



Pfaffinger

Sanierung eines Trinkwasserstollens durch Einzug eines PE-Liners

Um den Trinkwasserbedarf von 1,4 Millionen Menschen ökologisch und verantwortungsbewusst zu decken, haben Stadt und Stadtwerke München im Laufe der Jahrzehnte drei Versorgungsgebiete aus dem Voralpenland erschlossen. Mehrere unterirdische Zubringerleitungen liefern jeden Tag Frischwasser aus den Gewinnungsgebieten in drei Hochbehälter im Süden der Stadt. Bei einer dieser Zubringer, einer 85 Jahre alten Stollenleitung, erfolgte aus wirtschaftlichen und hydraulischen Gründen eine Rohrleitungsrenovierung mittels Rohrstrang-Relining im Kaltverfahren.

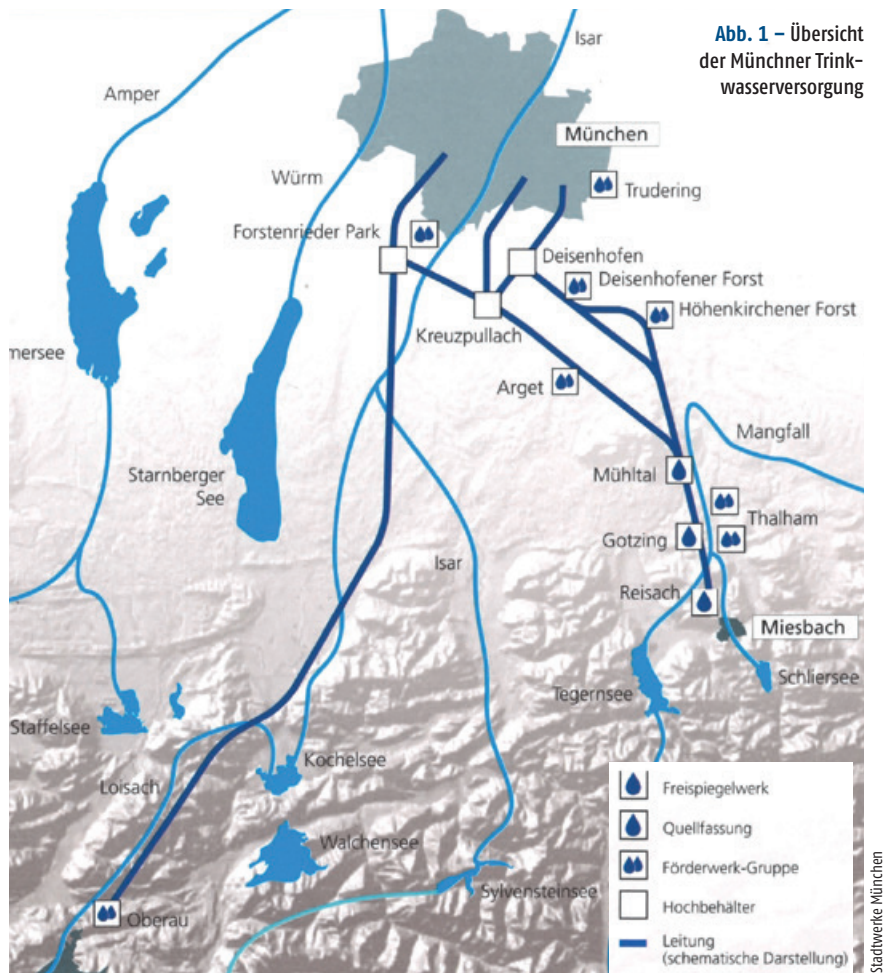


Abb. 1 – Übersicht der Münchner Trinkwasserversorgung

Stadtwerke München

WERKSTOFFKENNWERTE DER VERWENDETEN ROHRE

Dichte:	959 kg/m ³ nach ISO 1183
Schmelzindex:	0,25 g/10 min nach ISO 1133
Zugspannung:	250 N/mm ² – Kurzzeit nach ISO 527-2
E-Modul:	1100 N/mm ² – Kurzzeit nach ISO 527-2

