

Sanierung einer Trinkwasserleitung DN 1500 mit einem PE 100 Linerrohr durch Sublining

Renovation of a drinking water pipeline DN 1500 with a PE 100 liner pipe by means of sublining

Dipl.-Ing. (FH) Werner Ganter, Zweckverband Landeswasserversorgung, Stuttgart; Dipl.-Ing. (FH) Jochen Obermayer, FRANK GmbH, Mörfelden; Dipl.-Ing. (FH) Marco Schönteich, Institut für Kunststoffe, TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Filderstadt

Zusammenfassung

Erstmals wurde eine Spannbetondruckleitung der Nennweite DN 1500 mit einem PE 100-Inliner saniert. Eine besondere Herausforderung bestand darin, dass die Druckleitung nur maximal 4 Tage außer Betrieb genommen werden konnte. Andere Sanierungsverfahren schiedен aus Kostengründen ebenso aus wie der Neubau in Form einer Parallelleitung. Nach eingehender Prüfung und hydraulischer Untersuchungen im Hinblick auf das Verhalten des PE 100-Inliners bei instabilen Strömungsvorgängen und Abwägen der wirtschaftlichen Gesichtspunkte und möglicher Risiken fiel die Wahl auf ein Sanierungsverfahren mittels PE 100-Inliner. Die Sanierung erforderte umfangreiche Vorversuche und eine sorgfältige Vorbereitung. Trotz der großen Nennweite verlief die Sanierung überaus zufriedenstellend.

Summary

For the first time, a prestressed concrete pressure pipeline with a nominal width of DN 1500 was renovated with a PE 100 inliner. One particular challenge resulted from the fact that the pressure pipeline could be shut down for only four days at most. Other renovation processes were ruled out for cost-related reasons, as was the construction of a new parallel pipeline. A renovation process using a PE 100 inliner was chosen after detailed examination and hydraulic investigations with regard to the behaviour of the PE 100 inliner during unstable flow operations and after the appraisal of the economic aspects and of any possible risks. The renovation necessitated comprehensive preliminary tests and careful preparation. In spite of the large nominal width, the renovation proceeded in an absolutely satisfactory form.

1. Einleitung

Die Landeswasserversorgung (LW) ist eines der ältesten Fernwasserversorgungsunternehmen Deutschlands. Das Unternehmen wurde im Jahr 1912 gegründet, die ersten Anlagen gingen bereits 1917 in Betrieb. Heute ist die LW für die zuverlässige und sichere Versorgung von rund 250 Städten und Gemeinden mit jährlich mehr als 90 Millionen Kubikmetern Trinkwasser verantwortlich.

In den Jahren 1967 bis 1974 wurde die dritte und mit bis zu 3.000 Litern/Sekunde wichtigste Hauptleitung mit einer Länge von 84 Kilometern vom Wasserwerk Langenau über die Schwäbische Alb und dem Filstal in Richtung Mittlerer Neckarraum gebaut. Es wurden hauptsächlich stumpfgeschweißte Stahlrohre eingesetzt, lediglich in Abschnitten mit geringem Druck wurden auf insgesamt 9 km Spannbetonrohre der Nennweite 1500 mit fünf Meter Länge und Muffendichtung eingesetzt. Nach etwa 20 Jahren Betrieb wurde festgestellt, dass die Rollgummidichtungen in den Muffenverbindungen versprödet waren und es zu erheblichen Wasserverlusten > 20 L/S kam. Erste Versuche, diese Verluste durch den Einsatz von Innendichtmanschetten an

	Dipl.-Ing. (FH) Werner Ganter Autorenprofil: Author profile: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202411 www.joining-plastics.info/?id=202411 Ganter.W@lw-online.de
	Dipl.-Ing. (FH) Jochen Obermayer Autorenprofil: Author profile: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202412 www.joining-plastics.info/?id=202412 J.Obermayer@frank-gmbh.de
	Dipl.-Ing. (FH) Marco Schönteich Autorenprofil: Author profile: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202413 www.joining-plastics.info/?id=202413 Marco.Schoenteich@tuev-sued.de

den Muffen einzudämmen, waren nur kurzzeitig erfolgreich und stellten keine dauerhafte Lösung dar.

2. Entscheidung für das Subline-Verfahren

Von der LW wurden im Vorfeld verschiedene Sanierungsverfahren verglichen und bewertet. Folgende Anforderungen wurden an das Sanierungsverfahren gestellt:

- Nutzen des vorhandenen Altrohres als tragfähiger Mantel,
- hohe Verlegeleistung, da eine länge-

genau via the Schwäbische Alb region and the Filstal valley towards the Central Neckar region was built between 1967 and 1974. Butt-welded steel pipes were mainly utilised. Prestressed concrete pipes with a nominal width of DN 1500, a length of 5 m and socket sealing were utilised over 9 km in total merely in sections with a low pressure. After about 20 years of operation, it was identified that the rolled rubber seals in the socket-and-spigot joints had become brittle, thus leading to substantial water losses > 20 l/s.

Initial attempts to stem these losses by utilising internal sealing sleeves on the sockets were successful for a short time only and did not constitute any permanent solution.

2. Decision in favour of the subline process

LW compared and assessed various renovation processes in advance. The following requirements were set on the renovation process:

- utilisation of the existing old pipe as a load-bearing shell
- high laying productivity since the pipeline could not be shut down for a lengthy period (four days at most)
- it was necessary to satisfy require-

1. Introduction

Landeswasserversorgung (LW) is one of the oldest district water supply companies in Germany. The company was founded in 1912 and the first installations commenced operation as early as 1917. Today, LW is responsible for the reliable and safe supply of around 250 municipalities and local authorities with more than 90 million cubic metres of drinking water per year.

The third and, with up to 3,000 l/s, most important main pipeline with a length of 84 km from the waterworks in Lan-



Bild 1: Versorgungsgebiet der Landeswasserversorgung (Grafik LW)

Fig. 1: Supply area of Landeswasserversorgung (graphics: LW)

re Außerbetriebnahme der Leitung (maximal 4 Tage) nicht möglich ist, – Anforderungen hinsichtlich der Trinkwasserhygiene mussten eingehalten werden, – hohe Lebenserwartung von Material und Gesamtsystem, – Kostenvorteil gegenüber Neubau und gegenüber der bisherigen Sanierungsvariante, – einzelne Sanierungsabschnitte mit Teillängen bis zu 1000 Meter durchführen zu können, – sichere Anbindung zur bestehenden Altleitung an den Übergangsstellen, – Einsatz in Kurvenradien möglich (die zu sanierenden Abschnitte hatten Kurvenradien von bis zu $r = 250$ m), – Erhalt der Schachtsysteme für Be- und Entlüftung sowie Entleerung. Die Tatsache, dass die Spannbetonrohre statisch noch funktionsfähig sind und den Innendruck voll aufnehmen können, sprach neben den wirtschaftlichen Vorteilen für die Sanierung mit einem PE-100-Inliner, der auf dem gesamten sanierten Abschnitt als vollflächige Auskleidung die Dichtwirkung sicherstellt. Die bisherigen Erfahrungen mit dem Werkstoff PE 100 haben gezeigt, dass eine Lebensdauer > 50 Jahren realistisch ist. Damit konnte auch die Wirtschaftlichkeit gegenüber anderen Verfahren, oder einem Neubau, nachgewiesen werden. Für den Einzug des Inliners wurde das Subline-Verfahren gewählt. Bei diesem Verfahren wird ein zuvor über die gesamte Einziehlänge vorgefertigter PE-100-Inliner über eine Falmmaschine gezogen, dabei C-förmig axial zusammen-

gerollt und anschließend in dieser Form über Haltebänder fixiert. Der dann in seiner Dimension reduzierte Inliner kann anschließend leicht in das zu sanierende Rohr eingezogen werden. Details hierzu finden Sie unter <http://www.ludwigpfeiffer.com/pdf/ansicht.htm?deutschland/subline>. Nach der Entscheidung für das Subline-Verfahren wurde mit der Sanierung des ersten Abschnittes (mit den höchsten Wasserverlusten) im Herbst 2006 östlich von Lonsee-Halzhäusern (Alb-Donau Kreis) mit einer Länge von 540 Metern und einem Kurvenradius von 250 Metern begonnen. Im Vorfeld des Einziehvorganges wurden die Rohre verschweißt und die Baugruben für den Einzug vorbereitet. Für den Einziehvorgang wurde die Altleitung an zwei Stellen geöffnet. Die hydraulisch betriebene Zugvorrichtung bestand neben dem Widerlager aus einer 550 Meter langen Zugkette, welche ein ruckfreies Einziehen ermöglichte. Der Einziehvorgang konnte nach nur 6,5 Stunden erfolgreich abgeschlossen werden. Dabei musste eine max. Zugkraft von 416 kN erbracht werden, welche deutlich unter der maximal zulässigen Einzugskraft von 1.111 kN lag.

