

Bauüberwachung auf der OPAL – Ostsee-Pipeline-Anbindungsleitung (DN1400, PN100)

R. Eckrich, M. Muth und F. Stidronski, Ludwigshafen/Rhein, Kassel

1 Einleitung

Als Beitrag zur langfristigen Sicherstellung der Versorgung Europas mit Erdgas als Energieträger und zur Erhöhung der Liefersicherheit wurde mit dem Bau der Ostsee-Pipeline (genannt auch Nordstream-Pipeline) eines der größten europäischen Infrastrukturprojekte gestartet. Die Kapazität der Nordstream beträgt etwa 55 Mrd. m³/Jahr.



Bild 1: Einbindung der Ostseepipeline in das europäische Pipelinennetz /_Quelle: WINGAS

Die Einbindung der Ostsee-Pipeline in das europäische Pipelinennetz erfolgt in einer ersten Stufe durch die Ostsee-Pipeline-Anbindungsleitung (OPAL). Die OPAL führt vom Anlandepunkt der Nordstream bei Greifswald über eine Strecke von 470 km bis an die Tschechische Grenze und schafft damit einen unmittelbaren Zugang zu den weltgrößten Erdgasreserven. Die OPAL hat eine Kapazität von 36 Mrd. m³/a und ist damit eine der größten bislang in Europa verlegten Pipelines.

Die Anbindung weiterer europäischer Mitgliedsstaaten wie beispielsweise der Niederlande, Belgien, Frankreich und Großbritannien erfolgt dann durch die Nord-europäische Erdgasleitung (NEL) die ebenfalls von Greifswald über eine Länge von 440 km bis zum Erdgasspeicher nach Rehden führt. Planung und Bau der OPAL erfolgen durch die WINGAS GmbH & Co. KG im Auftrag der Netzbetreiber OPAL NEL Transport GmbH (ONTG) und EON Ruhrgas Nord Stream Anbindungsleitungsgesellschaft (ERNA).

2 Daten zur OPAL

Die OPAL verläuft durch die drei Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern (100 km), Brandenburg (270 km) und Sachsen (100 km), verfügt über zwei Verdichterstationen (Greifswald, Radeland), 30 Absperrstationen und quert 172 Straßen, vier Autobahnen, 27 Bahnstrecken und 39 größere Gewässer.



Bild 2: Verlauf der OPAL /_Quelle: WINGAS

Durchmesser:	1420 mm (DN 1400)
Werkstoff:	L485 MB (StE 480.7 TM)
Wanddicke:	22,3 mm
Rohrlänge:	~18 m
Masse je Rohr:	~ 15 t
Leitungslänge:	472,5 km
Anzahl Rohre:	~ 27.000 Stück

Tabelle 1: Technische Daten der OPAL

3 Regelwerk und Prüfumfang

Fernleitungen der öffentlichen Gasversorgung mit Drücken p > 16 bar (Gashochdruckleitungen) unterliegen in Deutschland dem Energiewirtschaftsgesetz und sind in der Gashochdruckleitungsverordnung (Gas-HDrLtgV) erfasst. Nach § 6 dieser Verordnung darf eine Gashochdruckleitung erst in Betrieb genommen werden, wenn ein anerkannter Sachverständiger aufgrund einer Prüfung der Dichtheit, Festigkeit und hinsichtlich des Vorhandenseins der notwendigen Sicherheitseinrichtungen bescheinigt hat, dass gegen die Inbetriebnahme der Leitung keine Sicherheitsbedenken bestehen.

Die Umsetzung der Gashochdruckleitungsverordnung wird durch Anwendung des Regelwerkes der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) präzisiert, wobei die schweißtechnischen Anforderungen im Arbeitsblatt GW350 geregelt sind. Dieses Arbeitsblatt legt den Stand der Technik für die Herstellung, Prüfung und Bewertung von Schweißnähten an Stahlrohrleitungen in der Gasversorgung fest und wird in Verbindung mit der DIN EN 12732 „Gasversorgungssysteme; Schweißen von Rohrleitungen aus Stahl; funktionale Anforderungen“ angewendet.

Archäologische Untersuchungen

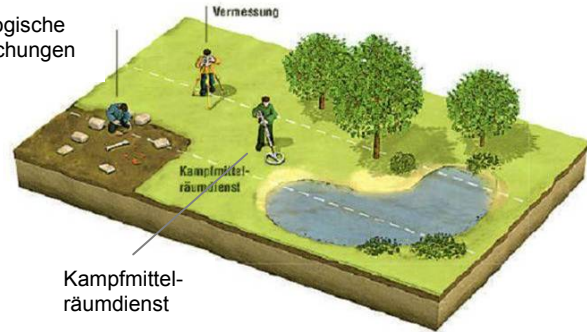


Bild 3: Vorbereitung der Trasse /_Quelle:_ WINGAS

Neben den Anforderungen an die ausführenden Rohrleitungsbauunternehmen und deren Schweißpersonal werden auch der Umfang der zerstörungsfreien Prüfungen der Schweißnähte sowie die Anzahl der je Bauabschnitt zu entnehmenden „Testnähte“ festgelegt. Die je eingesetztem Schweißverfahren aus laufender Produktion zu entnehmenden Schweißnähte dienen dem Nachweis, dass die geforderten mechanisch-technologischen Eigenschaften eingehalten werden.

