

## Zementmörtelauskleidung bei Stahlrohren mit großen Durchmessern<sup>1)</sup>

# Neue Trinkwasserleitung für München

## 1. Einleitung

Die Stadtwerke München ersetzen im Rahmen eines langfristigen Bauprogramms ihre über 100 Jahre alten Freispiegelleitungen aus dem Gewinnungsgebiet Mangfalltal durch eine neue Gefälledruckleitung in bergmännischer Bauweise. Mittlerweile sind ca. 12,5 km des insgesamt etwa 30 km langen Gesamtvorhabens fertig gestellt und durch vorübergehende Anbindungen an das bestehende System in Betrieb genommen. In den Stollen wurde eine dickwandige Stahlleitung DN 1800 bzw. DN 2200 eingebaut und mit Zementmörtel ausgekleidet. Für das unbehandelte Münchner Wasser war die Zementmörtelauskleidung eine weise Entscheidung.

## 2. Übersicht

Die Wasserversorgung von München wurde bereits im letzten Drittel des vorletzten Jahrhunderts konzipiert. Noch heute werden fast 80 % des jährlichen Trinkwasserbedarfes der bayerischen Landeshauptstadt aus den rund 40 km entfernten Gewinnungsanlagen des Mangfalltales im nördlichen Alpenvorland bezogen. Darüber hinaus stehen für die Trinkwasserversorgung die Brunnenanlagen bei Oberau und in der Münchner Schotterebene zur Verfügung. Aufgrund der überaus günstigen topographischen Lage Münchens kann das Trinkwasser aus allen Gewinnungsgebieten im freien Gefälle zu den Speicherbehältern und in das Verteilungsnetz geleitet werden. Naturbelassen und quellfrisch wird es dem Verbraucher ins

<sup>1)</sup> Der Beitrag beruht auf einer Veröffentlichung der Autoren Dipl.-Ing. Jörg Schuchardt und Dipl.-Volkswirt Horst Zech aus dem Jahre 1999 in 3R international, Ausgabe 3-4; aktualisiert von Dipl.-Ing. Georg Maier

Haus geliefert. Im Gegensatz zu der Druckleitung aus Oberau sind die Zuleitungen aus dem Mangfalltal und der Schotterebene Freispiegelleitungen. Im Jahr 2002 wurden bei Tagesverbrauchsspitzen von bis zu 7470 l/s insgesamt 115,6 Mio. m<sup>3</sup> Wasser an das Rohrnetz abgegeben.

## 3. Gesamtprojekt

Der anstehende Gebirgsdruck und das Alter des Stollensystems hatten den Bauzustand der Leitungen im Laufe der Jahrzehnte stark verschlechtert. Ein weiteres Problem war die Leitungsführung, die teilweise sehr oberflächennah verläuft. Aus diesen Gründen wurde das Erneuerungskonzept für den Bereich des Gewinnungsgebietes Mangfalltal zwingend notwendig, um die Münchener Wasserversorgung auch in Zukunft nachhaltig zu sichern. Bei der Abwägung verschiedener Verfahren zeigte sich, dass der Neubau der Leitung in bergmännischer Bauweise die wirtschaftlichste und technisch beste Lösung darstellt. Das Gesamtprojekt umfasst neben dem Bau einer neuen etwa 30 km langen Zuleitung als Gefälledruckleitung, den Bau verschiedener Betriebseinrichtungen. Hierzu zählen beispielsweise die Errichtung eines Behälterzulaufbauwerks mit Turbine, um Restenergie in elektrische Energie umzuwandeln, und der Neubau eines Ausgleichsbehälters mit Überlaufeinrichtung am Beginn der Gefälledruckleitung. Jeder Bauabschnitt war so konzipiert, dass er nach Fertigstellung sofort in Betrieb genommen werden konnte. Zurzeit laufen die Bauarbeiten für den Hofolding Stollen. Er ist der letzte, und mit 17,5 km auch der längste Abschnitt. Für Ende 2007 ist die Fertigstellung und die durchgängige Inbetriebnahme der neuen Gefälledruckleitung geplant.