3. Rohrwerkstoff und Herstellung der Rohre/ des Stützens

Die Herstellung der Rohre d_a 1480 x 24,3 mm erfolgte nach DIN 8074 / 75 im Werk Bad Hall der AGRU Kunststofftechnik GmbH. Als Rohrwerkstoff kam ELTEX® TUB 121 N3000 Black der Innovene (Solvay) zum

- safe connection to the existing old pipeline at the interface points
- utilisation possible in curve radii (the sections to be renovated had curve radii up to $r = 250$ m)
- retention of the shaft systems for ventilation and emptying
- long service life of the material and the overall system
- cost advantage compared with the construction of a new pipeline and compared with the renovation variant applied until now
- ability to carry out individual renovation sections with partial lengths up to 1,000 m

The fact that the prestressed concrete pipes can still function as far as the statics are concerned and can absorb the total internal pressure was, in addition to the economic advantages, one factor in favour of the renovation with a PE 100 inliner which ensures the sealing effect in the entire renovated section as cladding over the complete area. The experience gathered with the PE 100 material until now has shown that a service life > 50 years is realistic. Thus, it was also possible to prove the economic viability compared with other processes or with the construction of a new pipeline. The subline process was chosen for the pulling-in of the inliner. In the case of this process, a PE 100 inliner which has been prefabricated over the entire pulling-in length beforehand is pulled via a folding machine, is rolled together axially in a C-shape in this respect and is subsequently fixed in this shape



Bild 2: Herstellen des Rohrstranges (Anschweißen des Zugkopfes)

Fig. 2: Manufacture of the pipe train (welding-on of the pulling head)



Bild 3: Herstellen des Rohrstranges (Anschweißen des Zugkopfes)

Fig. 3: Removal of the inside bead with germ-free equipment



Bild 4: Geschweißter Inliner mit Anschluss für die Druckprüfung (2007)

Fig. 4: Welded inliner with the connection for the pressure testing (2007)



Bild 5: Vorgefertigter Rohrstrang im Krümmungsradius der Leitung (2006)

Fig. 5: Prefabricated pipe train in the curvature radius of the pipeline (2006)

Einsatz. Es handelt sich hierbei um ein PE 100 in Übereinstimmung mit der ISO 12162 basierend auf den Analysen der ISO 9080. Der Werkstoff eignet sich besonders gut für die Herstellung großer Durchmesser, da er bei der Herstellung ein so genanntes „low sagging“-Verhalten aufweist. Dies bedeutet, dass der Werkstoff im plastischen Zustand innerhalb der Düse und Kalibrierung wenig dazu neigt, entsprechend der Schwerkraft nach unten zu fließen. Mit Werkstoffen, bei denen diese Eigenschaft nicht optimiert ist, können keine gleichmäßigen Wanddicken bei großen Rohren erzeugt werden. Weiterhin weist der Werkstoff eine Trinkwasser-Eignung auf. Hier einige ausgesuchte Werkstoffkennwerte:

- Dichte
959 kg/m³ nach ISO 1183/A
- Schmelzindex
0,3 g/10 min nach ISO 1133

- Zugspannung (Kurzzeit)
25 MPa nach ISO 527-2
- E-Modul (Kurzzeit)
1100 MPa nach ISO 527-2

Der unter Abschnitt 4 beschriebene Lüfterstützen wurde ebenfalls aus PE 100 hergestellt. Hierbei wurde ein Hohlstab mechanisch bearbeitet (CNC-Fräsen), sodass ein nahtloses, homogenes Formteil entstand.

Nach der mechanischen Bearbeitung wurde die Heizwendel aus einer Nickel-Legierung in Handarbeit auf die Schweißfläche aufgebracht. Hierbei wurde auf eine bewährte Heizwendel aus dem Abwasserprogramm der FRANK-GmbH zurückgegriffen.

4. Schweißverbindungen

Für die Verbindung der angelieferten Einzelrohre wurde das Heizelement-Stumpf-Schweißverfahren gemäß DVS 2207-1 eingesetzt. Die eingesetzte

using holding strips. The inliner then has reduced dimensions and is subsequently easy to pull into the pipe to be renovated. You can find details of this at <http://www.ludwigpfeiffer.com/pdf/ansicht.htm?deutschland/subline>.

After the decision in favour of the subline process, the renovation of the first section (with the highest water losses) with a length of 540 m and a curve radius of 250 m was begun in autumn 2006 to the east of Lonsee-Halzhausen (Alb-Donau district).

In advance of the pulling-in operation, the pipes were welded together and the construction pits prepared for the pulling-in.

For the pulling-in operation, the old pipeline was opened at two positions. The hydraulically operated pulling device consisted not only of the abutment but also of a 550 m long tension chain which permitted jerk-free pulling-in.

It was possible to successfully conclude the pulling-in operation after just 6.5 h. In this respect, it was necessary to produce a maximum tensile force of 416 kN which was considerably below the maximum permissible pulling-in force of 1,111 kN.

3. Pipe material and manufacture of the pipes / connection piece

The pipes d_a 1,480 x 24.3 mm were manufactured according to DIN 8074/75 in the Bad Hall factory of AGRU Kunststofftechnik GmbH.

ELTEX™ TUB 121 N3000 Black der Innovene (Solvay) was utilised as the pipe material. This is a PE 100 in conformity with ISO 12162 on the basis of

the analyses in ISO 9080. The material is particularly suitable for the manufacture of large diameters since it exhibits so-called "low-sagging" behaviour during the manufacture. This means that, in the plastic state within the nozzle and calibration, the material has little inclination to flow downwards according to gravity. In the case of materials with which this property is not optimised, it is not possible to produce any uniform wall thicknesses for large-diameter pipes. Furthermore, the material is suitable for drinking water.

Here, a few selected material parameters:

- density
959 kg/m³ according to ISO 1183/A
- melt index
0.3 g / 10 min according to ISO 1133
- tensile stress (short time)
25 MPa according to ISO 527-2
- modulus of elasticity (short time)
1,100 MPa according to ISO 527-2

The ventilator connection piece described in Section 4 was also manufactured from PE 100. In this respect, a hollow rod was machined (CNC milling), thus resulting in a seamless, homogeneous moulding.

After the machining, the heater spiral made of a nickel alloy was applied to the welding surface in manual work. A proven heater spiral from the waste water programme of FRANK GmbH was called upon in this case.

4. Welded joints

The heated tool butt welding process according to DVS 2207-1 was used in



Bild 6: Lüftungsdom DN 600 aus Stahl mit durchgezogenem PE-Liner

Fig. 6: Ventilation dome DN 600 made of steel with the pulled-through PE liner

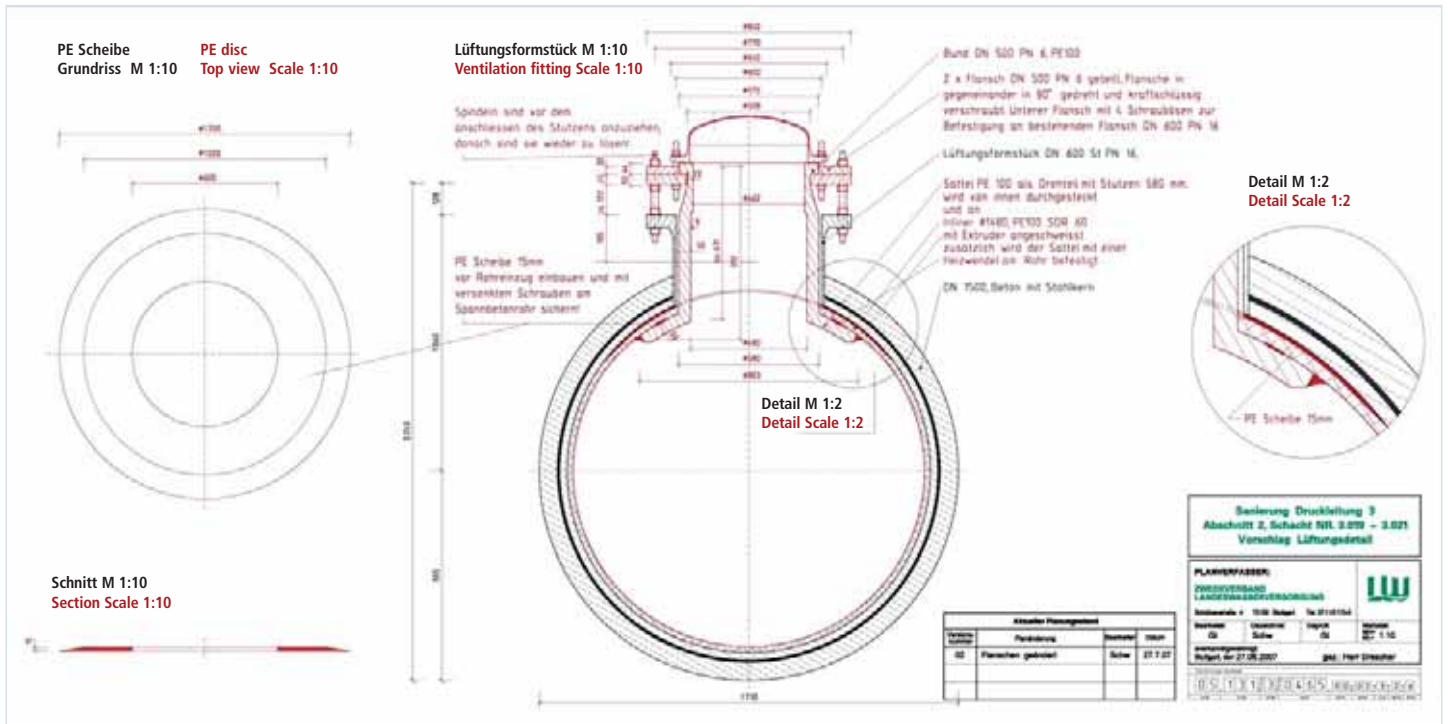


Bild 7: Detail Lüftungsdom DN 500 eingeschweißt in PE-Liner und Flanschverbindung zum Stahlrohr (Grafik LW)

Fig. 7: Detail of the ventilation dome DN 500 welded into the PE liner and of the flanged joint with the steel pipe (graphics: LW)

