

# Untersuchungen zur Optimierung von Tübbings

## Investigation of optimization approaches for tunnel segments

Empelmann, Martin; Teutsch, Manfred; Wichers, Marco

### Abstract

Tunnel constructions with boring machines in combination with concrete segmental linings have been used increasingly in recent years. Numerical and experimental studies have been carried out to investigate different optimization approaches. Among these, an experimental series with tunnel segments made of steel fibre concrete was conducted. Another test series has been carried out with the scope on the optimization of joint design. The tests show a good performance of steel fibre concrete tunnel segments.

### 1. Einleitung

Der Tunnelbau in Schildvortriebsbauweise mit Betontübbingen stellt eine technisch und wirtschaftlich günstige Bauweise dar und wird daher in aktuellen Tunnelprojekten häufig eingesetzt. Im Schutz des Schildes der Tunnelvortriebsmaschine erfolgt die Auskleidung des kreisförmig aufgefahrenen Hohlraums mit Tübbingfertigteilen zu einem Ring mit Längs- und Ringfugen. Die Tunnelringe werden dabei durch eine bestimmte Zahl von Tübbings sowie einen so genannten Schlussstein unterteilt (Bild 1).

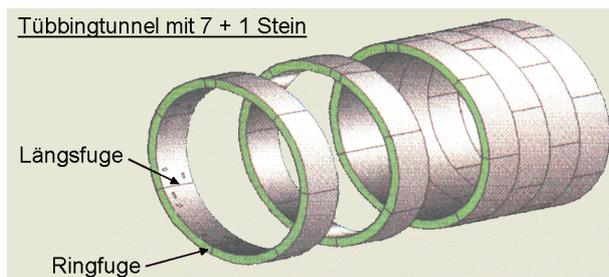


BILD 1 Aufbau eines Tübbingtunnels (hier: 7 Regel-Tübbings und 1 Schlussstein)

Die Fugen zwischen den einzelnen Tübbingringen werden als Ringfugen bezeichnet, diejenigen zwischen den einzelnen Tübbingen in einem Ring als Längsfugen. Die Längsfugen werden üblicherweise als Kontaktfugen (Ausbildung eines Betonhalses, direkter Kontakt Beton auf Beton) ausgebildet.

Am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Fachgebiet Massivbau, der TU Braunschweig wurden in Zusammenarbeit mit der Fa. HOCHTIEF Construction AG, Essen, verschiedene numerische und experimentelle Untersuchungen zur Optimierung von Tübbings aus Stahlbeton und Stahlfaserbeton durchgeführt.

Die Ziele der experimentellen Untersuchungen zum Detailpunkt der Längsfugen waren die Leistungsfähigkeit von faserbewehrten Tübbings zu ermitteln. Zusätzlich wurden numerische Untersuchungen zur Ringfugenkopplung durchgeführt.

### 2. Experimentelle Untersuchungen der Längsfugen von Tübbingen aus Stahlfaserbeton

Um die Herstellung von Tübbings zu rationalisieren, bietet sich der komplette oder teilweise Ersatz der aufwändig einzubauenden Betonstahlbewehrung durch Stahlfasern an [1]. Die Tragfähigkeit des Längsfugendetails von Tübbingen aus Stahlfaserbeton ohne zusätzliche konventionelle Stabbewehrung wurde in einer Versuchsreihe untersucht (Bild 2).

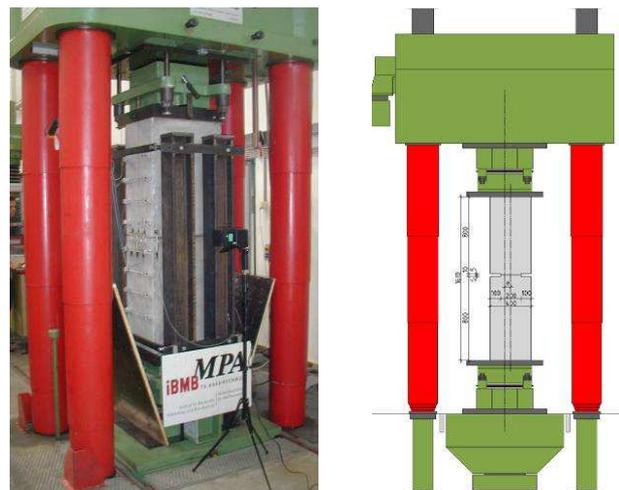


BILD 2 Versuchsaufbau – Foto und schematische Frontansicht

Hierzu wurden repräsentative Tübbing- Ersatzprobekörper mit einem zentrischen Gelenkhals hergestellt. Für die Versuchsdurchführung wurden jeweils zwei Einzelbauteile auf den Gelenkhälsen zu einem Prüfsystem übereinandergestellt (Bild 2, rechts). Für alle Prüfkörper war ein Beton der Güte C50/60 angestrebt, dem unterschiedliche Stahlfasergehalte beigemischt wurden.

