

Seitliches Verziehen einer unter Innendruck stehenden Gashochdruckleitung

Lateral rerouting of a high-pressure gas pipeline subjected to internal pressure

Ausgelöst durch die geplante Verbreiterung des Mittellandkanals, wurde die BEB Erdgas und Erdöl GmbH dahingehend gefordert, eine Gashochdruckleitung aus dem Einflußbereich der Baustelle zu entfernen. Beim Verbleib der Leitung in ihrer bisherigen Lage hätte sie innerhalb der Uferböschung und somit in einem nicht vorschriftsgemäßen und damit unsicheren Zustand gelegen.

Nach einer Phase der Meinungsbildung, die die externen und unternehmensspezifischen Kriterien berücksichtigte, entschieden sich alle Beteiligten für das seitliche Verziehen der Leitung. Die Schwerpunkte dieser Festlegung basierten auf dem Bereich der Versorgungssicherheit der nachgeschalteten Industrieanlagen, den Belangen der Sicherheit, des Umwelt- bzw. Naturschutzes und der technischen Machbarkeit zu wirtschaftlichen Bedingungen. Die technischen Herausforderungen bestanden im wesentlichen aus den rechnerischen Vorbetrachtungen, den beengten Platzverhältnissen und letztendlich in der Realisierung der Maßnahme unter Betriebsdruck.

Die seitliche Lageveränderung um bis zu 2,5 m und eine gleichzeitige Absenkung um ca. 15 cm führte mit der damit verbundenen visuellen Überprüfung zu der erforderlichen Erhaltung des Sicherheitsniveaus der Erdgastransportleitung.

Mit dem Verziehen der Leitung wird ein Verfahren dargestellt, das sowohl die technische Sicherheit als auch die wirtschaftlichen Belange gewährleistet. An diesem Projekt wird klar, daß kein Widerspruch zwischen diesen, im ersten Ansatz unterschiedlichen, Gesichtspunkten vorhanden sein muß.

In view of the planned widening of the Mittelland Canal, BEB Erdgas und Erdöl GmbH was requested to move one of its high-pressure gas pipelines out of the area affected by the work site. This line would subsequently have been situated under the canal-side embankment, and thus in an unapproved and also unsafe location, if had not been relocated.

Following a discussion phase which took account of both external and company criteria, all parties involved decided in favour of the lateral relocation of the pipeline. The prime considerations in this decision were based on the needs of the utility's industrial customers for an assured gas supply, safety, protection of the environment and nature in general, and technical feasibility at rational cost. The main technical challenges consisted essentially of the preceding mathematical studies, the constricted space available, and finally, the achievement of the work at operating pressure.

Lateral relocation by as much as 2.5 m and simultaneous lowering of the pipeline by around 15 cm resulted, in combination with the necessary visual inspection, in the maintenance of the necessary safety level for this natural gas line.

The rerouting of the pipeline illustrates a method which both assures technical safety and satisfies economic requirements. This project demonstrates that these apparently diverse criteria need not be contradictory.

Darstellung der Ausgangssituation

Eine Gashochdruckleitung der BEB Erdgas und Erdöl GmbH (BEB) – Anschlussleitung für das Volkswagenwerk in Wolfsburg – verläuft auf einer Länge von ca. 1600 m zwischen dem Zaun des Werksgeländes und der Böschung des Mittellandkanals in einem rund 10 m breiten, bepflanzten Grünstreifen und endet in der Nähe des Hafens auf dem VW-Werksgelände mit einer Molchschleuse. Der Grünstreifen war, bis auf den freige-

haltenen vorhandenen 4 m breiten Schutzstreifen der Leitung, mit Bäumen bewachsen. Das Genehmigungsverfahren für die Kanalverbreiterung war abgeschlossen und somit hatte auch eine Festlegung für die Naturschutz- und Umweltschutzbelange im Randbereich stattgefunden.

Verursacht durch die geplante Verbreiterung des Mittellandkanals hätte die Gashochdruckleitung beim Verbleib in ihrer ursprünglichen Lage auf einer Länge von etwa 300 m im Bereich der Böschung

Dipl.-Ing. Gert Bode



BEB Erdgas und Erdöl GmbH, Hannover; Tel. (04433) 88-256. Leiter der Betrieblichen Planung; Aufgabenbereich: Leitung und Koordination der Instandhaltungsbelange für den Transportbereich.