**Dipl.-Volkswirt Horst Zech**  
RSV Rohrleitungssanierungsverband, Lingen (Ems)  
E-Mail: rsv-ev@t-online.de



**Dipl.-Ing. Jörg Schuchardt**  
aquaKom GmbH & Co. KG, München  
E-Mail: schuchardt.joerg@swm.de



**Dipl.-Ing. Georg Maier**  
SWM Services GmbH, München  
E-Mail: Maier.Georg@swm.de

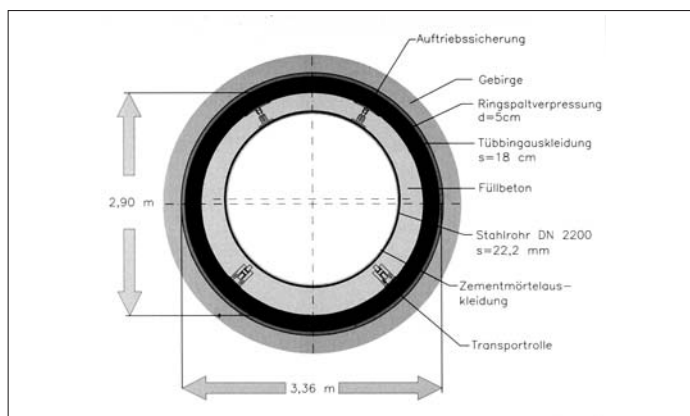
## 4. Mangfall- und Mühltalstollen

### 4.1. Bauentwurf und Bauausführung

Eine Arbeitsgemeinschaft Bilfinger & Berger/Brochier GmbH erhielt im Januar 1993 den Auftrag zur Ausführung der Baumaßnahme auf der Grundlage ihrer Sondervorschläge: Auffahren des gesamten Stollens im Schildvortrieb mit EPB-Schild und Stahlrohrausbau mit Zementmörtelauskleidung für die Trinkwasserleitung. Der bergmännisch aufgefahrene Stollen mit einem Innendurchmesser von 2,90 m dient dazu, die eigentliche Trinkwasserleitung – ein Stahlrohr von 1800 mm bzw. 2200 mm Durchmesser – aufzunehmen. Der Ringspalt zwischen Gebirge und Tübbingaußenkante wurde mit einem Verpressmörtel, der Ringraum zwischen Stahlrohr und Tübbingschale mit einem hydraulischen Füllbinder gefüllt. Das Stahlrohr wurde mit einer 12 mm dicken Zementmörtelschicht ausgekleidet (**Bild 1**).

### 4.2. Zementmörtelauskleidung

Während des Bauentwurfs wurden zwei Varianten der Zementmörtelauskleidung geprüft: die werksseitige Auskleidung und die Beschichtung nach der Rohrleitungsverlegung in-situ. Die Entscheidung fiel auf die in-situ-Methode. Gründe hierfür: Die Werksauskleidung hatte im vorliegenden Fall den Nachteil, dass die Rohre auch während der Einbauphase ausgesprochen vorsichtig behandelt werden müssen. Dies hätte bereits bei der Lagerung von Rohren solcher Dimensionen Probleme aufgeworfen. Ausschlaggebendes Argument waren letztlich die aufwendigen Nachbeschichtungsarbeiten im Be-



**Bild 1:** Regelquerschnitt DN 2200



**Bild 2:** Aufbau des Großversuchs: E-Lok mit Trockenmörtelwagen auf der Einfahrkonstruktion



**Bild 4:** Der Trockenmörtelwagen wird in den Schacht herabgelassen

reich der Rohrstöße. Denn bei der werksseitigen Auskleidung hätten alle Schweißnähte von innen in Handarbeit nachgearbeitet werden müssen. Hinzu kamen die Vorteile der in-situ-Methode: Das maschinelle Aufbringen des Mörtels führt zu einer guten Anfangshaftung und damit hohen Qualität der Auskleidung. Darüber hinaus müssen die Trinkwasserleitungen gegen Innenkorrosion geschützt sein und eine hohe hydraulische Leistungsfähigkeit gewähren. Bei der ZM-Auskleidung in-situ bildet sich während des Betriebes zwischen dem Stahl und dem Zementmörtel eine feste Grenzschicht aus Calciumferrohydroxid. Es entsteht eine dauerhafte hygienische Innenbeschichtung, die eine Trinkwasserqualität auf höchstem Niveau garantiert und damit allen Anforderungen an das Leitungssystem gerecht wird.