Durch mehrere unterirdische Zubringerleitungen werden jeden Tag ca. 300.000 m³ an frisch gewonnenem Wasser aus den Gewinnungsgebieten in die drei Hochbehälter geleitet. Sowohl die Gewinnungsanlagen als auch die Wasserleitungen sind redundant aufgebaut, sodass sie sich jederzeit gegenseitig ersetzen können. Ein möglicher Ausfall einer Anlage kann kurzfristig durch eine Anlage an anderer Stelle aufgefangen werden – Eine sichere Versorgung ist damit jederzeit gewährleistet [1].

Historie der Zubringerleitung Thalham-Kreuzpullach

Die 1924 in Angriff genommene Leitung Thalham-Mühltal hatte zur damaligen

Zeit eine sehr hohe Priorität, da das Mangfalltal mit der Gotzinger und Reischer Fassung nur über eine einzige Transportleitung mit München verbunden war. Die Planung einer neuen Leitung zum Standort des ebenfalls neu zu planenden Hochbehälters Kreuzpullach beruhte auf zwei Leitungsabschnitten: einer Verbindung Thalham-Mühltal und ab Mühltal eine Zuleitung zum neu zu erstellenden Hochbehälter Kreuzpullach. Bei beiden Stollenabschnitten, Thalham-Mühltal und Mühltal-Kreuzpullach, erfolgte zwischen 1928 und 1930 der Stollenausbau mit der Kunzschens Tunnelausrüstung [2].

Bei der zu sanierenden Stollenleitung, der heutigen ZW 3, handelt es sich um einen ca. 85 Jahre alten, maulprofilähn-

lichen, unbewehrten Betonkanal mit den lichten Abmessungen B x H = 1.700 x 1.800 mm. Die Wanddicken betragen ca. 30 cm. Das Wasser fließt in der Stollenleitung drucklos, mit freiem Wasserspiegel und einem Gefälle von lediglich 0,4 ‰ in Richtung München.

Bisherige Reparaturmaßnahmen

Mittlerweile waren an verschiedenen Stellen der inzwischen über 80 Jahre alten Zubringerleitung leichte Undichtigkeiten aufgetreten, die Wassereinträge in den Stollen zur Folge hatten. Um eine mögliche mikrobiologische Belastung des Trinkwassers sicher zu verhindern, wurden die undichten Stellen im Jahr 2012 mit Innendichtmanschetten als temporäre Maßnahme abgedichtet.

Auswahl eines geeigneten Sanierungsverfahrens

Zur Sanierung von Rohr- und Stollenleitungen im Bereich der Trinkwasserversorgung steht gemäß DIN EN 13689 [3] eine Reihe von verschiedenen Verfahren zur Verfügung.

Aus wirtschaftlichen und hydraulischen Gesichtspunkten fiel die Wahl auf eine Rohrleitungsrenovierung mittels Rohr-

strang-Relinig im Kaltverfahren. Der Durchmesser des PE 100-Inliners war aufgrund der Stollengeometrie auf einen Außendurchmesser von max. 1.600 mm beschränkt, die geforderte hydraulische Leistung der Rohrleitung von 2.000 l/s konnte aber problemlos eingehalten werden. Bei diesem Verfahren wird ein (dünnwandiges) PE 100-Rohr durch eine Faltmaschine gezogen und dabei so gefaltet, dass ein sogenannter „U“- oder „C“-Liner entsteht. In dieser Form wird der Liner anschließend mit Haltebänder fixiert. Das so in der Dimension reduzierte Rohr kann dann in den zu sanierenden Stollen eingezogen werden.

