

Markus Astner

Spezialbaustoffe im Bauvorhaben „Hofoldinger Stollen“

Dipl.-Geologe Markus Astner

Südbayerisches Portland-Zementwerk
Gebr. Wiesböck & Co GmbH, Rohrdorf



Abb. 1: Lageplan mit
Trassenführung mit alter
(rechts oben) und
neuer Leitung (links unten)
Fotos & Grafiken:
© Markus Astner

1 Projekt „Hofoldinger Stollen“

1.1 Projektbeschreibung

Seit Ende des 19. Jahrhunderts bezieht die Landeshauptstadt München Trinkwasser aus dem ca. 35 km südlich von München gelegenen Mangfalltal. Das Gewinnungsgebiet Mangfalltal deckt heute noch ca. 70–80 % des Trinkwasserbedarfs der Stadt München.

Seit 1993 ersetzen die Stadtwerke München ihre alten Freispiegelzuleitungen durch eine bergmännisch aufgefahrene Gefälledruckleitung. Die Zuleitungstrecke besitzt eine Gesamtlänge von ca. 30 km, wobei die Erneuerung in 4 Teilstrecken – Mangfallstollen, Mühlthalstollen, Hachinger Stollen und Hofoldinger Stollen – erfolgt. Der „Hofoldinger Stollen“ ist als letzter Bauabschnitt mit 17,5 km Länge zugleich das längste Teilstück.

1.2 Geologischer Rahmen

Der Hofoldinger Stollen wird oberhalb des Grundwasserspiegels, innerhalb eines mächtigen, quartären Kieskörpers, am Südostrand der sog. „Münchner Schotterebene“ aufgefahren. Infolge des eisrandnahen Bildungsmilieus zeichnen sich die Ablagerungen durch eine sehr starke Heterogenität aus. Kleinräumig verzahnen sich schluffige, sandige oder feinkornarme Kiese, Blocklagen ehemaliger Schmelzwasserrinnen und Nagelfluhbänke unterschiedlichster Ausprägung.

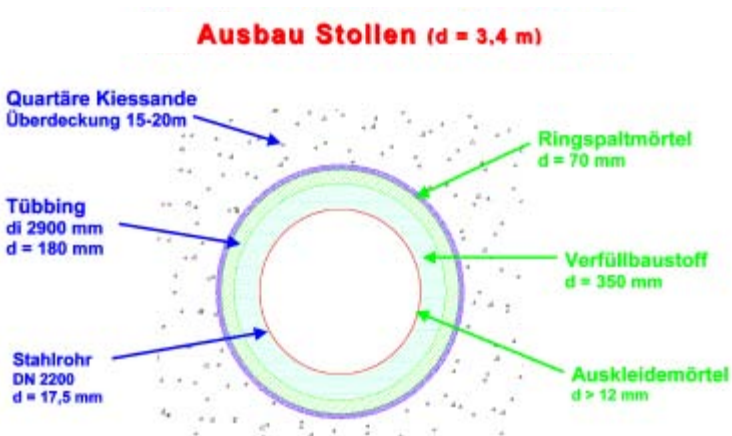


Abb. 2:
Stollen-Querschnitt
mit Ausbau

1.3 Vortrieb

Der Vortrieb erfolgt durch die Fa. Bilfinger Berger AG mit einem offenen Haubenschild. Als Abbauwerkzeug dient ein Schrägarm mit axial angeordnetem Fräskopf. Der Material- und -abtransport erfolgt über batteriebetriebene Stollenloks. Der Vortrieb wird von einem etwa mittig gelegenen Angriffspunkt ausgeführt. Der Durchschlag des ca. 9 km langen südöstlichen Stollenteils erfolgte im Juli 2004. Derzeit läuft der Vortrieb

am nordwestlichen Teil bei gleichzeitigem Endausbau der südöstlichen Strecke. Der Stollen besitzt einen planmäßigen Durchmesser von 3,4 m. Die Überdeckung liegt zwischen 15–20 m, der Vortrieb erfolgt über dem Grundwasser.

1.4 Stollenausbau

Ein Querschnitt des Stollenausbaus ist in Abb. 2 dargestellt. Die Stollenauskleidung besteht aus Stahlbetontübbing, in die ein Stahlrohr DN 2.200 eingezogen wird.

Die Tübbinge werden als Fertigteile mittels Schienenverkehr zum Abbau transportiert und unmittelbar hinter der Vortriebseinheit im Schutz des Schildmantels zusammengesetzt.

Durch den systembedingten Überschnitt an der Ortsbrust sowie durch die Stärke des Schildmantels ergibt sich zwischen Tübbingaußenseite und anstehendem Boden ein Hohlraum von wenigen Zentimetern, der sog. Ringspalt. Zur kraftschlüssigen Bettung der Tübbinge wird dieser Hohlraum mit einem Ringspaltmörtel verpresst.