Wegen der Gefahr des Übergangs von Stoffen aus der Verbrennung in das Trinkwasser durch Ablagerungsreste im Zementmörtel wurden, um die Trinkwasserqualität nicht zu beeinträchtigen, alle Geräte elektrisch angetrieben. Die rund 4,1 km DN 1800 des Mühlalstollens und 5,4 km DN 2200 des Mangfallstollens sind im Anschleuderverfahren ausgekleidet worden. In vergleichbarer Weise wurde auch der zwischen 1998 und 2000 errichtete Hachinger Stollen ausgekleidet. Seine Länge beträgt 2,4 km bei einem Durchmesser von ebenfalls 2200 mm. Dass die Auskleidung großer Rohre sehr viel Erfahrung erfordert, hat sich bei diesem Bauabschnitt gezeigt. Um die Qualitätsanforderungen der SWM zu erfüllen entschloss sich die ausführende Firma nach einigen Experimenten doch dazu, wieder den gleichen Partner mit der Zementmörtelauskleidung zu beauftragen.

**4.3. Großversuch**

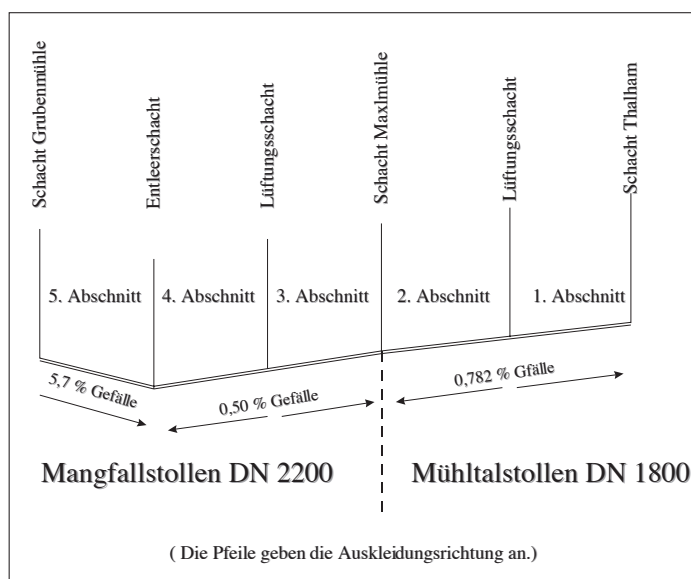
Vor Beginn der eigentlichen Auskleidungsarbeiten wurde am 13. Juli 1994 ein Groß-

versuch durchgeführt. Dabei kleidete die Baumannschaft 48 m Stahlleitung DN 2200 mit einer Schichtdicke von 12 mm aus. Bei dem Versuch wurden alle für die Beschichtung notwendigen Geräte wie Akkulok, Trockenmörtelwagen und Durchlaufmischer mit Pumpe im Betrieb getestet (**Bild 2**). Es zeigten sich Schwachpunkte an der Monopumpe, die für den hohen Mörteldurchsatz von 90 l/min und den Dauerbetrieb nicht ausreichend ausgelegt war. Zudem war die Durchmischung des Mörtels nicht immer zufriedenstellend. Durch den Großversuch konnten diese Mängel vor Beginn der Arbeiten in der Stollenleitung behoben werden.