Vor dem Einziehen des Inliners wurden die temporären Innendichtschellen in der Stollenleitung demontiert, um einen möglichst großen und gleichmäßigen Querschnitt für den Inliner zu erhalten. Ebenso wurden vorhandene Sohlablagerungen und Kalkaussinterungen vollständig entfernt. Auch nach der Sanierung bleibt das Freispiegelsystem erhalten.

Nachdem die grundsätzliche Entscheidung für das Sanierungsverfahren gefallen war, wurde die Maßnahme für einen „Pilot-Abschnitt“ mit einer Länge ca. 500

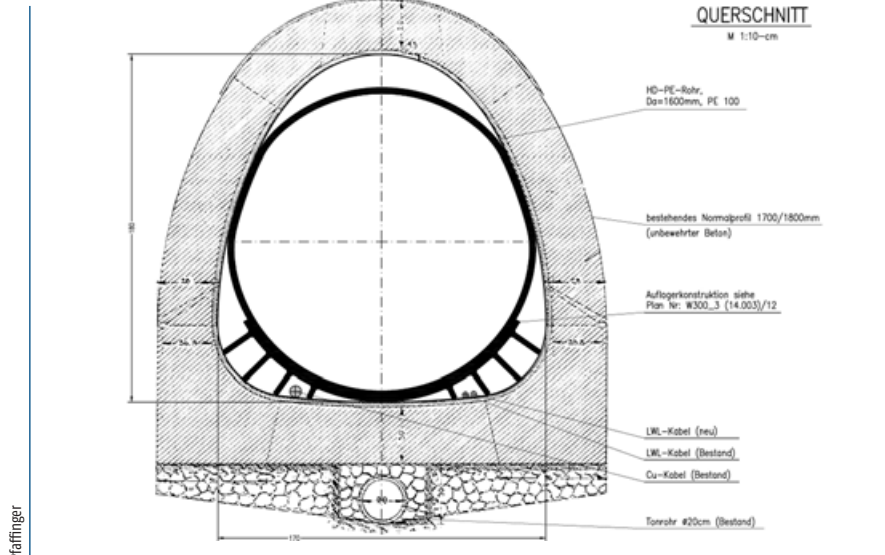


Abb. 2 – Querschnitt des Stollens mit eingezogenem und rückverformtem PE-Inliner DN 1600

m von den Stadtwerken öffentlich ausgeschrieben. Aus dieser Ausschreibung ging die Fa. Pfaffinger GmbH mit Sitz in Passau als Auftragnehmer hervor.

Die Baumaßnahme wurde über die beiden Baubetriebspunkte Birkmoos und Steinbach abgewickelt. Dort wurde die Stollenleitung freigelegt und entspre-

chend der vorgegebenen Länge ausgebaut. Der Zugangsschacht befand sich am Baubetriebspunkt Steinbach, hier wurde die südliche Sicherungsmanschette mit dem Einzugs widerlager kombiniert.

In den Aufschlussbohrungen Steinbach wurde in den durchgängigen tonigen Schichten kein Grund- oder Schichten-



Abb. 3 – Verbaute Baugrube am Zielschacht



Abb. 4 – Die Herstellung der Schweißverbindungen erfolgte im Heizelement-Stumpfschweißverfahren.

■ EINZELDRUCKPRÜFUNG DER SCHWEISSNÄHTE NACH DIN EN 1610

Prüfmedium:	Luft
Prüfdruck:	1 bar
Prüfdauer:	5 min
Zul. Druckabfall:	50 mbar
Anzahl der Nähte:	32
Druckabfall durchschnittlich:	6 mbar

wasser festgestellt, sodass dort eine offene Baugrube vorgesehen war. Der Einbringschacht wiederum wurde am Baubetriebspunkt Birkmoos errichtet. Bei den Aufschlussbohrungen Birkmoos wurde in den inhomogenen Bodenschichten (Ton/Sand/Kies) Grund- bzw. Schichtenwasser angetroffen. Deshalb wurde dort hangseitig ein Verbau der Baugrube (Bohlträgerverbau) vorgesehen.