Nach Abschluss der Vorbereitungen und nachdem der Mutterboden sorgsam abgetragen wurde, werden die Rohre entlang der geplanten Trasse ausgelegt (Phase II).

Die Maßgaben des Regelwerkes werden durch weitergehende - das gesamte Projekt umfassende - Qualitätsanforderungen der WINGAS (WINGAS-Ingenieurhandbuch) ergänzt. Aus schweißtechnischer Sicht zielen diese Ergänzungen vornehmlich auf die Herstellung und Prüfung der Schweißnähte sowie tangierende Themen, sie können aber auch höhere Anforderungen hinsichtlich konkreter mechanisch-technologischer Eigenschaften beinhalten. Die Überwachung der Einhaltung dieser Anforderungen übernehmen die von der WINGAS eingesetzten Schweißinspektoren, auf deren Arbeit sich auch der Sachverständige im Rahmen seiner Begutachtung abstützt.

Verlegen der Rohrfernleitung (Phase III):

Wesentliche Prozessschritte beim Verlegen der Fernleitung sind das Rohrbiegen, das Verschweißen einzelner Rohre zu Strängen einschließlich der zugehörigen Prüfungen, das Absenken der Rohrstränge und das Verbinden der Rohrstränge zur Fernleitung. Parallel zur Fernleitung wird ein Lichtwellenleiterkabel verlegt, das zur Überwachung der Pipeline und von Telekommunikationsunternehmen zur Versorgung der Region um die OPAL mit schnellen Internetanschlüssen genutzt wird.

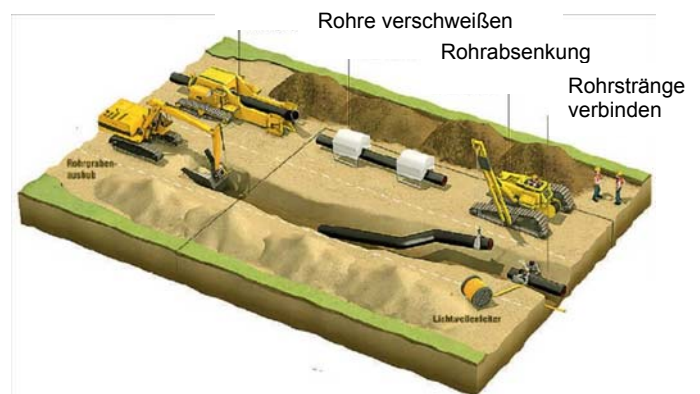


Bild 4: Verlegen der Pipeline /_Quelle:_ WINGAS

4 Bauablauf

Bauvorbereitende Maßnahmen (Phase I):

Vor Baubeginn wird die geplante Lage der Fernleitung vermessen und abgesteckt. Dann wird die Trasse zum Beispiel auf Blindgänger aus dem 2. Weltkrieg und ähnliche Relikte untersucht und gegebenenfalls davon befreit. Parallel hierzu arbeiten entlang der Leitungstrasse Archäologen, die an 280 Ausgrabungsstellen fündig wurden und diese nun eingehender untersuchen.

Vermessung

Alle Schweißnähte werden umfangreichen zerstörungsfreien Prüfungen mittels Ultraschall- (UT), Röntgen- (RT) und Oberflächenrissprüfung unterzogen. Die Integrität der fertig gestellten Pipeline wird abschließend mittels Druck- und Dichtheitsprüfung nachgewiesen.

Renaturierung (Phase IV)

Nach Abschluss der Bauarbeiten und Verfüllen des Rohrgrabens beginnt die Rekultivierung der Landschaft, wobei in den jeweiligen Regionen von WINGAS entwickelte und zur Landschaft passende Renaturierungskonzepte umgesetzt werden. Von den gelben Markierungspfählen abgesehen erinnert nichts mehr an den Verlauf der ehemaligen Baustelle.