Zwischen Stahlbetontübbing und Stahlrohr verbleibt ein innerer Ringraum von ca. 35 cm Stärke. Zur Lagesicherung des Stahlrohrs wird in diesen inneren Ringraum ein Verfüllbaustoff eingebracht.

Das Stahlrohr selbst wird an der Innenseite mit einem Auskleidemörtel als hygienische Innenbeschichtung versehen. Die Innenbeschichtung dient zugleich als Korrosionsschutz.

2 Spezialbaustoffe

2.1 Allgemeines

Im Zuge des Hofoldinginger Stollens werden folgende Spezialbaustoffe eingesetzt:

- Ringspaltmörtel
- Verfüllbaustoff
- Auskleidemörtel

Mit Ausnahme des Auskleidemörtels, dessen Zusammensetzung und Eigenschaften in DVGW-Arbeitsblättern festgelegt sind, handelt es sich um Baustoffe, die keiner Normung unterliegen, sondern speziell auf das Bauvorhaben „zugeschnitten“ wurden.

Die Baustoffentwicklung erfolgte – soweit sinnvoll – anhand von Prüfmethode nach einschlägigen Normen und Richtlinien bzw. in Anlehnung daran. Um die Baustellenbedingungen möglichst praxisnah zu simulieren, wurden darüber hinaus eigene Prüfungen und Laborversuche entwickelt. Nicht zuletzt dienten bereits intern vorhandene Erfahrungen und Ergebnisse von vorab mit der Fa. Bilfinger durchgeführten Feldversuchen als Grundlage der Entwicklung.

Da es sich bei dem Bauwerk um eine Trinkwasserleitung handelt, liegt ein großer Augenmerk auf der Verwendung von Baustoffen ohne chemische Zusätze bzw. werden von Seiten des Auftraggebers hohe Maßstäbe an die Trinkwasser- und Umweltverträglichkeit der Baustoffe gestellt. Zum Einsatz kommen daher ausschließlich mineralische Baustoffe, die mit Gesteinsmehlen und Kornzuschlägen aus natürlichen Vorkommen im Voralpenraum hergestellt werden.

2.2 Ringspaltmörtel

Der Ringspaltmörtel (RSM) dient zur Verfüllung des Ringraumes, der durch die Wandstärke des Schildes und den Überschnitt definiert ist. Der Baustoff wird als fertig angemischter Mörtel im Startschacht in Loren gefüllt und zum Abbau transportiert.

Der Ringspaltmörtel soll im Tunnelbau folgende Funktionen erfüllen:

- kraftschlüssige Bettung der Tübbinge
- Schutz vor Punktlasten
- zusätzliche Abdichtwirkung gegen Schicht- und Sickerwasser

Neben den allgemeinen Funktionen konnten die Anforderungen an den RSM im Gespräch mit den einzelnen Bietern bzw. der ausführenden Firma in folgender Hinsicht konkretisiert werden:

- **gute Verarbeitbarkeit, Pumpbarkeit** auch über größere Entfernungen bzw. längere

Transportzeiten hinweg (max. Transportentfernung bis zu 9 km)

- **hohe Suspensionsstabilität**, d. h. keine Entmischungen während des Transports bzw. bei Bewegungsstillständen
- **Druckfestigkeitsentwicklung**: Der Baustoff sollte sofort nach dem Einpressen, beim Kontakt mit Boden und Tübbing, über Abgabe des Anmachwassers schnell eine „Bodenfestigkeit“ besitzen, anschließend sollte der Mörtel im Hinblick auf die Abdichtwirkung hydraulisch auf eine Festigkeit $> 2 \text{ N/mm}^2$ nach 28 Tagen aushärten.
- **Filterstabilität**: Der Kornaufbau des Mörtels ist so abzustimmen, dass es auch in den extrem durchlässigen Rollkieslagen zu keinen Stoffverfrachtungen kommt.

Die Baustoffentwicklung erfolgt mit folgenden Laborversuchen:

Pumpbarkeit: Ausbreit-/Fließmaß

Verarbeitbarkeit: Intervalluntersuchung im Viskosimeter

Suspensionsstabilität: Absetzmaß
Kornsedimentation im PVC-Rohr

Verpressverhalten/Entwässerung: Entwässerungskurve, Scherfestigkeiten im Drucktopf

Druckfestigkeitsentwicklung: Einschlag in Prismen in Anlehnung an DIN EN 196

Als Besonderheit ist das Verpressverhalten zu erwähnen: Hier wurde ein Drucktopf gebaut, in dem der angemischte Mörtel gegen eine eingebaute Bodenprobe mit vorgegebener Einbaudichte und Kornverteilung gepresst wird. Das abgegebene Wasser wird in Zeitintervallen gemessen und über die Zeit zu einer Entwässerungskurve aufgetragen. Anschließend werden die Scherfestigkeit und die Dichte des entwässerten Baustoffes bestimmt.