Bei der Versuchsdurchführung wurden verschiedene Exzentrizitäten  $e$  der Lasteinleitung gewählt. Die Exzentrizität der Last konnte durch einen ausmittigen Einbau der Versuchskörper in der Prüfmaschine und dem Einsatz eines speziellen Gelenklagers für die Lasteinleitung gewährleistet werden.

Das Bauteilversagen wies bei allen Versuchskörpern aus Stahlfaserbeton eine einheitliche Charakteristik auf. Nach Überschreitung der Risslast konnte bei Laststeigerung an beiden Bauteilen eine weitere Rissbildung mit stetigem Risswachstum beobachtet werden. Mit Erreichen der maximalen Traglast kam es dann zu einer stark zunehmenden Auslenkung der Versuchskörper in der Tübbingfuge.

### 3. Numerische Untersuchungen zur Ringfugenkopplung

In der Ringfuge zwischen zwei Tübbingringen werden zur Minimierung möglicher Verformungsdifferenzen und als Einbauhilfe häufig Topf-Nocke-Konstruktionen vorgesehen. Diese Kopplungen ermöglichen die Übertragung von Scherkräften zwischen den benachbarten Ringen.

Um das Tragverhalten der Kopplung zu untersuchen und Bemessungsansätze zu erarbeiten, wurden numerische Untersuchungen durchgeführt. Zur Validierung der numerischen Ergebnisse wurden Messwerte aus durchgeführten Bruchversuchen genutzt. Bild 3 zeigt die genutzten FE-Modelle des Topfes und der Nocke.

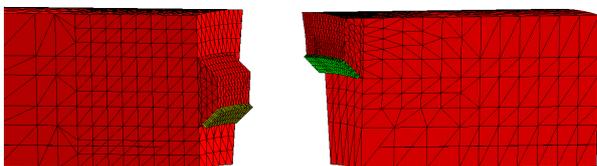


BILD 3 FE-Modelle des Topfes (links) und der Nocke (rechts)

Aufgrund der berechneten Ergebnisse und einer detaillierten Analyse der Tragmechanismen bei der Nachrechnung der Versuchsergebnisse konnten die Erkenntnisse aus den Versuchen erweitert werden. So wurde

aufgezeigt, dass das Versagen stets durch den von der Unterkante des Topfes bzw. der Nocke ausgehenden Risses eingeleitet wurde und die Druckfestigkeit des Betons nicht versagensrelevant war.

Es konnte auch gezeigt werden, dass die Normalkraft, die über die geeigneten Lagerfläche in den Tübbingstein eingeleitet wird, maßgeblichen Einfluss auf die Traglast hat und sich nach der Rissbildung eine Systemumlagerung einstellt. Bild 4 zeigt exemplarisch Ergebnisse der numerischen Untersuchung.

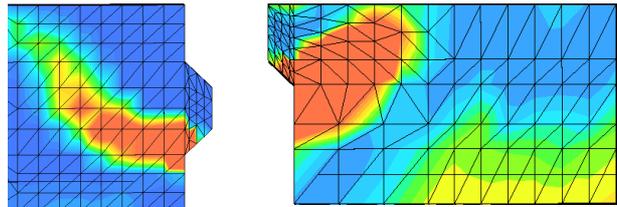


BILD 4 Hauptzugdehnungen im Tübbing im Bereich der Nocke bzw. des Topfes

Mithilfe der numerischen Untersuchungen wurde ein durchgängiges Bemessungsverfahren zur Berechnung der Tragfähigkeit der Topf-Nocke-Konstruktion entwickelt, welches die unterschiedlichen Versagensmechanismen im ungerissenen und gerissenen Zustand erfasst.

### 4. Zusammenfassung

Die experimentellen und numerischen Untersuchungen zum Trag- und Gebrauchsverhalten von Tüblinglängsfugen und Topf-Nocke-Ringkopplungen haben die Erkenntnisse zum Tragverhalten von Tüblings erweitert und das Potential des Einsatzes von Stahlfaserbeton aufzeigen können. Auf dieser Basis wurde für die Topf-Nocke-Kopplungen in den Ringfugen ein durchgängiges Bemessungsverfahren entwickelt, welches die unterschiedlichen Versagensmechanismen berücksichtigt.

Derzeit werden am iBMB Fachgebiet Massivbau weitere Untersuchungen auf experimenteller Basis und mit Hilfe numerischen Methoden durchgeführt. Die Ziele dieser Analysen sind die weitere Optimierung der Tübbinggeometrien und die Bereitstellung von Bemessungsansätzen.

### 5. Literaturverzeichnis

- /1/ Teutsch, M.: Einsatz von Stahlfaserbeton im Tunnelbau. In: Beton- und Stahlbetonbau 101 (2006), Heft 5, Berlin : Verlag Ernst & Sohn.