Schweißmaschine war eine WIDOS 16000 – eine so genannte 4-Ring-Maschine, mit der Rohre bis zu einem Außendurchmesser von 1600 mm verschweißt werden können. Die Maschine besteht aus dem Grundgestell mit den 4 Spannringen und einer hydraulischen Bewegungseinheit, dem Hobel, dem Heizelement sowie der Hydraulikpumpe mit manueller Bedienung. Das Schweißen von Rohren mit großen Durchmessern erfolgt prinzipiell genauso wie bei kleinen Dimensionen. Allerdings ist der Aufwand infolge der Größe und des Gewichts der zu bewegend Teile unvergleichbar höher. So ist für jeden Arbeitsschritt ein Hebezeug erforderlich – die Bedienung der Maschine erfolgte in der Regel durch 3 bis 4 Mann und einen Bagger für das Handling der Rohre. Auf die Problematik der Schweißparameter (Umstellzeit) infolge der Dimensionen wird unter Abschnitt 5 noch näher eingegangen. Bei der Herstellung der Schweißverbindungen zeigte sich, dass insbesondere das Einhalten des zulässigen Versatzes der Fügeflächen gemäß DVS 2202-1 zu Verzögerungen führte. In der Richtlinie ist entsprechend der Bewertungsgruppe II ein Versatz von max. 0,15 x s zulässig – in diesem Fall also 0,15 x 24,3 mm also 3,6 mm. Aufgrund der geringen Wanddicke und des großen Rohrdurch-

messers hatten die Rohre eine geringe Steifigkeit. Dies bedeutete, dass die Rohre sich allein durch das Eigengewicht bei der Lagerung verformten. Aus diesem Grund wurden im Herstellerwerk Stützringe aus Stahl in die Rohrenden eingespannt, um so die Verformung an den Rohrenden zu verhindern. Für die Herstellung der gesamten Rohrstränge von 550 Metern (Abschnitt 2006) und 840 Metern (Abschnitt 2007) Länge waren bisher über 100 Schweißnähte erforderlich. Die Rohrstränge wurden über die gesamte Länge auf Rollenböcken gelagert. Die Schweißwülste wurden auf Wunsch der LW außen und innen entfernt. Anschließend konnte die Dichtheitsprüfung mit 2 bar Druck und die Desinfektion des gesamten Rohrstranges noch vor dem Einziehen des Inliners außerhalb der zu sanierenden Leitung ausgeführt werden. Dies war einer der Gründe, weshalb die Leitungsunterbrechung auf nur 57 Stunden bei der Sanierung des Abschnittes im Oktober 2006 begrenzt werden konnte. Im zweiten Sanierungsabschnitt im Jahr 2007 war noch eine zusätzliche Herausforderung zu bewältigen. Etwa 150 Meter von der Startgrube entfernt befindet sich am Hochpunkt der Leitung ein Lüfterschacht. Innerhalb dieses großen Ortbetonschachtes war die bestehende

order to join the delivered individual pipes. The utilised welding machine was a WIDOS 16000 - a so-called four-ring machine with which pipes with outside diameters up to 1,600 mm can be welded together. The machine consists of the base frame with the four clamping rings and one hydraulic moving unit, the plane, the heated tool as well as the hydraulic pump with manual operation. In principle, pipes with large diameters are welded in exactly the same way as those with small dimensions. However, the scope of the work is incomparably higher due to the size and weight of the parts to be moved. For example, a hoist is required for each work step. As a rule, the machine was operated by three to four men with an excavator for the handling of the pipes. The problems associated with the welding parameters (changeover time) due to the dimensions are described in even greater detail in Section 5. When the welded joints were manufactured, it was shown that, in particular, the compliance with the permissible misalignment of the joining faces according to DVS 2202-1 led to delays. In the technical code, a misalignment of max. 0.15 x s is permissible corresponding to Assessment Group II, i.e. 0.15 x 24.3 mm = 3.6 mm in this case. Because of the low wall thickness and the large pipe

diameter, the pipes had a low stiffness. This meant that the pipes were deformed solely by the dead weight during the storage. For this reason, supporting rings made of steel were clamped into the pipe ends in the manufacturer's factory in order to prevent the deformation at the pipe ends in this way. Until now, over 100 welds have been necessary for the manufacture of the whole pipe trains with lengths of 550 m (section in 2006) and 840 m (section in 2007). The pipe trains were stored on roller blocks over the entire length. At the request of LW, the welding beads were removed on the outside and the inside. Subsequently, it was possible to carry out the leak test at a pressure of 2 bar and the disinfection of the whole pipe train outside the pipeline to be renovated even before the inliner was pulled in. This was one of the reasons why the pipeline interruption could be limited to just 57 h during the renovation of the section in October 2006. In the second renovation section in 2007, it was necessary to meet an additional challenge. About 150 m away from the starting pit, there is a ventilator shaft at the high point of the pipeline. Within this large cast-in-situ concrete shaft, the existing pipeline was a concrete-coated steel pipeline with a ventilation dome DN 600 (Fig. 6). Since



Bild 8: Sattelstützen DN 500 aus PE 100

Fig. 8: Saddle connection piece DN 500 made of PE 100

Leitung eine betonummantelte Stahlleitung mit einem Lüftungsdom DN 600 (Bild 6). Da der Neubau dieses Schachtes mit erheblichen Kosten verbunden gewesen wäre, wurde eine Lösung gesucht, wie der bestehende Schacht erhalten und trotzdem eine funktionierende Be- und Entlüftung der Leitung installiert werden konnte.

Eingebaut wurde schließlich ein Sattelstützen DN 500 aus PE 100, der komplett aus einem Stück spangebend hergestellt wurde (Bild 12). Da der Lüfterdom DN 600 die einzige Zugangsmöglichkeit zur Leitung über mehrere hundert Meter darstellt, der Sattelstützen aber nicht durch diese Öffnung passt, musste der Stutzen (über die Startgrube) im nächsten Hochpunkt deponiert werden. Nach dem Füllen und Runddrücken des Liners und nach der Herstellung der Bohrung DN 600 konnte der „zwischengelagerte“ Sattelstützen zu seinem Einbauort gebracht werden.

Um am Einbauort eine trockene und temperierte Atmosphäre zum Schweißen zu erzeugen, wurden im Abstand von ca. 5 m zwei Schotte aus Folie in das PE-Rohr eingebaut. Der Arbeitsraum

wurde von außen mit vorgewärmter Luft gespült. Die ursprünglich komplett nasse Rohrwand trocknete im Verlauf der Vorbereitungen zum Schweißen komplett ab. Die Luftfeuchte und die Temperatur wurden während der Schweißvorgänge wie unter Abschnitt 7 beschrieben kontrolliert.

Das Schweißen des Sattels mit dem Liner erfolgte zunächst mit einer eingelegten Heizwendel und anschließend mit einer Warmgas-Extrusionsschweißung. Der eingebaute Sattelstützen übernimmt die volle Funktionalität bei einem reduzierten Innendurchmesser auf 500 mm.

Aufgrund der aufwändigen Geometrie und der zu berücksichtigenden Betriebsdrücke bis 4,0 bar an dieser Stelle wurde von der LGA Nürnberg eine FE-Berechnung des Stutzens erstellt und die zu erwartenden Spannungen und Verformungen ermittelt.

5. Voruntersuchungen

Da es sich bei dem zuvor beschriebenen Verfahren in der vorliegenden Dimension DN 1500 um ein Pilotprojekt handelte, sollte durch Untersuchungen im Vorfeld die Machbarkeit überprüft werden.

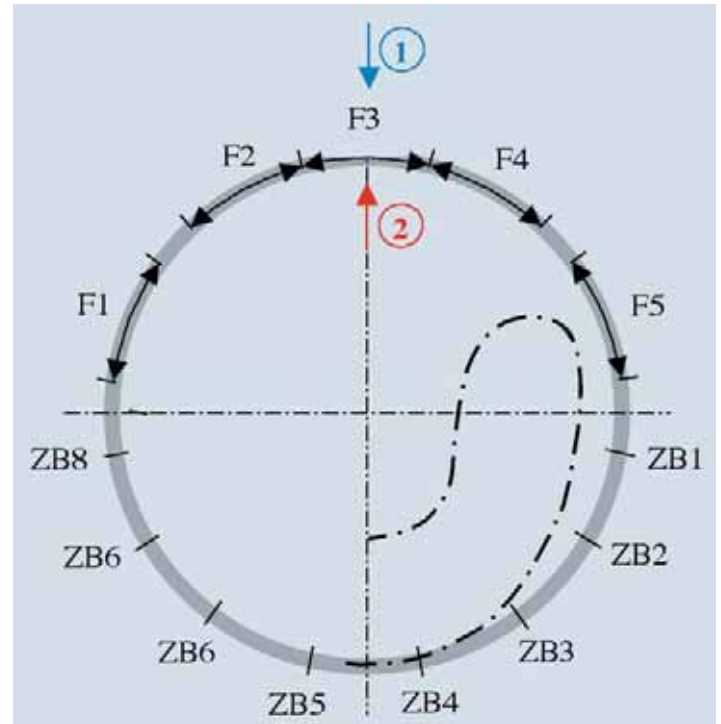


Bild 9: Probenentnahme

Fig. 9: Taking the specimens

the construction of a new shaft here would have been connected with substantial costs, a solution was sought as to how to retain the existing shaft and nevertheless install the functioning ventilation of the pipeline.

A saddle connection piece DN 500 which was made of PE 100 and was manufactured completely from one piece in a chip-producing process was finally installed (Fig. 12). Since the ventilator dome DN 600 constitutes the sole access possibility to the pipeline over several hundred metres but the saddle connection piece does not fit through this opening, the connection piece had to be deposited (via the starting pit) at the next high point. After the filling and round pressing of the liner and after the manufacture of the borehole DN 600, it was possible to bring the "intermediately stored" saddle connection piece to its installation location.

In order to produce a dry and tempered atmosphere for the welding at the installation location, two bulkheads made of film were installed in the PE pipe approx. 5 m apart. The working space was rinsed with preheated air from the outside. The inside wall of the pipe was originally completely wet and dried off completely in the course of the preparations for the welding. During the welding operations, the air humidity and

the temperature were checked in the way described in Section 7.

The welding of the saddle with the liner was initially carried out with an inserted heater spiral and subsequently with a hot gas extrusion weld. The installed saddle connection piece fulfils the full functionality with an inside diameter reduced to 500 mm.

Due to the complicated geometry and the operating pressures up to 4.0 bar to be taken into consideration at this position, LGA Nürnberg elaborated an FE calculation of the connection piece and established the stresses and deformations to be expected.

5. Preliminary investigations

Since the process described above in the existing dimension DN 1500 constituted a pilot project, the feasibility was to be checked in advance by means of investigations.

5.1 Testing of test welds and simulation of the folding operation

Test welds were produced before the beginning of the actual construction measure and were subsequently subjected to a test programme in the plastics test laboratory of TÜV SÜD. The objective of the testing of the test welds was to prove the suitability of the applied welding parameters, the suit-

5.1 Prüfung von Testnähten und Simulation des Faltvorganges

Vor Beginn der eigentlichen Baumaßnahme wurden Testnähte angefertigt und anschließend im Kunststoff-Prüflabor von TÜV SÜD einem Prüfprogramm unterzogen. Durch die Testnahtprüfung sollte die Eignung der zur Anwendung kommenden Schweißparameter, die Eignung der Schweißmaschine, sowie die Unbedenklichkeit des Faltvorgangs im Hinblick auf die Belastung der Schweißverbindungen nachgewiesen werden. Das Schweißen der Testnähte wurde unter Baustellenbedingungen durchgeführt. Die Schweißparameter wurden entsprechend der DVS Richtlinie 2207-1 [1] „Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen aus PE-HD“ gewählt (siehe Tabelle 1).