Die Eigenschaften des eingesetzten Baustoffes sind in Tabelle 1 zusammengefasst (Labormittelwerte).

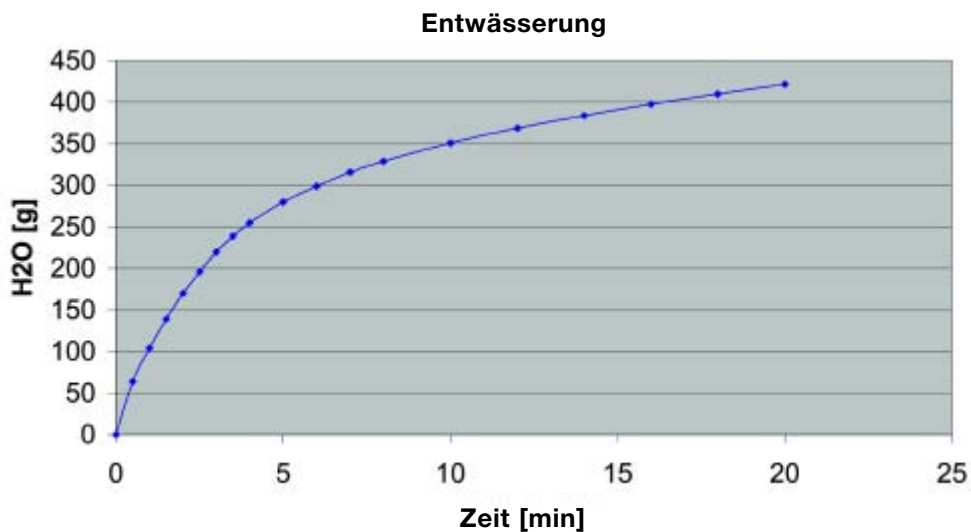
Tab. 1

Frischmörteleigenschaften		Druckfestigkeitsentwicklung (Prismen)	
W/F-Wert	0,35	7 Tage	1,2 N/mm ²
Mörteldichte	1,88–1,89 t/m ³	14 Tage	1,8 N/mm ²
Fließmaß	190–200 mm	28 Tage	2,2 N/mm ²

BETON ZEMENT

14

Abb. 3: Entwässerungskurve



Tab. 2

Frischsuspensionseigenschaften		Druckfestigkeitsentwicklung (Prismen)	
W/F-Wert	0,35	7 Tage	1,2 N/mm ²
Suspensionsdicht	1,88–1,89 t/m ³	14 Tage	0,75 N/mm ²
Marshzeit Mt0	38–42 sec	28 Tage	1,50 N/mm ²
Wasserabsetzen	1,8 %	56 Tage	1,85 N/mm ²
Fließwinkel	1,4 %	ph-Wert nach 28 d	12,29

Die im Drucktopf ermittelte Entwässerungskurve bei einem Verpressdruck von 2,5 Bar ist in Abb. 3 dargestellt. Die Eigenschaften des verpressten Ringspaltmörtels (Verpressdauer 20 min) wurden wie folgt bestimmt:

Mörteldichte: 2,13 t/m³
 Scherfestigkeit: 32 kPa

2.3 Verfüllbaustoff

Der zwischen Tübbing-Innenwand und Stahlrohr eingebrachte Verfüllbaustoff soll folgende Funktionen erfüllen:

- Lagesicherung des Stahlrohres
- Korrosionsschutz
- Langzeitabdichtung

Das Einbringen des Verfüllbaustoffes bzw. der Hinterfüllung des Stahlrohres erfolgt dabei nach einem von den Stadtwerken München entwickelten Verfahren, das eine abschnitts- und lageweise Verfüllung der bereits weit gehend verlegten Rohrleitung

vorsieht. Das Verfahren der Ringraumverfüllung von im Stollen endlos verlegten Rohrleitungen ist mittlerweile international zum Patent angemeldet. Auf das Verfahren wird hier nicht näher eingegangen.

Nach der Ausschreibung werden an den Baustoff folgende Anforderungen gestellt:

- Druckfestigkeit (28 d) > 1,0 N/mm²
- pH-Wert > 12 (Korrosionsschutz)
- max. Anstieg der Hydratationswärme um 15 K

Zusätzlich ergaben sich aus den Belangen der ausführenden Firma weitere Eigenschaften:

- **Verarbeitbarkeit** (pumpbar, max. 2,5 km)
- **Wasserabsetzen** < 2 %
- **möglichst geringer Fließwinkel** (< 1,6 %)
- **Robustheit** in Bezug auf Anmischen (gering aufschließender Durchlaufmischer) und Wassergehaltsschwankungen in der Größenordnung von bis zu 2 %

Entwickelt wurde ein Baustoff mit einer Einwaage von 750 kg je m³ Suspension, der

mit natürlichen Ton- und Gesteinsmehlen ohne chemische Zusätze hergestellt wird.