**4.4. Das Konzept**

Bei den Auskleidungsarbeiten in der Leitung kam der eigens für dieses Bauvorhaben entwickelte und getestete Auskleidungszug zum Einsatz. Herzstück dieser Konstruktion

ist eine Schleudermaschine. Sie hat einen Mörteldurchsatz von 90 l/min. Die Einheit bewegte sich, angetrieben durch eine Akkulok, mit einer Geschwindigkeit von 1,22 m/min im Rohr DN 1800 und 1,00 m/min im Durchmesserbereich DN 2200 vorwärts. Somit konnte eine Zementmörtelschicht von mindestens 12 mm gewährleistet werden. Die Speisung der Schleudermaschine erfolgte über ein kombiniertes Mischersystem: Zunächst wird dabei der Trockenmörtel mit Förderschnecken aus dem Mörtelwagen in den Durchlaufmischer transportiert und dort mit Wasser vermischt. Die dosierte Weitergabe an die Schleudermaschine übernimmt ein Nachmischer. Pro Auskleidungsstunde benötigte man ca. 5 m<sup>3</sup> Mörtel. Mit diesem Konzept wurden durchschnittliche Auskleidungslängen von 80 m am Tag erreicht. Zur Energieversorgung der Geräte wurde in der Rohrsohle eine Kabelzuleitung von 1000 V verlegt. Am Abnahmepunkt wurde die Span-



**Bild 3:** Abschnitte der Baumaßnahme



**Bild 5:** Einbau eines Durchlaufmischers auf die Einfahrkonstruktion

nung auf 400 V transformiert. Den Sicherheitsvorschriften entsprechend wurde die gesamte elektrische Anlage durch eine Isolationsüberwachung mit Abschaltung geschützt.

#### 4.5. Mörtelaufbereitung

Als Werkstoff für die Auskleidung diente ein werkseitiger Trockenmörtel, bestehend aus Portlandzement CEM I 32,5 R nach DIN 1164 und Quarzsand nach DVGW-Arbeitsblatt W 343, Pkt. 7.1.2. Sand und Zement wurden im Verhältnis 1:1 vorgemischt und in der Rohrleitung mit Trinkwasser angemischt. Wichtig bei der Zementdosierung ist eine nicht zu hohe Schwindspannung. Dies wird über einen sehr geringen Wasser/Zement-Faktor (W/Z) erreicht. Der Faktor betrug 0,35. Zudem darf der Kohlenstoffgehalt (gemessen als in Salzsäure unlöslicher Kohlenstoff und Kohlenstoffverbindungen) bei der Zementmörtelauskleidung einen Gewichtsanteil von 0,1 % nicht überschreiten. Außer Zement, Sand und Trinkwasser waren daher keine weiteren Zusatzstoffe erlaubt. Dies ist umso wichtiger, weil das Münchener Trinkwasser naturbelassen, d. h. völlig unbehandelt, aus dem Gewinnungsgebiet zum Endverbraucher gelangt. Ansonsten fanden alle einschlägigen DVGW-Arbeitsblätter und DIN 2614 (DIN 2880) Anwendung.

#### 4.6. Mörteltransport

Da teilweise Strecken von mehreren Kilometern im Stollen zurückgelegt werden mussten, kam der Transport von fertig angemischtem Mörtel zur Schleudermaschine nicht in Betracht. Zum Zeitpunkt der Materialübergabe wäre bis zu einer halben Stunde vergangen. Innerhalb dieses Zeitraumes hät-

te der Abbindeprozess bereits eingesetzt. Ein erneutes Aufmischen hätte zu mangelhaftem Haftvermögen des Mörtels an der Stahlrohrwand geführt. Deshalb wurde das Anmachwasser erst direkt vor dem Anschleudern dem Trockenmörtel zugesetzt.