Wie sich im Zuge der Testnahtschweißung herausstellte, konnten die Vorgabeparameter nicht exakt eingehalten werden. Insbesondere die Einhaltung der Umstellzeit erwies sich als nicht realisierbar. Der Schweißspiegel musste mit Hilfe eines Kranes aus der Schweißmaschine entnommen werden. Auch bei reibungslosem Ablauf dauerte dies länger als 10 s, worin sich die gesamte Umstellzeit (Auffahren der Maschine – Schweißspiegel entnehmen – Zufahren der Maschine) von 15 bis 25 s begründet. Auch wenn die DVS-Richtlinien einen langsamen Druckaufbau vorsehen, entschied man sich dazu, die Druckaufbauzeit zu verkürzen, um der bereits

fortgeschrittenen Umstellzeit und Abkühlung im Bereich der Fügefläche Rechnung zu tragen. Wie sich durch die nachfolgenden Untersuchungen herausstellte, konnte dadurch eine einwandfreie Schweißnahtqualität erzielt werden.

Die Schweißnähte wurden zuerst visuell auf Unregelmäßigkeiten untersucht. Für die Bewertung wurden hierfür die Kriterien und Anforderungen der DVS-Richtlinie 2202-1 [2] „Fehler an Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen“, Bewertungsgruppe II, für Heizelementstumpfschweißnähte zugrunde gelegt. Die Nähte wurden insbesondere hinsichtlich des Fügeflächenversatzes, der Wulstkerben sowie Auffälligkeiten bei der Ausbildung des Schweißwulstes geprüft. Bei der Prüfung wurde deutlich, dass beim Schweißen der relativ dünnwandigen Rohre ($s = 24,3 \text{ mm}$), bezogen auf den großen Außendurchmesser von 1480 mm, auf den Versatz der Fügefläche ein besonderes Augenmerk zu legen ist (siehe Abschnitt 4). Durch eine sorgfältige Einrichtung beim Schweißen konnte der Versatz unterhalb des Grenzwertes von 3,6 mm gehalten werden. An den Testnähten wurde ein Versatz zwischen maximal 2 und 3 mm gemessen.

Anschließend wurden die Testnähte einer zerstörenden Prüfung unterzogen. Ermittelt wurden der Kurzeitzug-Schweißfaktor f_z und der maximale Biegewinkel. Gleichmäßig über den Umfang verteilt wurden Zug- und Quer-

ability of the welding machine as well as the unobjectionable nature of the folding operation with regard to the loads on the welded joints.

The test welds were executed in building site conditions. The welding parameters were chosen according to the DVS 2207-1 technical code [1] "Heated tool welding of pipes and piping parts made of PE-HD" (see Table 1).

As emerged during the execution of the test welds, the stipulated parameters could not be complied with exactly. In particular, it proved to be impossible to

comply with the changeover time. The welding mirror had to be removed from the welding machine with the aid of a crane. Even in the case of a problem-free sequence, this lasted longer than 10 s, thus leading to the total changeover time (open the machine - remove the welding mirror - close the machine) of 15 - 25 s. Even though the DVS technical codes make provision for a slow pressure build-up, it was decided to shorten the pressure build-up time in order to take account of the already advanced changeover time and cooling

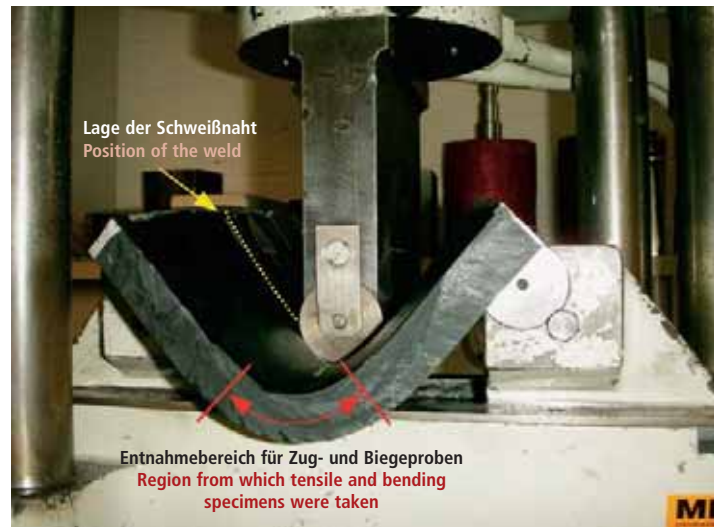


Bild 10: Simulation des Faltvorgangs – Biegeversuch in Schweißnahtlängsrichtung, Zustand maximaler Biegung

Fig. 10: Simulation of the folding operation - bending test in the longitudinal direction of the weld, condition with the maximum bending

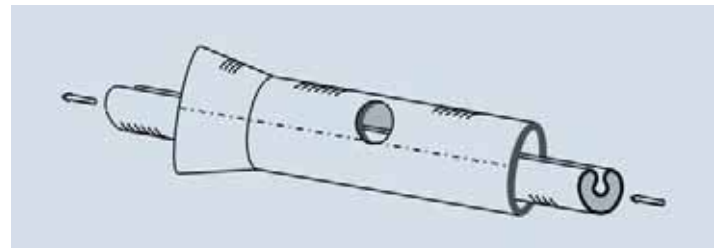


Bild 11: Einziehen des PE-Inliners

Fig. 11: Pulling-in of the PE inliner

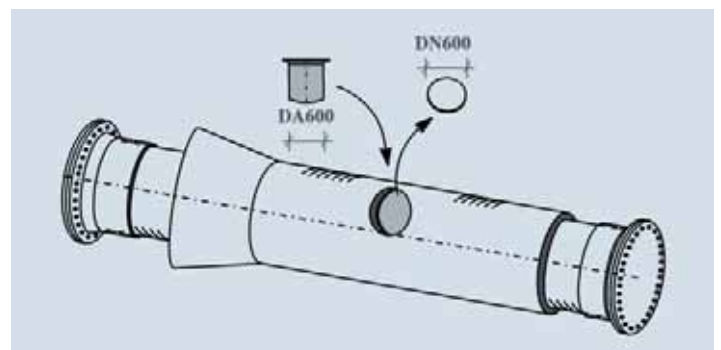


Bild 12: Einschweißen des PE-Lüftungsstutzens

Fig. 12: Welding-in of the PE ventilation connection piece

Tabelle 1: Schweißparameter der Testnahtschweißung

Table 1: Welding parameters for the execution of the test welds

Schweißparameter Welding parameter	Soll Nominal	Ist Actual
Schweißtemperatur: Welding temperature:	(210 ± 10) °C (210 ± 10)°C	203 °C bis 217°C 203°C to 217°C
Anwärmzeit: Heating-up time:	243 s 243 s	ca. 243 s approx. 243 s
Angleichdruck: Alignment pressure:	37 bar ¹⁾ 37 bar ¹⁾	42 bar ²⁾ 42 bar ²⁾
Anwärmdruck: Heating-up pressure:	nahezu 0 bar nearly 0 bar	nahezu 0 bar nearly 0 bar
Schweißdruck: Welding pressure:	37 bar ¹⁾ 37 bar ¹⁾	42 bar ²⁾ 42 bar ²⁾
Umstellzeit: Changeover time:	max. 12 s max. 12 s	15 – 25 s 15 - 25 s
Druckaufbauzeit: Pressure build-up time:	13 s 13 s	ca. 5 s approx. 5 s
Abkühlzeit: Cooling time:	30 min. 30 min	30 min. 30 min

1) Druckeinstellung am Manometer der Schweißmaschine. Dies entspricht einem Druck von 0,15 N/mm², bezogen auf die Fügefläche des Rohres (Umrechnung: 1 bar am Manometer entspricht 463 N)

2) Summe aus Angleich-/Schweißdruck (37 bar) + Bewegungsdruck (5 bar)

1) Pressure setting on the manometer of the welding machine. This corresponds to a pressure of 0.15 N/mm², in relation to the joining area of the pipe (conversion: 1 bar on the manometer corresponds to 463 N).

2) Total of the alignment/welding pressures (37 bar) + movement pressure (5 bar).

Tabelle 2: Ergebnisse des Zug- und Biegeversuchs
Table 2: Results of the tensile and bending tests

Prüfverfahren Test procedure	Anforderung *) Requirement *)	Ergebnis Result	
		ohne Vorbelastung Without any preloading	nach dem Falten After the folding
Zugversuch Kurzzeitzug-Schweißfaktor f_z Tensile test Short-time welding tensile welding factor f_z	0,9	1,0	1,0
Technologischer Biegeversuch Biegewinkel Technological bending test Bending angle	33°	>160°, kein Bruch > 160°, no fracture	>160°, kein Bruch > 160°, no fracture

*) Anforderungen nach DVS 2203-1 für PE 100 und Heizelementstumpfschweißen (HS)
 *) Requirements according to DVS 2203-1 for PE 100 and heated tool butt welding

biegeproben entnommen (siehe Bild 9, Position ZB1 bis ZB8).

Zur Bewertung der Ergebnisse der mechanischen Untersuchungen wurden die Anforderungen für PE 100 der DVS Richtlinie 2203-1 [3] „Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen“ zugrunde gelegt (vgl. Tabelle 2). Die Ergebnisse des Zug- und Biegeversuchs erfüllten durchweg die gestellten Anforderungen. So wurde im Zugversuch ein Kurzzeit-Schweißfaktor f_z von 1,0 ermittelt. Das bedeutet, dass die Schweißnahtfestigkeit die Festigkeit des ungeschweißten Grundwerkstoffes erreichte. Die ermittelten Biegewinkel waren alle größer als 160°. Die gestellten Anforderungen wurden somit weit übertroffen.

Abschließend sollte durch eine Simulation in einer Biegeprüfmaschine der Einfluss des Faltvorganges auf die Schweißnaht untersucht werden. Über den Umfang des Rohres verteilt wurden Segmente entsprechend Bild 9 entnommen (Segmente F1 bis F5). Diese wurden in Schweißnahtlängsrichtung bis zu einem Biegewinkel von ca. 90° verformt und anschließend wieder bis in Ihre Ausgangslage zurückgebogen (siehe Bild 10).