Dipl.-Ing. Helmut Lührsen



Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, Leipzig; Tel. (0341) 21737-6. Aufgabenbereich: Planung, Berechnung und Bewertung im Rohrleitungs- und Anlagenbau.

des neuen Ausbauprofils des Kanals gelegen. Die vorschriftsmäßige Überdeckung der Gasleitung und damit die Sicherheitsbelange hätten während und nach dem Ausbau nicht mehr gewährleistet werden können. Da die Arbeiten in der Ausbauphase der Kanalverbreiterung mit schwerem Gerät durchgeführt werden sollten, mußte die Umlegung der Leitung vor der fest terminierten Kanalerweiterung erfolgen. Dies führte zu starken terminlichen Zwängen.

Konkretisierung der Anforderungen

Als Grundlage der Entscheidungsfindung für das weitere Vorgehen, wurden vorab die wesentlichen Fakten für die durchzuführende Arbeit zusammengetragen.

- langfristige Sicherung der Leitung,
- Versorgungssicherheit des Kunden,
- keine Unterbrechung der Gasversorgung,
- Sicherung des Umfeldes während der Bauaktivitäten,
- Wahl der optimalen Trasse / Trassenalternativen,
- Überprüfung der technischen Machbarkeit unter Einbeziehung aller Verle-

Tabelle 1: Bearbeitungsmatrix des Projektes

Table 1: Grid-type schedule for the project

Bearbeitungsmatrix				
Kriterien	Planungsphasen			
	1. Vorplanung	2. Detailplanung	3. Durchführung	4. Projektabschluss
Technik	Planungsgespräche mit WSA (Verursachung/Abhilfe) Suche nach Trassenalternativen Voruntersuchung der Rohrstatik Alternativen: Umlegung/seitliches Verziehen/Stopplung Fremdleitungserkundung	Ablauf- und Zeitplanung Verträge mit Eigentümern (WSA) Durchführung der statischen Berechnungen Festlegung der Zuwegung Erstellung von Bau- bzw. Ausführungszeichnungen	Arbeitsprogramme/Freigaben gezielte Umlegung mittels DMS geführter Spannungsverläufe Baustellenkoordination Wasserhaltung Dokumentationsänderung	Abnahmen Trassenabnahme mit dem WSA Bestandspläne
Versorgungssicherheit	Kundengespräche (Information/Findung mögl. Stillstandzeiten) hausinterne Abstimmung mit Marketing und Lastdispatching	Kundeninformation über unterbrechungsfreie Lieferung		Kundeninfo über Abschluß der Maßnahme Info über Abschluß
Sicherheit	Prüfung der Absperrbereiche Risikobetrachtung Arbeitsstreifen	Planung des Arbeitsstreifens/ Abfuhr des Aushubs	Sicherheitsbegehungen Sicherheit der Rohrleitung während der Umlegung Absperrungen	Verbesserungspotentiale für Folgeprojekte festlegen
Umweltschutz	Vorgespräche mit Naturschutzbehörde und Bauamt	Detailaufnahme aller Bäume im Arbeitsstreifen	Schutz von Bäumen und Wurzelwerk	Trassenabnahme mit Naturschutzbehörde
Wirtschaftlichkeit	Betrachtung der Kriterien unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten			Nachbetrachtung ob Annahmen eingetroffen sind
Ergebnis	Projekt ist in seinem technischen und wirtschaftlichen Rahmen festgelegt	alle zu spezifizierenden Maßnahmen für die Projektumsetzung sind festgelegt	die Umlegung ist durchgeführt	Maßnahme ist erfolgreich abgeschlossen

gealternativen und der daraus resultierenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.

Zur Herbeiführung einer optimalen Lösung erfolgte ein Abstimmungsgespräch zwischen der BEB (Planung und Betriebsführung) und einem Beratungsunternehmen. Tabelle 1 zeigt die Bewertungsmatrix, in der die unterschiedlichen Belange, die in den einzelnen Planungs- und Ausführungsphasen zu berücksichtigen waren, eingetragen sind.

Entscheidungsprozeß für seitliches Verziehen

Externe Einflüsse

Nachdem das Kanalneubauamt als Eigentümer der Leitungstrasse die BEB über den Ausbau des Mittellandkanals in diesem Streckenabschnitt informiert hatte, wurde für die Trassenfindung eine detaillierte Bestandsaufnahme durchgeführt. Bei der Planerstellung wurden die neue Kanaltrasse ebenso wie alle Bäume im ca. 10 m breiten Kanalseitenraum aufgenommen. Diese Planerstellung hatte für den weiteren Abstimmungsprozeß und die Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden großen Nutzen. Um einen sicheren Abstand von der Kanalböschung zu bekommen, wurde für die

mögliche neue Trasse ein Mindestabstand von 28 m zur Kanalachse festgelegt. Diese Forderung bereitete jedoch einige Probleme, da durch das Genehmigungsverfahren für den Kanalausbau bereits alle Naturschutzauflagen im Randbereich des Kanals festgelegt waren. Um aus dem eingengten Seitenbereich des Kanals herauszukommen, erfolgten alternativ Trassenuntersuchungen in den angrenzenden Grundstücksparzellen. Die Gespräche mit dem Eigentümer dieser Flurstücke ergaben, daß in diesem Bereich aufgrund von Bahn-, Straßen- sowie obertägiger und untertägiger Leitungstrassen ein zusätzlicher Leitungsbau nur unter sehr erschwerten Bedingungen möglich war. Der für die Baumaßnahme erforderliche Arbeitsstreifen mußte somit bei allen Varianten erheblich eingengt werden.