### 5. Ausführung

#### 5.1. Einteilung der Baumaßnahme

Zur Umsetzung des Konzeptes wurden der Mangfall- und Mühlthalstollen in fünf Abschnitte unterteilt (**Bild 3**). Im Mühlthalstollen, in dem mit den Auskleidungsarbeiten begonnen wurde bildete der Lüftungsschacht den Grenzbereich für die ersten beiden Abschnitte (**Bild 4**). Der Mangfallstollen wurde durch den zweiten Lüftungsschacht und den Entleerschacht sowie den Grubmühler Schacht unterteilt. Diese Einteilung gewährleistete, dass alle Abschnitte während der Auskleidung mit ausreichend Frischluft versorgt werden konnten.

#### 5.2. Mühlthalstollen

Nachdem der Ringraum zwischen Mediumrohr und Stollen mit Füllbeton verdämmt und die Rohrleitung von innen sorgfältig von den durch Schweißen verursachten Schlacken usw. gereinigt worden war, konnten die Rohinnenflächen beschichtet werden. Anfang Oktober 1996 wurde mit den Auskleidungsarbeiten am Mühlthalstollen (1. Abschnitt) begonnen. Der Fertigstellungstermin konnte so eingehalten, gleichzeitig jedoch ein ausreichender Zeitpuffer für die während der Auskleidung zu erwartenden Anpassungsarbeiten geschaffen werden.

Tatsächlich gab es in den ersten drei Wochen vereinzelt auftretende Ausfälle, die aber zum größten Teil auf der Baustelle behoben werden konnten. Nach dieser Einlaufphase konnte reibungslos und damit kontinuierlich durchgearbeitet werden. Die Steigung von 0,81 % konnte das Zugfahrzeug (E-Lok) ohne Schwierigkeiten überwinden. Nach der Fertigstellung des Mühlthalstollens wurde die Auskleidungseinheit über den Schacht Maxlmühle in den zweiten Abschnitt eingebracht (**Bild 5**). Der erste Abschnitt wurde verschlossen und über einen Sprinklerschlauch nach Bedarf feucht gehalten.

#### 5.3. Mangfallstollen

Für den zweiten Bauabschnitt mussten alle Geräte über den nur 7,90 m im Durchmesser großen Schacht Maxlmühle in die Leitung eingebracht werden. Hinzu kam, dass der anschließende Mangfallstollen eine Richtungsänderung von 22° aufweist. Dies erschwerte den Befüllvorgang des Trockenmörtelwagens. So musste das Zugfahrzeug bei jedem Schritt abgekoppelt und im Schacht beiseite gestellt werden, damit der Mörtelwagen in den Schacht gezogen und befüllt werden konnte. Der zusätzliche Aufwand führte dazu, dass die durchschnittliche Tagesleistung von 80 m bei diesem Abschnitt nicht gehalten werden konnte.

### 6. Das Ergebnis

Seit Sommer 1998 sind die ersten 10 km der neuen Trinkwasserzuleitung DN 2200 und DN 1800 mit Zementmörtelauskleidung (Mangfall- und Mühlthalstollen) in Betrieb. Nach dem Bauentwurf war der längste zu beschichtende Rohrabschnitt 5000 m lang. Mit dem neu konzipierten Auskleidungszug konnte eine solche Strecke problemlos im Anschleuderverfahren ausgekleidet werden. Die hohen Anforderungen der Stadtwerke München auf Einhaltung aller anzuwendenden Normen, Arbeitsblätter und Werksvorschriften während der gesamten Bauzeit, führten zu einem guten bis sehr guten Auskleidungsergebnis. Eine Inspektion nach Ablauf der Gewährleistungsfrist zeigte nach wie vor eine einwandfreie Qualität der Zementmörtelauskleidung und ergab keine Beanstandungen.

Die maximale Tagesleistung einer Kolonne betrug 200 m. Der speziell für diese Baumaßnahme von der ARGE Brochier Rohrsanierungstechnik/Heitkamp entwickelte Auskleidungszug hat bewiesen, dass Streckenabschnitte von bis zu 5 km mit einer hochwertigen Zementmörtelschicht wirtschaftlich auszukleiden sind. Wie bereits erwähnt, hat sich das gleiche System auch beim 2,4 km langen Hachinger Stollen erfolgreich bewährt.