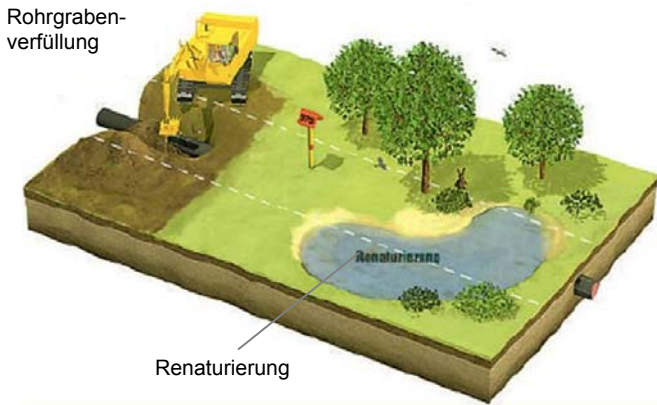


Bild 5: Renaturierung der Trasse /_Quelle:_ WINGAS

5 Schweißen im Pipelinebau

Die Schweißtechnik im Pipelinebau war über einen langen Zeitraum durch das Fallnahtschweißen mittels celluloseumhüllter Stabelektroden bestimmt. Dieser hinsichtlich der Schweißgeschwindigkeit optimierte manuelle Schweißprozess hat einige prozessbedingte Nachteile, wie beispielsweise die erhöhte Gefahr der Rissbildung durch den Wasserstoffgehalt aus der Umhüllung. Allein dieser Nachteil behinderte eine weitere Optimierung der Fertigungszeiten im Pipelinebau, da die zerstörungsfreien Prüfungen frühestens 24 Stunden nach dem Schweißen durchgeführt werden dürfen.

Bei der Verlegung der OPAL hingegen kommen im Bereich des Vorbaus ausschließlich maschinelle Schweißprozesse zur Anwendung. Vorteile der maschinellen Schweißungen sind unter anderem höhere Schweißgeschwindigkeiten und somit eine höhere Produktivität und ein geringerer Bedarf an qualifizierten Handschweißern. Außerdem entfallen die spezifischen Nachteile der Schweißung mittels celluloseumhüllter Stabelektroden, was die Möglichkeit einer zeitnahen Prüfung der Schweißnähte eröffnet und zu verbesserten mechanisch-technologischen Eigenschaften der Schweißverbindungen führt.

Bei den eingesetzten Schweißverfahren handelt es sich um herstellereigenspezifische Kombinationen basierend auf den Prozessen MAG-Massivdraht (fallend) mit/ohne Gegenlage für die Wurzelschweißung und MAG-Massivdraht (fallend) oder MAG-Fülldraht (steigend) für die Füll- und Decklagen. Die Hersteller haben im Zuge ihrer Entwicklungsarbeiten auch die Schweißnahtgeometrie im Hinblick auf ein reduziertes Nahtvolumen verändert und auf die speziellen Bedürfnisse der jeweiligen Schweißtechnologie angepasst.

Die sich aus der Vielzahl der verschiedenen Schweißprozesse und den unterschiedlichen Nahtgeometrien ergebenden Konsequenzen für den Bauherrn und die Abnahmeorganisation werden im Rahmen des Vortrages eingehender dargestellt.

Das Schweißen der Verbindungsnahte erfolgt weiterhin „klassisch“ mittels celluloseumhüllter (Wurzelschweißung) und basischer (Füll- und Decklagen) Stabelektroden.

6 Qualifikation der Schweißprozesse und der Schweißer

Der Einsatz maschineller Schweißprozesse mit unterschiedlichen Nahtvorbereitungen bedingt, dass die nachfolgend eingesetzten Prüftechniken – insbesondere die Ultraschallprüfung – auf das jeweilige Prüfverfahren einschließlich der zugehörigen Nahtvorbereitung abgestimmt werden. Die Qualifizierung der maschinellen Schweißverfahren erfolgt deshalb teilweise bereits vor der Auftragsvergabe, in dem beispielsweise im Rahmen laufender Projekte Testnähte entnommen werden oder eigens unter Baustellenbedingungen geschweißt werden. Derartige Schweißungen erfolgen stets im Beisein eines Schweißinspektors der WINGAS (BASF) und eines zugelassenen Sachverständigen, wobei stets auch verschiedene Reparaturen simuliert werden.



Bild 6: Baustellenbedingungen bei Verfahrensprüfungen

Als Prüfgrundlage zur Durchführung der Schweißverfahrensprüfungen dient die EN ISO 15614-1 unter Berücksichtigung des DVGW-Regelwerks und des WINGAS-Ingenieurhandbuchs. Die mechanisch-technologischen Prüfungen werden in einem zugelassenen Prüflabor im Beisein des Sachverständigen durchgeführt. Die Qualifikation des eingesetzten Bedienpersonals nach DIN EN 1418 ist in diesen Prüfungen miteinbezogen.