Dadurch sollte die zu erwartende Verformung simuliert werden (vgl. Bild 9: gestrichelte Linie). Die Schweißnaht und die Wärmeeinflusszone wurden nach dem Verformungsprozess makroskopisch hinsichtlich eventuell aufgetretener Risse untersucht. Risse konnten bei der Untersuchung nicht nachgewiesen werden. Aus dem Bereich mit maximaler Verformung wurden nun Proben für die Bestimmung des Kurzzeit-Schweißfaktors und des maximalen Biegewinkels entnommen (siehe Bild 10). Die dabei ermittelten Ergebnisse erreichten die gleichen Werte, wie die der unbelasteten Proben (siehe Tabelle 2). Es konnte somit kein negativer Einfluss des Faltvor-



Bild 13: Einschweißen des Lüftungsstutzens mittels Warmgasextrusionsschweißen

Fig. 13: Welding-in of the ventilation connection piece by means of hot gas extrusion welding



Bild 14: Fertige Kehlnahtverbindung

Fig. 14: Finished fillet-welded joint

gangs auf die Festigkeit der Schweißnaht festgestellt werden. Hinsichtlich der untersuchten Kriterien wurden seitens TÜV SÜD keine Bedenken in der Anwendung des Subline-Verfahrens gesehen. Die Eignung der Schweißmaschine, der Schweißparameter sowie die Unbedenklichkeit des Faltprozesses konnten nachgewiesen werden.

in the region of the joining face. As emerged during the subsequent investigations, a flawless weld quality could be achieved in this way. First of all, the welds were investigated visually for irregularities. For this purpose, the assessment was based on the criteria and requirements in the DVS 2202-1 technical code [2] "Defects in welded joints between thermoplastics",

Assessment Group II, for heated tool butt welds. The welds were checked, in particular, with regard to the joining face misalignment, the bead notches as well as conspicuous characteristics in the formation of the welding bead. In the course of the checking, it became evident that, during the welding of the relatively thin-walled pipes ($s = 24.3 \text{ mm}$) in relation to the large outside diameter of 1,480 mm, particular attention must be paid to the misalignment of the joining face (see Section 4). As a result of careful setting work during the welding, it was possible to keep the misalignment below the limiting value of 3.6 mm. A maximum misalignment between 2 mm and 3 mm was measured on the test welds.

The test welds were subsequently subjected to destructive testing. The short-time tensile welding factor f_z and the maximum bending angle were established. Tensile and transverse bending specimens were taken uniformly spread around the circumference (see Fig. 9, Positions ZB1 to ZB8).

The assessment of the results of the mechanical investigations was based on the requirements for PE 100 in the DVS 2203-1 technical code [3] "Testing of welded joints between thermoplastics" (cf. Table 2). The results of the tensile and bending tests satisfied the set requirements without exception. For example, a short-time welding factor f_z of 1.0 was established in the tensile test. This means that the weld strength reached the strength of the unwelded base material. The established bending angles were all greater than 160°. The set requirements were thus exceeded by far.

Finally, the influence of the folding operation on the weld was to be investigated by means of simulation in a bending test machine. Segments were taken spread around the circumference of the pipe according to the Fig. 9 (Segments F1 to F5). These were deformed up to a bending angle of approx. 90° in the longitudinal direction of the weld and were subsequently bent back to their initial positions once again (see Fig. 10). This was intended to simulate the deformation to be expected (cf. Fig. 9: dashed and dotted line). After the deformation process, the weld and the heat-affected zone were investigated macroscopically with regard to any cracks which may have arisen. During the investigation, it was



Bild 15: Schadhafte Kehlnaht-
verbindung, unverschweißter Bereich

Fig. 15: Damaged fillet-welded
joint, region not welded together

5.2 Vorversuche zum Einschweißen eines Lüfterstützens

Zum einen sollte durch den Vorversuch sichergestellt werden, dass die Einschweißung des Lüfters mit der entworfenen Konstruktion in dem vorgegebenen Zeitfenster durchführbar ist. Zum anderen sollte die Festigkeit der Schweißverbindungen und der Gesamtkonstruktion durch einen Zeitstandnendruck-Schwellversuch untersucht werden.

Die Einschweißung des Lüfterstützens erfolgte unter Baustellenbedingungen. Hierzu wurde ein Versuchsaufbau entworfen, welcher die späteren Bedingungen auf der Baustelle möglichst genau simulieren sollte. In ein Spannbetonrohr DN 1500 wurde ein vorgefalteter C-förmiger PE-Liner eingebracht und anschließend in seine ursprüngliche Rohrform zurückgeformt (Bild 11). Der PE-Liner wurde im Bereich des Stützendurchbruchs ausgeschnitten und der vorgefertigte Lüftungsstutzen von innen durch den Ausbruch durchgesteckt (Bild 12). Es war vorgesehen, den Stutzen über eine Kehlnahtverbindung an den PE-Liner anzubinden.

Das Einschweißen des Lüftungsstutzens erfolgte im Warmgasextrusionsschweißverfahren (WE) nach DVS-Richtlinie 2207-4 [4] (vgl. Bild 13) mit geprüfem Schweißpersonal nach DVS-Richtlinie 2212-1. Als kritisch erwies sich im Zuge des Vorversuchs die Zunahme der Luftfeuchtigkeit bei fortschreitender Schweißzeit. Da es sich um ein relativ geringes Luftvolumen handelte, nahm die Luftfeuchtigkeit in dem räumlich

abgeschlossenen Versuchsaufbau durch die ausgeatmete Atemluft schnell zu. Durch eine provisorisch errichtete Be- und Entlüftung konnte hier nur bedingt Abhilfe geschaffen werden.

Visuell konnten an der fertigen Kehlnahtverbindung keine Fehler festgestellt werden (vgl. Bild 14). Bei der anschließenden Kurzzeit-Druckprüfung mit Wasser bei 6 bar wurde allerdings eine Undichtigkeit im Bereich des Lüftungsstutzens beobachtet. Verantwortlich hierfür war ein Riss in der Schweißnaht mit einer Länge von ca. 40 cm. Wie sich durch eine nähere Untersuchung herausstellte, hatte im Bereich der Schadhafte Kehlnaht, in einem Streifen von ca. 2 bis 5 mm, eine ausreichende Verschweißung des Zusatzwerkstoffes mit dem Grundwerkstoff stattgefunden (vgl. Bild 15). In der Mitte der Schweißnaht konnte jedoch keine Verschweißung festgestellt werden. Die geschliffene Oberfläche des Grundwerkstoffes war noch deutlich zu erkennen. Sogar am Zusatzwerkstoff war der Abdruck von Schleifriefen noch deutlich sichtbar.

Die Ursache für die fehlende Verschweißung lag höchstwahrscheinlich an der zu geringen Temperatur des Warmgasstroms. Die Temperatur hatte offensichtlich nicht ausgereicht, um den Grundwerkstoff zu plastifizieren. Dies kann unter anderem daran gelegen haben, dass die Umgebungsfeuchte zum Verdampfen einen Teil der Wärmeenergie benötigt hatte. Da das verwendete Warmgasextrusionsschweißgerät bauartbedingt über ein externes Gebläse mit Luft versorgt wurde, lag jedoch auch

not possible to detect any cracks. Specimens were then taken from the region with the maximum deformation in order to determine the short-time welding factor and the maximum bending angle (see Fig. 10). The results established in this case reached the same values as those of the unloaded specimens (see Table 2). It was thus not possible to identify any negative influence of the folding operation on the strength of the weld.

With regard to the investigated criteria, TÜV SÜD did not see any reservations in the application of the subline process. It was possible to prove the suitability of the welding machine, the welding parameters and the unobjectionable nature of the folding process.

5.2 Preliminary tests relating to the welding-in of a ventilator connection piece

On the one hand, the preliminary test was intended to ensure that the ventilator could be welded into the designed structure in the stipulated time window. On the other hand, the strengths of the welded joints and the overall structure were to be investigated by means of a pulsating creep rupture internal pressure test.

The welding-in of the ventilator connection piece was carried out in building site conditions. A test set-up which was intended to simulate the subsequent conditions on the building site as precisely as possible was designed for this purpose. A prefolded C-shaped PE liner was inserted into a prestressed concrete pipe DN 1500 and was then formed backed into its original pipe shape (Fig. 11).

The PE liner was cut out in the region of the connection piece opening and the prefabricated ventilation connection piece was pushed through the opening from the inside (Fig. 12). It was planned to join the connection piece to the PE liner using a fillet-welded joint.

The welding-in of the ventilation connection piece was carried out in the hot gas extrusion welding process according to the DVS 2207-4 technical code [4] (cf. Fig. 13) with certified welding personnel according to the DVS 2212-1 technical code. In the course of the preliminary test, the increase in the air humidity with an advancing welding time proved to be critical. Since this represented a relatively small air volume,

the air humidity increased quickly in the spatially closed test set-up due to the exhaled breathing air. Here, it was possible to provide a remedy to a limited extent only by means of provisionally set-up ventilation.

Visually, it was not possible to identify any defects in the finished fillet-welded joint (cf. Fig. 14). However, a leak in the region of the ventilation connection piece was observed during the subsequent short-time pressure test with water at 6 bar. A crack in the weld with a length of approx. 40 cm was responsible for this. As emerged during a more detailed investigation, there was a sufficient weld between the filler material and the base material in the region of the damaged point only at the edge of the fillet weld, in a strip of approx. 2 - 5 mm (cf. Fig. 15). However, it was not possible to identify any welding-together in the centre of the weld. The ground surface of the base material could still be recognised clearly. The imprint of ghost lines was still clearly visible even on the filler material.

The lack of welding-together was most probably due to the fact that the temperature of the hot gas flow was too low. The temperature was obviously not adequate in order to plasticise the base material. Amongst other causes, this may have resulted from the fact that the ambient humidity had needed some of the heat energy in order to evaporate. However, since the hot gas extrusion welding device used was, because of its design, supplied with air by an external blower, the evident assumption was that the air feed was interrupted or at least decreased for a short time by the kinking of the air hose due to the confined space conditions and due to inattentiveness.