Rohrwerkstoff und Herstellung der Rohre

Die Herstellung der Rohre da 1.600 x 30,2 mm erfolgte nach DIN 8074/75 im Werk Bad Hall der AGRU Kunststofftechnik GmbH. Als Rohrwerkstoff kam BorSafe HE3490-LS schwarz zum Einsatz. Es han-

formen der Rohrenden, was wiederum zu Problemen beim Stumpfschweißen geführt hätte. Um von Anfang an eine Verunreinigung der Rohre zu unterbinden, wurden die Rohrenden außerdem mit einer sehr stabilen PE-Folie verschlossen. Mit eingebauten Stützringen und verschlossenen Rohrenden wurden die Rohre dann für den termingerechten Transport zwischengelagert.

Schweißverbindungen

Für die Verbindungen der angelieferten Einzelrohre (ã 14,0 m) wurde das Heizelement-Stumpfschweißverfahren gemäß DVS 2207-1 eingesetzt. Die eingesetzte Schweißmaschine war eine hydraulische 4-Ring-Maschine, mit der Rohre bis zu einem Außendurchmesser von 1.600 mm verschweißt werden können. Die Maschine besteht aus einem Grundgestell mit den vier Spannringen und einer hydraulischen Bewegungseinheit, Hobel, Heizelement sowie der Hydraulikpumpe mit manueller Bedienung.

Grundsätzlich erfolgt das Schweißen von Rohren mit großem Durchmesser genauso wie bei kleineren Durchmessern – allerdings ist der Aufwand in Folge der Abmessungen und des Gewichtes doch

Undichtigkeiten und Wassereinträge an der über 80 Jahre alten Zubringerleitung machten eine umfassende Sanierung notwendig. ‹‹

delt sich hierbei um ein bimodales PE 100: Der Werkstoff eignet sich besonders gut für die Herstellung großer Durchmesser, da es bei der Herstellung ein so genanntes „low sagging“-Verhalten aufweist. Diese bedeutet, dass der Werkstoff im plastischen Zustand innerhalb der Düse und Kalibrierung wenig dazu neigt, entsprechend der Schwerkraft nach unten zu fließen. Mit Werkstoffen, deren Eigenschaften nicht entsprechend optimiert sind, können keine gleichmäßigen Wanddicken bei großen Rohrdurchmessern erzeugt werden. Weiterhin weist der Werkstoff eine Trinkwasser-Eignung auf. Die bisherigen Erfahrungen mit dem verwendeten Werkstoff haben gezeigt, dass die Lebensdauer von mind. 50 Jahren sichergestellt ist. In der DIN 8074-75 wird dieser Zeitraum sogar auf 100 Jahre erweitert.

Nach der Herstellung der Rohre wurde in die Rohrenden jeweils ein Stahl-Stützring eingebaut. Dieser verhindert das Ver-

unvergleichlich höher. So ist z. B. für jeden Arbeitsschritt ein Hebezeug erforderlich – für die Schweißungen waren immer drei bis vier Arbeitskräfte sowie ein Bagger im Einsatz, der Vorgang selbst fand in einem Schweißzelt statt. Für die Vereinfachung des Handlings hatte die Fa. Pfaffinger hydraulisch verstellbare Rollenböcke im Einsatz, so konnten die Einzelrohre vor dem Schweißvorgang ausgerichtet werden. Der beim Stumpfschweißen innen und außen entstehende Schweißwulst wurde direkt nach dem Schweißen (vor dem Falten) entfernt.