Der Baustoff mit der Handelsbezeichnung Rohrdorfer Verfüllbaustoff RoV 5016 wurde in unserem Labor hinsichtlich der geforderten Eigenschaften vorab eingestellt und vom Materialprüfamt der TU München in einer Eignungsprüfung getestet.

Zur Entwicklung wurden folgende Laborversuche herangezogen:

Pumpbarkeit: Marshzeit, Fließgrenze Fließmaß in Fließrinne (Anlehnung an Mörtelnorm)

Verarbeitbarkeit: Intervalluntersuchung im Viskosimeter

Suspensionsstabilität: Absetzmaß

Fließwinkel: Fließrinne

Druckfestigkeitsentwicklung: Einschlag in Prismen in Anlehnung an DIN EN 196

Hydratationswärme: Temperaturkurve im Thermobehälter

Die Eigenschaften des Verfüllbaustoffes sind in Tabelle 2 dargestellt (Labormittelwerte).

Die Temperaturkurve ist in Abb. 4 dargestellt.

Die besondere Herausforderung liegt hier in der Qualitätssicherung von großen Durchsatzmengen. Ton- und Gesteinsmehle weisen naturgemäß Schwankungen in der Zusammensetzung (Tonanteil, Reaktivität der Tone etc.) auf.

Für die Qualitätssicherung werden folgende Schritte unternommen:

- Auswahl der geeigneten Rohmaterialien im Steinbruch durch Probenahme und Analyse auf Chemismus und Tonmineralbestand
- Schaffung einer ausreichenden Lagerkapazität zur Durchmischung der Rohstoffe vor und nach dem Mahlen
- Kontrolle der Eigenschaften an den Einzelkomponenten sowie an der Fertigmischung

2.4 Auskleidemörtel

Der Auskleidemörtel dient dem Korrosionsschutz der Stahlrohrinnenseite. Als Innenbeschichtung bildet er die Kontaktfläche zum Trinkwasser. Die Anforderung an den Auskleidemörtel sind im DVGW-Blatt 343 bzw. im Anschleuderverfahren zusätzlich nach DVGW-Blatt 344 definiert.

Als Besonderheiten sind hier anzuführen:

- Zusammensetzung aus 50 % Zement nach EN 197 und 50 % Quarzsand (Körnung 0,125–1 mm)
- Druckfestigkeit (28 d) > 60 N/mm²
- TOC-Gehalt von < 0,1 %

Der Auskleidemörtel wird im Anschleuderverfahren aufgebracht.

3 Schlussbemerkung

Auf dem Gebiet Tunnelbau-Spezialtiefbau bewegen wir uns mit unseren Baustoffen in einem Bereich, in dem die Produkte aufgrund unterschiedlicher Anforderungen und Böden ständig an die jeweilige Baustelle angepasst werden müssen.

Die entwickelten und bis dato eingesetzten Baustoffe erfüllen bislang ihre Funktion, sodass von der Materialseite ein für alle Seiten reibungsloser Ablauf gegeben war. Schädliche Abweichungen in den Materialeigenschaften traten in der bisherigen Bauzeit von über 2 Jahren nicht auf. Ebenso wenig mussten Anpassungen in der Materialzusammensetzung aufgrund der wechselhaften Geologie vorgenommen werden. Das Bauvorhaben Hofolding Stollen zeigt, dass nur im Zusammenwirken von Bauherrn, ausführender Firma und Baustoffhersteller optimale Baustofflösungen zu finden sind.

Literatur

DVGW-Arbeitsblatt W343, Zementmörtelauskleidung von erdverlegten Guß- und Stahlrohrleitungen – Einsatzbereiche, Anforderungen und Prüfungen, Dez. 1981

DVGW-Arbeitsblatt W344, Zementmörtelauskleidung von Guß- und Stahlrohren nach dem Verfahren des Anschleuderns an ein nicht rotierendes Rohr – Einsatzbereiche, Anforderungen und Prüfungen, Okt. 1986

Schuchardt J., Maier G., Meyer F., List R.: Planung und Bau einer großkalibrigen Trinkwasserfernleitung aus Stahl in Tunnelbauweise; gwf-Wasser/Abwasser, Heft 9, 1998

Stahn, Ch.; Feistl, U.: Optimierung des Schutter- und Vertriebskonzeptes am Beispiel des Hofolding Stollens, 2004

Abb. 4: Temperaturkurve