For the repair, the whole weld was ground off and a new weld was manufactured. Particular significance was then attached to sufficient ventilation. This time, no leaks were identified during the subsequent short-time pressure test. Therefore, it was possible to continue with the pulsating pressure test. Over a time of 500 h, the inliner was subjected to a test pressure of 5 bar and short-time relief to 0 bar was carried out every day. In total, approx. 20 loading and relief operations were simulated. No leaks arose during the test time of 500 h.

die Vermutung nahe, dass durch die beengten Raumverhältnisse und eine Unachtsamkeit die Luftzufuhr durch ein Abknicken des Luftschlauches kurzzeitig unterbrochen oder zumindest gemindert wurde.

Für die Reparatur wurde die gesamte Schweißnaht abgeschliffen und neu hergestellt. Auf eine ausreichende Be- und Entlüftung wurde jetzt besonders Wert gelegt.

Bei der anschließenden Kurzzeit-Druckprüfung wurden diesmal keine Undichtigkeiten festgestellt, sodass mit dem Druck-Schwellversuch fortgefahren werden konnte. Über eine Zeit von 500 h wurde der Inliner mit einem Prüfdruck von 5 bar beaufschlagt und täglich eine kurzzeitige Entlastung auf 0 bar durchgeführt. Insgesamt wurden ca. 20 Be- und Entlastungsvorgänge simuliert. Während der 500 h Prüfzeit traten keine Undichtigkeiten auf.

Im Anschluss wurde der Versuchsaufbau mit einem konstanten Druck von 7,5 bar über weitere 500 h belastet. Auch während dieser Zeit traten keine Undichtigkeiten auf. Der Vorversuch konnte mit einem positiven Ergebnis beendet werden.

Aus den Erfahrungen des Vorversuchs wurden folgende Maßnahmen für die Stutzeinschweißung auf der Baustelle abgeleitet:

- Einbringen einer zusätzlichen flächigen Heizwendelschweißverbindung zwischen Sattel und Rohrrinnenwand zur Erlangung einer höheren Belastbarkeit der gesamten Schweißkonstruktion (siehe Bild 7 und 8).
- Exakte Kontrolle der Klimadaten (Temperatur, rel. Feuchtigkeit, Taupunktstand) während des Schweißens, um der Entstehung von Bindefehlern aufgrund zu hoher Luftfeuchtigkeit vorzubeugen.

6. Bauüberwachung durch TÜV SÜD

Während der Durchführung der Baumaßnahme wurden die Arbeiten rund um das Schweißen von TÜV SÜD überwacht. Die Bauüberwachung umfasste folgende Punkte:

- stichprobenartige visuelle Kontrolle der angelieferten Rohre auf Beschädigungen,
- stichprobenartige Kontrolle der Schweißnahtherstellung hinsichtlich der Einhaltung der festgelegten



Bild 16: Oberflächenfehler verursacht durch Baustellenhandling

Fig. 16: Surface defect caused by the handling on the building site

Schweißparameter,

- visuelle äußere Prüfung der hergestellten Stumpfschweißverbindungen zu 100 % und der Rohroberfläche des Inliner-Rohrstrangs,
- Abnahme der Dichtheitsprüfung des fertigen Inliners,
- Überwachung der Schweißarbeiten zur Einschweißung des Lüftungsstutzens.

6.1 Überwachung der Herstellung des Inlinerrohrstrangs

6.1.1 Kontrolle der angelieferten Rohre

Die angelieferten Rohre wurden auf der Baustelle stichprobenartig auf Beschädigungen untersucht. Hierbei wurden bei einigen Rohren unzulässige Riefen und Kratzer mit einer maximalen Tiefe von ca. 4 mm in der Oberfläche festgestellt (vgl. Bild 16). Diese entstanden durch das Handling auf der Baustelle. Als Bewertungskriterium hinsichtlich der zulässigen Tiefe von Riefen wurde die DVS-Richtlinie 2202-1 [2], Bewertungsgruppe II, zugrunde gelegt. Es wurde eine maximale Tiefe von 1,0 mm zugelassen. Bezüglich der weiteren Behandlung der Riefen wurde wie folgt verfahren:

- Scharfkantige Riefen mit einer Tiefe bis 1 mm wurden mechanisch nachbearbeitet, so dass ein weicher Übergang zur Rohroberfläche erzielt wurde.
- Riefen mit einer Tiefe von größer als 1 mm wurden mittels Warmgasextrusions-schweißen (WE) ausgebessert und anschließend eben mit der Rohroberfläche verschliffen. Als Schweißzusatz wurde die gleiche PE 100-Formmasse verwendet, wie für die Inlinerrohre.

Thereafter, the test set-up was loaded at a constant pressure of 7.5 bar over another 500 h. No leaks arose during this time either. It was possible to end the preliminary test with a positive result.

The following measures for the welding-in of the connection piece on the building site were derived from the experience from the preliminary test:

- Incorporation of an additional large-area welded joint manufactured between the saddle and the inside wall of the pipe by means of sleeve welding with an incorporated electric heating element in order to achieve a higher load-bearing capacity of the whole welded structure (see Figs. 7 and 8).
- Exact checking of the climatic data (temperature, rel. humidity and dew point interval) during the welding in order to prevent the development of lack of fusion due to excessive air humidity.

6. Construction monitoring by TÜV SÜD

During the execution of the construction measure, the work associated with all aspects of the welding was monitored by TÜV SÜD. The construction monitoring encompassed the following points:

- random visual inspection of the delivered pipes for damage
- random checking of the manufacture of the welds with regard to the compliance with the defined welding parameters
- external visual inspection of all the manufactured butt-welded joints and of the pipe surface of the inliner pipe train

- acceptance of the leak test on the finished inliner
- monitoring of the welding work in order to weld in the ventilation connection piece

6.1 Monitoring of the manufacture of the inliner pipe train

6.1.1 Inspection of the delivered pipes

On the building site, the delivered pipes were subjected to random investigations for damage. In this respect, impermissible lines and scratches with a maximum depth of approx. 4 mm were identified in the surface of a few pipes (cf. Fig. 16). These were caused by the handling on the building site. The assessment criterion with regard to the permissible depth of lines was based on the DVS 2202-1 technical code [2], Assessment Group II. A maximum depth of 1.0 mm was authorised. The following procedure was applied to the further treatment of the lines:

- Sharp-edged lines with a depth up to 1 mm were remachined in order to obtain a smooth interface to the pipe surface.
- Lines with a depth greater than 1 mm were repaired by means of hot gas extrusion welding and were subsequently ground plane with the pipe surface. The same PE 100 moulding material as for the inliner pipes was used as the welding filler.

Due to the low wall thickness of the large-diameter pipes, these were deformed in an oval shape by their dead weight during the storage. Therefore, supporting rings were already inserted in the area of the pipe ends in the factory for stabilisation purposes. As was shown, some of these supporting rings fell out during the transport. The consequence was that the pipes were also deformed in an oval shape at the pipe ends as well. During the welding of the pipes, the misalignment of the joining faces could be kept below the permissible limiting value only with an increased scope of setting work.

6.1.2 Monitoring of the welding work and visual inspections

Only welding personnel with a valid qualification test certificate according to DVS 2212-1 [5] "Qualification testing of plastics welders" was authorised. The manufacture of the heated-tool-

Aufgrund der geringen Wanddicke der Großrohre verformten sich diese während der Lagerung unter ihrem Eigengewicht oval. Im Bereich der Rohrenden wurden deshalb bereits werkseitig Stützringe zur Stabilisierung eingebracht. Wie sich zeigte, fielen einige dieser Stützringe während des Transports heraus. Die Folge war, dass sich die Rohre auch an den Rohrenden oval verformten. Nur mit erhöhtem Einrichteaufwand konnte der Versatz der Fügeflächen beim Schweißen der Rohre unterhalb des zulässigen Grenzwertes gehalten werden.

6.1.2 Überwachung der Schweißarbeiten und visuelle Prüfungen

Es wurde nur Schweißpersonal mit einer gültigen Prüfbescheinigung nach DVS 2212-1 [5] „Prüfung von Kunststoffschweißern“ zugelassen.

Die Herstellung der Heizelementstumpf-Schweißverbindungen wurde stichprobenartig überwacht. Es wurden ca. 10 % der Schweißnähte in Anwesenheit von TÜV SÜD geschweißt. Die Einhaltung der festgelegten Schweißparameter mit den Vorgabewerten konnte nachgewiesen werden.

Sämtliche Schweißnähte wurden visuell auf Unregelmäßigkeiten untersucht. Es wurden die Anforderungen der DVS-Richtlinie 2203-1 [3], Bewertungsgruppe II, für Heizelementstumpf-Schweißverbindungen zugrunde gelegt. Insbesondere wurde der Versatz der Fügeflächen sowie stichprobenartig die Form bzw. Ausbildung des Schweißwulstes überprüft. Aufgrund sorgfältig durchgeführter Einrichtearbeiten und der genauen Einhaltung der Vorgabeparameter konnte die Ausschussquote auf nahezu Null begrenzt werden. Lediglich eine der über 100 geschweißten Baustellennähte musste aufgrund eines zu großen Fügeflächenversatzes verworfen werden.

Unmittelbar vor dem Falten der Rohre wurde die Rohroberfläche nochmals auf Beschädigungen untersucht und, falls erforderlich, wie zuvor beschrieben instandgesetzt.

Nach dem Falten des Inlinerstrangs wurden die Schweißnähte, inklusive der Wärmeinflusszone, hinsichtlich eventuell aufgetretener Risse untersucht. Risse wurden hierbei nicht gefunden.