Bild 7: Simulation einer Nahtreparatur

Die Qualifikation der Schweißer für die Verbindungs-nähte und die Reparaturen nach EN 287-1 muss nach den Anforderungen im GW350 unter Baustellenbedingungen erfolgt sein. Hiernach sind die Schweißungen im Bauteilabstand 40 cm zum Boden und mit einer seitlichen Begrenzung von 60 cm durchzuführen, um den Anforderungen im Rohrgraben Rechnung zu tragen.



Bild 8: Schweißen im Rohrgraben

7 Druckprüfungen auf der OPAL

Nach Abschluss aller Verlegearbeiten wird die OPAL von speziell geschulten Sachverständigen der TÜV Technische Überwachung Hessen GmbH einer Stresdruckprüfung nach VdTÜV Merkblatt 1060 unterzogen. Der Stresstest ist eine besondere Form der Wasserdruckprüfung von Rohrleitungen und ermöglicht das Auffinden und Aussondern kritischer Fehler, welche die Festigkeit beeinflussen können. Beim Stresstest werden alle Bauteile einer Rohrleitung bis an die Streckgrenze belastet. Durch die dabei erreichten hohen Drücke lassen sich Formabweichungen zurückbilden oder minimieren sowie Eigenspannungen im Rohr und an den Schweißverbindungen abbauen. Der Stresstest ergänzt als integrales Verfahren die Methoden zur Bewertung des Ist-Zustands von Fernleitungen und kann zudem eine spannungstechnische Zustandsverbesserung ermöglichen. Hierdurch werden Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit neuer sowie bestehender Leitungssysteme verbessert.

Prinzip:

Die Druckerhöhung bis zur Streckgrenze des Materials erfolgt in Druckerhöhungsschritten zu 0,2 bar und wird im Messwagen mittels eines Kolbenmanometers (Druckwaage) bei gleichzeitiger Kontrolle des zugeführten Volumens überwacht.

Am Ende des Proportionalbereiches (Streckgrenze) ändert sich die bis dahin linear ansteigende zugepumpte Wassermenge pro bar Druckanstieg (Aufpumprate). Nach Beginn der plastischen Verformung wird der Druck abgesenkt und anschließend erneut

bis an diese Grenze erhöht. Dieser Vorgang wird bis zum Erreichen des berechneten Prüfdruckes bzw. der zuvor rechnerisch ermittelten zulässigen zusätzlichen Wassermenge (material- und volumenabhängig) und damit des zulässigen Verformungsgrades wiederholt. Dabei stellt sich ein Effekt ein, bei dem sich nach jeder Druckerhöhung das Ende der elastischen Soll-Linie zu höheren Drücken hin verschiebt. Die so erreichten Prüfdrücke liegen bei der OPAL etwa im Bereich des 1,8 fachen des Leitungsnennndruckes.



Bild 9: Überwachung der Druckprüfung mittels rotierendem Kolbenmanometer, Volumenzähler und Druckschreiber

Das maximal zulässige Volumen je Druckprüfungsabschnitt beträgt auf der OPAL 10.000 m³. Die erforderliche Druckanstiegsgeschwindigkeit von etwa 5 bar/min ($\cong 4 \text{ m}^3/\text{min}$) bei einem Gegendruck von 190 bar erfordert eine Maschinenleistung von $\sim 0,75 \text{ MW}$, wozu 2-3 parallel geschaltete dieselbetriebene Hochdruck-Kreiselpumpen eingesetzt werden müssen.

Bei der sich aus dem Volumen von 10.000 m³ ergebenden durchschnittlichen Länge eines Druckprüfungsabschnittes von etwa 6.000 m und einem Zeitbedarf von etwa 2 Wochen je Druckprüfungsabschnitt ist leicht erkennbar, dass alleine die Druckprüfungen eine organisatorische und logistische Herausforderung darstellen.

Dichtheitsprüfung: Im Anschluss an die Festigkeitsprüfung wird eine Dichtheitsprüfung nach dem Druck-Temperatur-Messverfahren (D-T-Verfahren) gemäß VdTÜV-Merkblatt 1051 durchgeführt, wobei Volumenänderungen von $\leq 4 \text{ Liter/Stunde}$ bei dem genannten Volumen nachzuweisen sind.

8 Ausblick

Mittlerweile sind die Schweißarbeiten im Vorbau weitestgehend abgeschlossen und die ersten Stresdruckprüfungen wurden erfolgreich durchgeführt.

Die Erfahrungen haben gezeigt, dass derartige Großprojekte nur durch den konsequenten Einsatz automatisierter Schweißprozesse in den vorgegebenen Zeiten abgewickelt werden können. Der umfassende Einsatz automatisierter Schweißprozesse erfordert jedoch eine frühzeitige und gesteuerte Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten. Darüber hinaus muss – gerade zu Beginn der Schweißarbeiten – die geforderte Qualität durch eine intensive Bauüberwa-

chung mit qualifiziertem Personal sichergestellt werden.