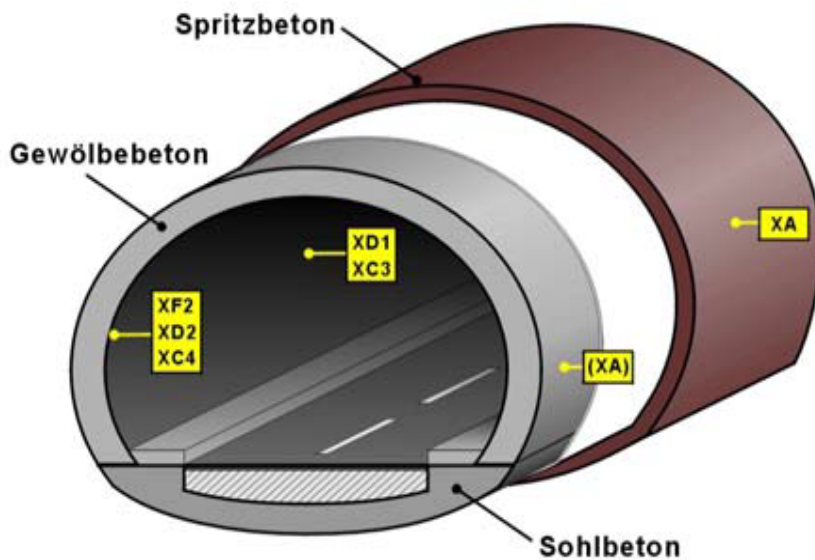


ALLGEMEINES

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 Gebirgswasser (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).



| Verwendung von Beton im Tunnelbau | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Betontyp | Expositionsklasse |
| Spritzbeton | XA |
| Sohlbeton | |
| - innen | XA |
| - Portal | (XA), XD, XF |
| Gewölbebeton | |
| - innen | XA, XC, XD |
| - Portal | (XA), XC, XD, XF |

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 Schwind-

neigung und die Entwicklung von Hydratationswärme gering gehalten werden, um eine möglichst rissarme Tunnelenschale 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).

| KENNWERT | EINHEIT | NASSSPRITZBETON | SOHLEN- BZW. INNENSCHALENBETON | PORTALBEREICH STRASSENTUNNEL * |
|-------------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Zementgehalt CEM 42,5 R | kg/m ³ | 370 | – | – |
| Zementgehalt CEM 32,5 R | kg/m ³ | – | 280 | 280 |
| Flugaschegehalt | kg/m ³ | 60 | 80 | 80 |
| Wassergehalt | l/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 |

Tab. 1: Praxisbeispiele für Betonrezepturen im Tunnelbau

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

Dem Vortrieb unmittelbar folgend wird die Gebirgssicherung durch Spritzbetonauftrag durchgeführt. Weiterhin dient diese Schicht zum Profilausgleich im Tunnelquerschnitt, als erste Sperre gegen den Zutritt von Gebirgswässern 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 Sulfateindringwider-

stand 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 Ausschalfestigkeiten aufweisen soll. Hierbei sind die kugelige Kornform der Flugaschen sowie ihre Wirkung als feinkörnige Füller besonders vorteilhaft.

Positive Erfahrungen haben in Österreich dazu geführt, dass der Einsatz von Flugasche im Tunnelbau über Normen und Richtlinien empfohlen wird (z. B. [4]). Aber auch hierzulande belegen Portalbauwerke wie zum Beispiel der Engelberg-Basistunnel [5], bei denen über Zustimmungen im Einzelfall (s. Tab. 1 ^(*)) Flugaschebetone eingesetzt wurden, dass die Einschränkungen bezüglich der Anrechenbarkeit bei entsprechenden Betonrezepturen keine allgemeingültige technische Begründung finden.

Dem wurde mit der Überarbeitung der ZTV ING [6] Rechnung getragen. Demnach darf Flugasche eingesetzt werden:

- Insgesamt darf der Gehalt an Flugasche 60 M.-% bezogen auf den Zementgehalt nicht überschreiten.
- Die anrechenbare Flugaschemenge darf 80 kg/m³ nicht überschreiten
- Für Gründungsbauteile, wie z. B. Bohrpfähle, darf einem Beton mit CEM III/B Flugasche zugegeben werden. Für weitere Anwendungsbereiche bedarf die Zugabe von Flugasche zu Beton mit CEM III/B der Zustimmung des Auftraggebers

- Die Anrechnung von Flugasche in der Expositionsklasse XF2 darf bei Betonen mit CEM I und CEM II/A-Zementen erfolgen. Die Anrechnung bei Verwendung anderer Zementarten bedarf der Zustimmung des Auftraggebers.

In Beton für Kappen (Expositionsklassen XF4 und XD3) darf Flugasche nicht angerechnet werden. Andere Anwendungen bedürfen der Zustimmung des Auftraggebers.

QUELENNACHWEIS BZW. WEITERFÜHRENDE 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] Österreichischer Betonverein: Richtlinie „Innenschalenbeton“. Wien, 1994, Neufassung 2003
- [5] Rock, D.; Zwick, O.: Der Engelberg-Basistunnel – Die Ausführung der Tunnelinnenschale. In: Beton 1/2000, S. 10–15
- [6] ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen in Richtlinie für Ingenieurbauten, Teil 3: Massivbauten, 2014/12



WIN
Wirtschaftsverband
Mineralische Nebenprodukte e.V.

Anschrift Tannenstraße 2, 40476 Düsseldorf
Telefon 0211 4578341
E-Mail service@win-ev.org
Webseite www.win-ev.org

Hinweis: Diese Informationen sind mit großer Sorgfalt und nach bestem Wissen zusammengestellt, eine Haftung kann jedoch nicht übernommen werden.