6.1.3 Druck- und Dichtheitsprüfung

Der komplette Linerstrang wurde vor dem Falten einer Druck- und Dichtheitsprüfung mit Wasser unterzogen. Die Durchführung erfolgte bei ca. 2 bar Innendruck im Sichtverfahren in Anlehnung an das DVGW Arbeitsblatt W 400-2 „Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen“ [6]. Der Prüfdruck wurde gemäß DVS Richtlinie 2210-1, Beiblatt 2 „Industrierohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen – Empfehlungen zur Innendruck- und Dichtheitsprüfung“ [7] berechnet (siehe Tabelle 3). Die Innendruckprüfung für die zweite Teilstrecke im Jahr 2007 wurde an einem sonnigen Herbsttag durchgeführt. Da der vorgestreckte Rohrleitungsstrang durch einen Waldabschnitt verlief, war der größte Teil der Rohroberfläche beschattet. Teilbereiche waren jedoch der direkten Sonne ausgesetzt. Aufgrund der schwarzen Einfärbung der Rohre musste mit einer Erwärmung der Rohroberfläche während der Versuchsdurchführung gerechnet werden. Zur Sicherheit wurde bei der Berechnung des Prüfdrucks eine Rohrwandtemperatur von 40 °C zugrunde gelegt, um ein Kriechen des Rohrwerkstoffes in Grenzen zu halten.

Das Höhenprofil der Leitung konnte als relativ eben bezeichnet werden. Dennoch

butt-welded joints was monitored at random. Approx. 10 % of the welds were executed in the presence of TÜV SÜD. It was possible to prove the compliance with the defined welding parameters with the stipulated values.

All the welds were investigated visually for irregularities on the basis of the requirements in the DVS 2203-1 technical code [3], Assessment Group II, for heated-tool-butt-welded joints. The misalignment of the joining faces and, at random, the shape and formation of the welding bead were checked in particular. Due to carefully performed setting work and the precise compliance with the stipulated parameters, it was possible to limit the scrap rate to nearly zero. Only one of the over 100 welds executed on the building site had to be rejected because of an excessive joining face misalignment. Immediately before the folding of the pipes, the pipe surface was investigated for damage once again and, if necessary, was repaired as described above. After the folding of the inliner train, the welds, including the heat-affected zone, were investigated with regard to any cracks which may have arisen. No cracks were found in this case.

6.1.3 Pressure and leak testing

Before the folding, the complete liner train was subjected to pressure and

leak testing with water. This was carried out at an internal pressure of approx. 2 bar in a visual procedure with reference to the DVGW work sheet W 400-2 "Technical rules for water distribution installations" [6]. The test pressure was calculated according to the DVS 2210-1 technical code, Supplement 2 "Industrial piping made of thermoplastics - Recommendations for internal pressure and leak testing" [7] (see Table 3). The internal pressure test for the second line section in 2007 was performed on a sunny autumn day. Since the prestretched pipeline train passed through a forest section, the greatest proportion of the pipe surface was in shadow. However, some sectors were exposed to the sun directly. Due to the black coloration of the pipes, it was necessary to expect the heating of the pipe surface during the execution of the test. For safety purposes, the calculation of the test pressure was based on a pipe wall temperature of 40°C in order to keep the creep of the pipe material in limits.

The height profile of the pipeline could be designated as relatively flat. Nevertheless, the pipeline could not be vented completely. Since venting by means of pigging was not feasible, the welds were therefore soaped in addition in the

Tabelle 3: Berechnung des Prüfdruckes nach DVS 2210-1, Beiblatt 2
Table 3: Calculation of the test pressure according to DVS 2210-1, Supplement 2

$$P_p(\text{zul}) = \frac{1}{\frac{d_a}{s}} \cdot \frac{20 \cdot \sigma_{VT}(T, 100 h)}{S_P \cdot A_G} [\text{bar}] = 2,15 \text{ bar}$$

d_a	Rohraußendurchmesser	[mm]	1480
s	Rohrwanddicke	[mm]	24,3
$\sigma_{VT}(T, 100h)$	Zeitstandfestigkeit für die Rohrwandtemperatur TR bei $t=100$ h (nach DVS 2205-1) (für PE 100 bei 40 °C)	[N/mm ²]	9,0 (für PE 100 bei 40 °C)
S_P	Mindestsicherheitsabstand zur Zeitstandfestigkeit	[-]	1,25
A_G	verarbeitungs- oder geometriespezifischer Faktor, der den zul. Prüfdruck mindert ($A_G \geq 1,0$)	[-]	1,10 (reziproker Wert des Kurzzeitschweißfaktors für HS-Schweißung)
d_g/S	ca. SDR	[-]	60,9
d_a	Pipe outside diameter	[mm]	1480
s	Pipe wall thickness	[mm]	24,3
$\sigma_{VT}(T, 100h)$	Creep rupture strength for the pipe wall temperature TR at $t=100$ h (according to DVS 2205-1) (for PE 100 at 40 °C)	[N/mm ²]	9,0 (for PE 100 at 40 °C)
S_P	Minimum safety margin to the creep rupture strength	[-]	1,25
A_G	Processing-specific or geometry-specific factor decreasing the permissible test pressure ($A_G \geq 1,0$)	[-]	1,10 (reciprocal value of the short-time welding factor for heated tool butt welding)
d_g/S	ca. SDR	[-]	60,9

Tabelle 4: Klimadaten während der Schweißarbeiten
Table 4: Climatic data during the welding work

Zeitpunkt der Messung Point in time of the measurement	Schweißbeginn Beginning of the welding	Während dem Schweißen During the welding	Schweißende (1. Lage) End of the welding (1st layer)
Lufttemperatur ¹⁾ Air temperature ¹⁾	18 °C 18°C	25 °C 25°C	28 °C 28°C
Rel. Luftfeuchtigkeit Rel. air humidity	60 % 60 %	63 % 63 %	87 % 87 %
Taupunkt Dew point	10 °C 10°C	18 °C 18°C	25 °C ^r 25°C
Fügeflächentemperatur Joining face temperature	19 °C 19°C	--- ---	33 °C ²⁾ 33°C ²⁾

1) Oberflächentemperatur des Schweißdrahtes entspricht in etwa der Lufttemperatur
2) Gemessen ca. 1 cm neben der Schweißnaht nach dem Schweißen

1) The surface temperature of the welding wire roughly corresponds to the air temperature
2) Measured approx. 1 cm next to the weld after the welding

konnte die Leitung nicht vollständig entlüftet werden. Da ein Entlüften durch Molchen nicht in Frage kam, wurden die Schweißnähte im Bereich von Hochpunkten deshalb zusätzlich abgeseift. Bei der abschließenden Begehung der Leitung unter Teilnahme des Bauherrn, des Rohrbauunternehmens und von TÜV SÜD wurden keine Undichtigkeiten festgestellt. Die so durchgeführte Druck- bzw. Dichtungsprüfung konnte allerdings keine hundertprozentige Aussage über die einwandfreie Qualität der Schweißnähte liefern, da der Prüfdruck unter dem maximalen Betriebsdruck der Leitung von bis zu 3,5 bar lag. Die Innendruckprüfung bei 2 bar entsprach aber immerhin einer Zugprüfung der Schweißnahtfläche mit einer Zugkraft von umgerechnet etwa 33 Tonnen (entspricht einer Zugspannung von 2,9 MPa). Auf eine Druckprüfung bei einem Innendruck von mehr als 2 bar wurde aus Sicherheitsgründen und aufgrund der Gefahr der Vorschädigung der Rohrleitung verzichtet. Zudem lagen bezüglich der Druckfestigkeit der Rohrverschlüsse (LinerGrip-Verbindung) keine Erfahrungen vor. Eine zusätzliche Druckprüfung nach dem Einziehen des Liners vor Inbetriebnahme der rehabilitierten Wasserleitung kam insbesondere aufgrund des engen Zeitfensters für die Außerbetriebnahme der Leitung nicht in Frage.

6.2 Überwachung der Schweißarbeiten beim Einbau des Lüftungsstutzens

Wie beim Schweißen der Rohrstumpfnähte wurde auch hier nur Schweißpersonal mit einer gültigen Prüfbescheinigung nach DVS 2212-1 [5] „Prüfung von Kunststoffschweißern“ zugelassen. Die Herstellung der Schweißverbindungen wurde in Übereinstimmung mit den entsprechenden DVS Richtlinien zum

Fügen von Kunststoffen durchgeführt. Die Schweißarbeiten wurden von TÜV SÜD überwacht.

6.2.1 Überwachung der Klimadaten

Durch die von Haus aus hohe relative Luftfeuchtigkeit in der teilentleerten Leitung war die Gefahr besonders groß, dass im Bereich der Fügeflächen oder auf dem Schweißdraht Feuchtigkeit kondensiert. Aufgrund der Erfahrungen des Vorversuchs wurden die Klimadaten (Luft-, Objekttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit) während der Schweißarbeiten streng überwacht. Somit konnte ein ausreichender Taupunktstand gewährleistet werden. Der Mindest-Taupunktstand (Differenz zwischen Taupunkt- und Untergrundtemperatur) wurde auf 5 °C vereinbart. Vor dem Schweißen der Heizwendelschweißverbindung wurden die Fügeflächen mittels Warmluft erwärmt. Somit konnte ein ausreichender Abstand zum Taupunkt sichergestellt werden.

Beim Warmgasextrusionsschweißen der Kehlnaht konnte eine Kondensatbildung im Bereich der zur verschweißenden Flächen aufgrund des Warmluftstromes ausgeschlossen werden. Hier musste aber gewährleistet werden, dass sich auf dem Schweißdraht keine Feuchtigkeit niederschlägt. Während der Schweißarbeiten verursachte die ausgeatmete Atemluft einen Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit, sodass der Taupunktstand unter 5 °C sank. Daher wurde nach jeder Lage eine Schweißpause eingelegt. Tabelle 4 gibt exemplarisch die Klimadaten während der Schweißarbeiten wieder.

6.2.2 Visuelle Prüfung

Die fertige Schweißverbindung wurde visuell geprüft. Hier beschränkte sich

region of high points. No leaks were identified during the final inspection of the pipeline with the participation of the principal, the pipe construction company and TÜV SÜD.

However, the pressure and leak testing carried out in this way was unable to supply any 100 % statement about the flawless quality of the welds since the test pressure was below the maximum operating pressure of the pipeline of up to 3.5 bar. However, the internal pressure test at 2 bar nevertheless corresponded to a tensile test on the weld surface with a converted tensile force of approx. 33 t (corresponds to a tensile stress of 2.9 MPa). It was decided not to conduct a pressure test at an internal pressure of more than 2 bar for safety reasons and due to the danger of damaging the pipeline in advance. Moreover, no experience was available with regard to the compressive strength of the pipe closures (LinerGrip joint).