Eine Besonderheit der Baustelle war, dass durch die sehr beengten Platzverhältnisse praktisch kein Lagerplatz für die angelieferten Rohre vorhanden war; lediglich drei bis vier Rohre konnte zwischengelagert werden. Somit erfolgte die Anlieferung tageweise „just in time“ vom ca. 180 km entfernten Rohrwerk in Oberösterreich. →

Frank
1/3 Seite



Pfaffinger

Abb. 5 – Auflagerschalen und Zugseil für den Einzug der gefalteten PE-Rohre

Vorbereitung des Stollens/ Herstellen des Rohrauflegers

Für die Vorbereitung des Einzuges musste der Stollen zunächst untersucht und bearbeitet werden. Um eventuell vorhandene Dimensionsabweichungen festzustellen, wurde z. B. eine Kalibrierung der Stollen-

leitung durchgeführt. Zur späteren Lage-sicherung des Inliners erfolgte vor Bau-beginn die Montage von Auflagerschalen aus Stahl im Abstand von jeweils 4,00 m.

Um darüber hinaus die Standsicherheit des PE-Rohres 1600 x 30,2 beurteilen zu können, wurde unter Berücksichtigung

der vorhandenen Materialparameter und den Lasten aus verschiedenen Füllstän-den von 10 bis 100 % die Standsicher-heit des Liners untersucht.

Die Berechnungen erfolgen unter Zu-grundelegung von linearen Material-gesetzen.

Die Abbildung der Einbausituation er-folgt auf Grundlage der Rahmen- und Randbedingungen als dreidimensiona-les, finites Elementnetz. Alle Simulations-ergebnisse bestätigten die Notwendig-keit der Auflagerschalen.

Falten des Rohrstranges und Einzug

Das kreisrunde PE-Rohr 1.600 x 30,2 wurde vor dem Einschub bzw. Einzug in den Stollen gefaltet. Hierfür kam eine aus zwei separaten Modulen bestehende Falt-anlage zum Einsatz: Im Pipe-Pusher grei-fen Klemmbacken das zu faltende PE-Rohr. Die in der Schubvorrichtung angeord-neten Fahrzylinder schieben das geklemmte Rohr voran. An diese Anlage anliegend befindet sich die Falteinheit. Hier wird das PE-Rohr ohne Hinzugabe von Wärme mechanisch gefaltet, zusätzlich montierte Spannbänder sichern die Form des Liners. Das C-förmig verformte Rohr konnte so in die bestehende Stollenleitung eingeschoben bzw. eingezogen werden. Besonders wichtig hierbei war die Kommunikation



