von Flugasche als Betonzusatzstoff hat sich im Tunnelbau etabliert, da hierdurch sowohl im Frischbeton als auch im Festbeton besondere Eigenschaften erreicht werden [1]. Durch ihre rheologisch günstige, kugelige Kornform und Korngrößenverteilung verbessert sie die Verarbeitbarkeit der Betone. Dieser Effekt kommt besonders bei den mehlkornreichen pumpfähigen Betonen zur Geltung. Darüber hinaus bewirkt die puzzolanische Aktivität der Flugaschen eine deutliche Nacherhärtung der Betone, wodurch sich verbesserte mechanische Kennwerte, höhere Dichtigkeiten und verbesserte Dauerhaftigkeitseigenschaften ergeben [2]. In den unterschiedlichen Ausbaustufen des Tunnelbaus kommen verschiedene Betontypen zum Einsatz, die alle unter Verwendung von Flugasche hergestellt werden können (Tabelle 1).

Tabelle 1: Praxisbeispiele für Betonrezepturen im Tunnelbau

Kennwert		Nass-spritzbeton	Sohlen- bzw. Innenschalenbeton	Portalbereich Straßentunnel (*)
Zement CEM 42,5 R	kg/m ³	370	-	-
Zement CEM 32,5 R		-	280	280
Flugasche		60	80	80
Wasser	kg/m ³	197	172	156
äquivalenter Wasserzementwert	-	0,50	0,55	0,50
Zusatzmittel	-	FM, BE	BV, FM	BV, FM
Ausbreitmaß	mm	420 - 450	450 - 550	450 - 550

(*) Zustimmung im Einzelfall, nicht gemäß DIN 1045-2 bzw. ZTV-ING

Dem Vortrieb unmittelbar folgend wird die Gebirgssicherung durch Spritzbeton Auftrag durchgeführt. Weiterhin dient diese Schicht zum Profilausgleich im Tunnelquerschnitt, als erste Sperre gegen den Zutritt von Gebirgschwässern und ggf. auch als statisch wirksame Schale. Spritzbeton zeichnet sich aus durch unmittelbares Erstarren, das über Zusatzmittel eingestellt wird, und kurze Erhärtungszeiten. Der Einsatz von Flugasche bei der Herstellung von Spritzbetonen ausreichender Frühfestigkeit ist mittlerweile Stand der Technik. Eine verbesserte Pumpbarkeit im Nassspritzverfahren sowie ein reduzierter Rückprall sind weitere Argumente für die Verwendung von Flugasche.

Der Ausbau der Tunnelsohle erfordert pumpfähige, mehlkornreiche Betone, die gleichzeitig zur Vermeidung von Zwangsspannungen aus der Hydratationswärmeentwicklung als auch aus Wirtschaftlichkeitsgründen möglichst geringe Zementgehalte aufweisen sollten [3]. Der teilweise Ersatz des Zementes durch die Flugasche führt über eine langsamere Freisetzung von Hydratationswärme zu geringeren Temperaturgradienten in den massigen Bauteilen (vgl. BVK-Merkblatt „Massenbeton“ [4]). Dauerhaftigkeitseigenschaften wie der Chlorid- oder Sulfateindringwiderstand werden signifikant sowohl beim Ortbeton als auch bei vorgefertigten Konstruktionsteilen verbessert. Die Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften werden zielsicher erreicht.

Gleiches gilt auch im Gewölbeausbau für den Innenschalenbeton, der zusätzlich eine sehr differenziert einstellbare fließ- und pumpfähige Konsistenz, eine geringe Schwindneigung sowie kurzfristig erreichbare Ausschaltfestigkeiten aufweisen soll. Hierbei sind die kugelige Kornform der Flugaschen sowie ihre Wirkung als feinkörnige Füller besonders vorteilhaft.

Im Portalbereich von Straßentunneln (XF2, XF4) darf Flugasche nach dem heutigen Stand der Regelwerke eingesetzt, in Deutschland bisher aber nicht auf den Mindestzementgehalt bzw. den Wasserzementwert angerechnet werden. Positive Erfahrungen haben in Österreich dazu geführt, dass der Einsatz von Flugasche im Tunnelbau über Normen und Richtlinien empfohlen wird (z.B. [5]). Aber auch hierzulande belegen Portalbauwerke wie zum Beispiel der Engelberg-Basistunnel [6], bei denen über Zustimmungen im Einzelfall (s. Tabelle 1 (*)) Flugaschebetone eingesetzt wurden, dass die Einschränkungen bezüglich der Anrechenbarkeit bei entsprechenden Betonrezepturen keine allgemeingültige technische Begründung finden.