An additional pressure test after the pulling-in of the liner before the commissioning of the rehabilitated water pipeline was not feasible particularly because of the tight time window for shutting down the pipeline.

6.2 Monitoring of the welding work during the installation of the ventilation connection piece

As in the case of the execution of the pipe butt welds, only welding personnel with a valid qualification test certificate according to DVS 2212-1 [5] "Qualification testing of plastics welders" was authorised here too. The welded joints were manufactured in conformity with the corresponding DVS technical codes for the joining of plastics. The welding work was monitored by TÜV SÜD.

6.2.1 Monitoring of the climatic data

Because the relative air humidity in the partially emptied pipeline was always high, there was a particularly great danger of moisture condensating in the region of the joining faces or on the welding wire. On the basis of the experience from the preliminary test, the climatic data (air and object temperatures as well as relative air humidity) was monitored strictly during the welding work. It was thus possible to guarantee a sufficient dew point interval. The minimum dew point interval (difference between the dew point and substrate temperatures) was agreed at 5°C. Before the execution of the welded joint by means of sleeve welding with an incorporated electric heating element, the joining faces were heated with hot air. It was thus possible to ensure a sufficient interval to the dew point.

During the hot gas extrusion welding of the fillet weld, the hot air flow served to exclude the formation of any condensate in the region of the surfaces to be welded together. Here, it was, however, necessary to guarantee that no moisture was precipitated on the welding wire. During the welding work, the exhaled breathing air caused a rise in the relative air humidity so that the dew point interval dropped below 5°C. Therefore, a welding break was taken after every layer. Table 4 shows an example of the climatic data during the welding work.

6.2.2 Visual inspection

The finished welded joint was subjected to a visual inspection which was restricted to the fillet-welded joint; the joint executed by means of sleeve welding with an incorporated electric heating element could not be checked from the outside. The DVS 2202-1 technical code [2], Table 5, Assessment Group I, served as the assessment basis. In particular, the assessment related to the appearance of the weld surface with regard to waviness, roughness and uniformity. The weld appearance sometimes permits conclusions as to whether there was any moisture in the welding filler (e.g. fine open bubbles), whether the welding speed or the welding pressure was non-uniform or whether there was any thermal damage to the welding filler (e.g. knot formation or shiny weld surface).

die Prüfung auf die Kehl-nahtverbin-dung; die Heizwendelschweißverbin-dung war von außen nicht prüfbar. Als Bewertungsgrundlage diente die DVS Richtlinie 2202-1 [2], Tabelle 5, Bewer-tungsgruppe I. Bewertet wurde insbe-sondere das Aussehen der Nahtober-fläche hinsichtlich Welligkeit, Rauheit und Gleichmäßigkeit. Das Nahtausse-hen lässt mitunter Rückschlüsse zu, ob Feuchtigkeit im Schweißzusatz vorhan-den war (z. B. feine offene Bläschen), die Schweißgeschwindigkeit oder der Schweißdruck ungleichmäßig war oder thermische Schädigungen des Schweiß-zusatzes (z. B. Knötchenbildung, glän-zende Schweißnahtoberfläche) statt-gefunden haben. Unzulässige Unregelmäßigkeiten wur-den im Rahmen der visuellen Prüfung nicht festgestellt. Gegen die Inbetriebnahme des einge-schweißten Lüftungsstutzens bestan-den aus Sicht von TÜV SÜD keine Bedenken.

7. Fazit

Erstmals wurde eine Trinkwasser-Druckleitung der Nennweite 1500 mit-tels Subline-Verfahren saniert. Die Ver-anlassung hierfür bestand darin, dass die bisherigen Sanierungsverfahren zur Senkung der Leckrate auf den undich-ten Spannbetonabschnitten der Druck-leitung 3 der Landeswasserversorgung kein nachhaltiges und damit zufrieden-stellendes Ergebnis sichern konnten. Eine besondere Herausforderung bestand – neben der großen Nennwei-te – darin, dass die Hauptleitung 3 im Sanierungsabschnitt einschließlich der Entleerungs- und Befüllungsvorgänge bei sorgfältiger Vorbereitung und maxi-maler Bewirtschaftung der Behälter-volumina nur maximal vier Tage außer Betrieb gehen konnte. Nachdem aus Kostengründen der Neu-bau einer Parallelleitung verworfen wurde, war dieser enge Zeitkorridor eines der maßgebenden Kriterien zur Auswahl des Sanierungsverfahrens. Hier bestehen die Vorteile des Subline-Verfahrens darin, dass wesentliche Fer-tigungsschritte außerhalb der zu sanie-renden Rohrleitung auf der Baustelle ablaufen, d. h. die zu sanierende Lei-tung kann bis zum Einziehvorgang in Betrieb bleiben. Umfangreiche Vorun-tersuchungen ergaben, dass der PE 100-Liner (SDR 61, d. h. 24,3 mm

Wandstärke bei $D_a = 1.480$ mm, C.o.F. = 1 %) sowohl den hydraulischen als auch den hydrodynamischen Beanspru-chungen (Druckstöße) standhält. Um auf den Neubau eines Lüfterschach-tes verzichten zu können, musste nach dem Einziehen des Liners ein Stutzen DN 500 eingeschweißt werden. Dieser Stutzen wurde in einen bestehenden Lüfterdom DN 600 eingebaut, so dass dieser mitsamt dem Schacht weiter genutzt werden konnte. Die äußerst heikle Aufgabe, den Stutzen in den In-liner DN 1500 einzuschweißen, welcher nach der Beaufschlagung mit Druck noch um mehrere Zentimeter expan-dierte, wurde im Vorfeld durch einen Großversuch getestet und verbessert. Dadurch konnte ein optimaler, störungs-freier Bauablauf gewährleistet werden. Insgesamt verlief die Sanierungsmaß-nahme aufgrund der sorgfältigen Vor-bereitung mit der ausführenden Firma und einer fachkundigen Mannschaft vor Ort überaus erfolgreich. So konnte die Leckrate auf dem ersten Abschnitt mit einer Länge von 550 m durch die In-liner-Sanierung von 15 auf 7 l/s gesenkt werden. Als Fazit ist festzuhalten, dass das Subline-Verfahren auch zur kosten-günstigen Sanierung von Großrohrlei-tungen in der Trinkwasserversorgung geeignet ist.

Hinweis: Das Subline-Verfahren ist patentrechtlich für die Fa. Subterra geschützt.

No impermissible irregularities were identified within the framework of the visual inspection. In the view of TÜV SÜD, there were no reservations against the putting the welded-in ventilation connection piece into operation.

7. Conclusion

For the first time, a drinking water pressure pipeline with a nominal width of DN 1500 was renovated using the subline process. The reason for this was to be found in the fact that the renovation processes applied until now in order to lower the leak rate in the leaking pre-stressed concrete sections of Pressure Pipeline 3 of Landeswasserversorgung were unable to ensure any enduring and thus satisfactory results. One particular challenge (in addition to the large nominal width) related to the fact that Main Pipeline 3 could only be shut down for four days at most in the renovation section including the emptying and filling operations with careful preparation and maximum utilisation of the tank volumes. Having rejected the construction of a new parallel pipeline for cost-related reasons, this tight time corridor was one of the decisive criteria for the selection of the renovation process. Here, the advantages of the subline process are to be found in the fact that essential fabrication steps are taken on the building site outside the pipeline to be renovated, i.e. the pipeline to be renovated can remain in use until the pulling-in oper-

ation. Comprehensive preliminary inves-tigations indicated that the PE 100 liner (SDR 61, i.e. 24.3 mm wall thickness with $D_a = 1,480$ mm, C.o.F. = 1 %) with-stands both the hydraulic and hydrody-namic stresses (pressure surges). In order to be able to make do without constructing a new ventilator shaft, it was necessary to weld in a connection piece DN 500 after the pulling-in of the liner. This connection piece was installed in an existing ventilator dome DN 600 in order to be able to continuing using this together with the shaft. The extremely tricky task of welding the con-nection piece into the inliner DN 1500 which also expands by several centime-tres when pressure is applied was test-ed and improved in advance by means of a large-scale test. It was thus possi-ble to guarantee an optimum, distur-bance-free construction sequence. All in all, the renovation measure pro-ceeded in an absolutely successful way in situ due to the careful preparation with the executing company and a knowledgeable expert team. It was thus possible to lower the leak rate from 15 l/s to 7 l/s in the first section with a length of 550 m by means of the in-liner renovation. As a conclusion, it may be stated that the subline process is also suitable for the cost-favourable reno-vation of large-diameter pipelines in drinking water supply.

Note: The subline process is patented for Subterra.

Literatur References

- [1] DVS Richtlinie 2207-1, Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen; Heizelementschweißen von Rohren, Rohr-leitungsteilen aus PE-HD, DVS-Verlag, Düsseldorf.
- [2] DVS Richtlinie 2202-1, Fehler an Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen; Merkmale, Beschrei-bung, Bewertung; DVS-Verlag, Düsseldorf.
- [3] DVS Richtlinie 2203-1, Beiblatt 3, Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen; Prüfverfahren - Anforderungen, DVS-Verlag, Düsseldorf.
- [4] DVS Richtlinie 2207-4, Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen; Extrusionsschweißen; Tafeln und Rohre, DVS-Verlag, Düsseldorf.
- [5] DVS Richtlinie 2212-1, Prüfung von Kunststoffschweißern, Prüfgruppe I und II, DVS-Verlag, Düsseldorf.
- [6] DVGW Arbeitsblatt W 400-2; Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWW); Teil 2: Bau und Prüfung; Deut-sche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V., Technisch-wissenschaftlicher Verein.
- [7] DVS Richtlinie 2210-1, Beiblatt 2, Industrierohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen; Projektierung und Ausführung; Oberirdische Rohrsysteme; Empfehlungen zur Innendruck- und Dichtheitsprüfung, DVS-Verlag, Düs-seldorf.
- [8] Haakh, F.: „Sanierung einer Spannbetondruckleitung DN 1500 mittels HDPE-Inliner“ in Sonderdruck aus GWF Was-ser Abwasser 148 (2007) Nr. 45, Oldenburg Industrieverlag GmbH, München, Seite 375 bis 380.