Pfaffinger

Abb. 6 – Detailaufnahme der verwendeten Falteinlage

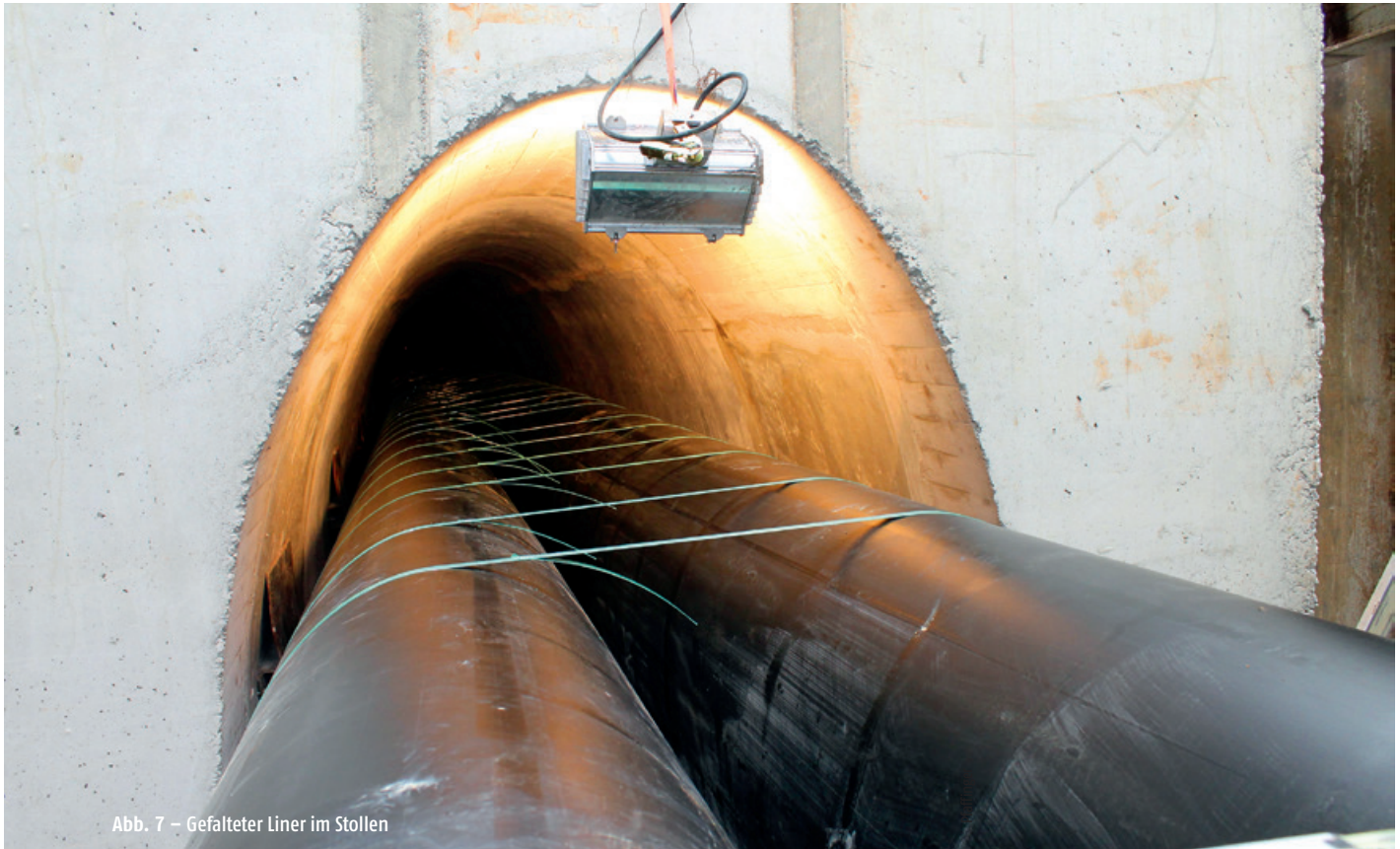


Abb. 7 – Gefalteter Liner im Stollen

Der Aufbau des zuvor gefalteten Liners in der Stollenleitung « erfolgte mit 2,5 bar Wasserdruck. Hierzu wurde der gesamte, rund 470 m lange Sanierungsabschnitt druckdicht verschlossen und anschließend mit Wasser gefüllt.

zwischen Rohreinschub- und Rohreinzugstation. Dadurch konnte die gleichmäßige Bewegung des Rohrstranges im Stollen erreicht werden.

Auftretende Kräfte und Rückverformung

Die für diese Rohrdimension zulässigen Zug- und Schubkräfte liegen bei 150 bzw. 300 t, gleichwohl war für die Einbringung des Rohres nur ein Bruchteil dieser Werte tatsächlich erforderlich: Der Rohreinzug erfolgte mit lediglich 25 t, unterstützend

wurde mit 50 t geschoben. Während der gesamten Arbeiten wurden die zulässigen Einzugs- und Einschubkräfte permanent überwacht, um eine Beschädigung des Liners zu verhindern.

Nach dem Abschluss des Rohreinzugs nahmen die Mitarbeiter der Fa. Pfaffinger die Rückverformung des gefalteten Rohrstranges vor, dieser Arbeitsschritt erfolgte durch das Aufbringen von Wasserdruck: Nachdem die Rohrenden druckdicht verschlossen und der 470 m lange Abschnitt mit Wasser gefüllt worden war, baute sich

der Liner durch langsames und kontrolliertes Erhöhen des Wasserdrucks auf 2,5 bar auf und legte sich an die Form der Stollenleitung an.

Besonderheiten

Aufgrund der Platzverhältnisse und der erforderlichen Sicherungsmaßnahmen war es bei der Baumaßnahme nicht möglich, den Rohrstrang in einem Stück auszulegen. Vom geplanten Stranglining ausgehend, wurde dann doch das Einzelrohrlining eingesetzt. Bei der ge- ➔

Meier Anzeige
1/8 Seite quer

wählten Rohrdimension und dem erforderlichen kalten Verformen der Rohre war es die erste Maßnahme überhaupt, die auf diese Art und Weise erfolgreich in eine bestehende Rohrleitung eingebaut wurde. Weiterhin musste eine Lageabweichung der Stollenleitung durchfahren werden; hierbei galt es, ein Verdrehen des Stranges zu verhindern.

Anschluss an Bestand

Nach dem erfolgreichen Einzug des PE-Liners musste zwischen dem bestehenden Stollenprofil DN 1700/1800 und dem PE-Inlinerrohr da 1600 als Lückenschluss eine Verbindung hergestellt werden. Dies wurde an den beiden Trennstellen Schacht Birkmoos und Schacht Steinbach durchgeführt

Der PE-Inliner wurde hierfür durch ein FF-Stück DN 2000 aus Stahl, das am Stollenportal befestigt wurde, geführt und mittels einem LinerGrip DN 2000/1600 zentriert. Im Anschluss daran wurde die Verbindung zum Stahlrohr DN 1600 mit einem LinerGrip DN 1600 mit Vorschweißflansch hergestellt. Um die Stabilität des PE-Rohres im Übergangsbereich zu gewährleisten, erfolgte zusätzlich der Einbau einer Stützhülse aus Stahl. Nachdem auf das Stahlrohr ein Vorschweißflansch angeschweißt wurde, konnte die Verbindung mit dem LinerGrip hergestellt werden. Der Lückenschluss an die bestehende Stollenleitung wurde mit einer Übergangsplatte auf ein Stahlrohr DN 1600, die am Stollenportal druckdicht befestigt wurde, hergestellt.

Bauüberwachung, Abnahme und Wiederinbetriebnahme

Eine Baumaßnahme mit der vorhandenen Komplexität bedarf neben einer gewissenhaften Bauplanung auch einer ständigen Bauüberwachung und einer regelmäßigen Kommunikation zwischen allen Beteiligten. Sowohl die ständige Bauüberwachung als auch wöchentlich abgehaltene Baustellen-Jour-fixe wurden vor diesem Hintergrund durch die Planungsabteilung der SWM geleistet.

Ein wesentlicher Punkt bei der Realisierung der Baumaßnahme war darüber hinaus das Heizelement-Stumpfschweißen der PE-Rohre DN 1600 und die anschließende Prüfung der Schweißnähte nach DVS 2202-1/2207-1. Vor dem Schweißvorgang wurden hierfür folgende Parameter geprüft:

- Schweißparameter/-protokoll (in Abhängigkeit der Wanddicke),
- Wanddickenüberprüfung,

- Bewegungsdruck der Maschine,
- Versatz der Fügeflächen max. 3 mm,
- Randkerben im Grundwerkstoff längs oder quer,
- Risse.

Unmittelbar nach dem Schweißen der Naht:

- Vor dem Entfernen der Schweißwulst
- Gleichmäßige Wulstausbildung ($b1 > 07 \times b2$)
- Auffälligkeiten des Schweißwulstolumens
- Nach dem Entfernen der Schweißwulst
- Wulstkerben
- Poren und Fremdeinschlüsse
- Mindestwandstärke der verbleibenden Schweißnaht
- Dokumentation/Prüfbericht für jede Naht

Abschließend kann festgehalten werden, dass alle Nähte die Prüfung bestanden haben.

Die Desinfektion des PE-Inlinerstranges mit Natriumhypochlorit wurde im eingebauten Zustand vom Personal der Stadtwerke mittels Sprühwagen vor dem Schließen der Leitungslücken in den Schächten durchgeführt.

Zusammenfassung

Im Herbst 2014 konnte auf einem ca. 500 m langen Teilstück einer Zubringerwasserleitung der Stadtwerke München GmbH ein Relining mit einem PE 100-Rohr da 1600 im Kaltverfahren erfolgreich durchgeführt werden. Aufgrund der bisher größten Rohrdimension, die je mit diesem Verfahren realisiert wurde, waren im Vorfeld eine Reihe von komplexen Berechnungen und Vorversuchen nötig, um eine sichere Grundlage für die Sanierung zu schaffen. Speziell der Kaltvorgang, die Überwindung einer Biegung von ca. 25° nach 170 m Rohrleitungsstrecke und das Rückverformen des gefalteten Rohres stellen für alle Beteiligten große Herausforderungen dar.

Gegenüber dem ursprünglichen Konzept wurden während der Baudurchführung einige Modifikationen vorgenommen. Hierzu zählen die Umstellung auf das Taktverfahren (Einzelrohrverfahren) anstatt Auslegen des gesamten Rohr- bzw. Linerstranges, die Verlagerung der Schweiß-, Kalt- und Schubanlage direkt vor die Stollenöffnung, die Einzeldruckprüfung der Schweißnähte nach DIN EN 1610 anstatt einer Wasserdruckprobe am ausgelegten Strang sowie die Unterstüt-

zung des Rohreinzugs mit einer Schubvorrichtung (Pusher).

Als problematisch stellten sich in erster Linie das Verdrehen des gefalteten Inliners bei Einziehen in den Kurvenbereich und das Zerreißen der Spannbänder beim Überschieben über die Stahlaufleger heraus. Nach der Wasserfüllung des Rohres mit 2,5 bar wurde zudem kein vollständiges Rückstellen des gefalteten PE-Inliners in eine kreisrunde Form erreicht. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass sich diese Rückstellung im Laufe der Zeit bei der Wasserfüllung des Rohres von selbst einstellt.

Letzten Endes konnte die Baumaßnahme trotz der beschriebenen Komplikationen durch die konstruktive Mitwirkung aller Beteiligten erfolgreich abgeschlossen werden. Die gewonnenen Erfahrungen auf dem Pilotabschnitt bilden die Grundlage für die weiteren Sanierungsabschnitte.

Die durchgeführte Sanierung erfüllt neben der hydraulischen Leistungsfähigkeit von ca. 2.000 l/s auch die Dichtheit und die dauerhafte Sicherstellung der Hygiene in dem Trinkwasserstollen.

Literatur

- [1] Broschüre M/Wasser Stadtwerke München, 2014
- [2] Hundert Jahre Münchner Wasserversorgung 1883-1983, Stadtwerke München, 1983
- [3] DIN EN 13689, Beuth-Verlag 2003
- [4] DIN 8074/75
- [5] DVGW-Arbeitsblatt GW 320-2, 06/2000

Autoren

Thomas Kühlmann
SWM Services GmbH
Emmy-Noether-Str. 2
80992 München
Kuehlmann.Thomas@swm.de
www.swm.de

Jochen Obermayer
Frank GmbH
Starkenburgerstr. 1
64546 Mörfelden-Walldorf
j.obermayer@frank-gmbh.de
www.frank-gmbh.de

Franz Meier
Franz Schaffarczyk
Josef Pfaffinger Bauunternehmung GmbH
Wiener Str. 35
94032 Passau
f.meier@pfaffinger.com
f.schaffarczyk@pfaffinger.com
www.pfaffinger.com