Für die Kanalverbreiterung war das Fällen von Bäumen und die Beseitigung des Wurzelwerkes in unmittelbarer Leitungsnähe erforderlich. Um hierbei eine Gefährdung der Leitung, die durch die Entfernung der Wurzelstöcke entstehen konnte auszuschließen, wurden Untersuchungen über die Beeinflussung der Gasleitung und des damit parallel verlaufenden Informationskabels durchgeführt. Durch das seitliche Abräsen des Wurzelwerkes

wurde eine Schädigung der Gashochdruckleitung beim Entfernen der Bäume bzw. der Wurzeln verhindert.

Technische Kriterien

Die für die Umlegung maßgeblichen Technischen Vorschriften und Sicherheitsanforderungen wurden zur Entscheidungsfindung durch eine Gruppe von Fachleuten herangezogen und entsprechend berücksichtigt. Hierbei war es von größter Wichtigkeit die Gefährdung Dritter auszuschließen. Dies konnte durch eine exakte Vorplanung, sichere technische Berechnung und letztlich durch Absicherung (Sperrung des gesamten Arbeitsstreifens) erreicht werden.

Ebenso war die Funktionsfähigkeit der Gasleitung während der gesamten Bauphase erforderlich. Dieses Kriterium hatte entweder die Neuverlegung mit anschließender Einbindung mittels Stoppeln oder eine Umlegung unter Betriebsdruck (seitliches Verziehen) zur Folge.

Unter Berücksichtigung der vorgeannten Ausgangsbedingungen und einer umfangreichen Vorplanung wurde eine Machbarkeitsstudie für die unterschiedlichen Varianten unter Einbeziehung der behördlichen Auflagen erarbeitet. Darauf basierend erfolgte die Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsbetrach-

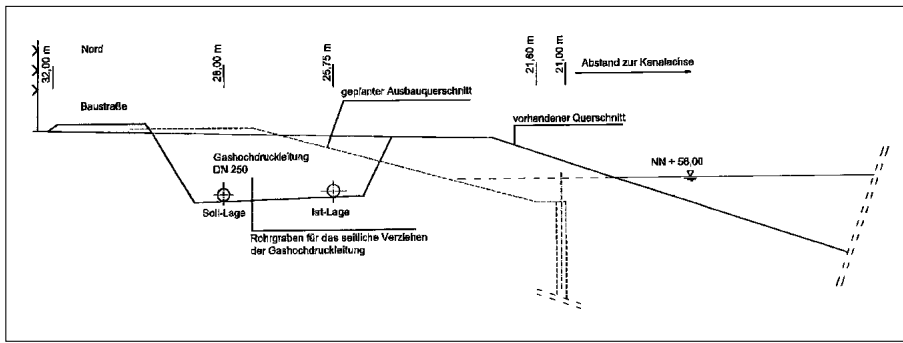


Bild 1: Prinzipskizze zur Verbreiterung des Mittellandkanals
 Fig. 1: Diagram in principle of the widening of the Mittelland Canal

ung. Diese ergab, daß bei Einhaltung aller geforderten Bedingungen die Variante des seitlichen Verziehens um etwa 30 % preisgünstiger als eine Neuverlegung ist. Daraus resultierend entschied man sich für das im folgenden beschriebene seitliche Verziehen der Leitung.

Unternehmensspezifische Kriterien

Bei der Vorplanung, der Machbarkeitsstudie, der Wirtschaftlichkeitsstudie sowie der Bauausführung wurde der Sicherheit der höchste Stellenwert eingeräumt. Für die langfristige Sicherung der Leitung und der damit verbundenen Versorgungssicherheit wurde ein hohes Maß an technischem Wissen und handwerklichem Können durch die Beteiligten eingebracht. Dank der guten Zusammenarbeit mit den entsprechenden Behörden konnte auch in diesem kritischen Gelände eine geregelte Bauausführung sichergestellt werden. Die Naturschutzbelange wurden besonders ernst genommen, da in der Trasse die Bäume, Wurzeln und nicht zuletzt der optische Eindruck der Bepflanzung einen wesentlichen Einfluß auf den Baustellenablauf hatten.

An diesem Bauvorhaben wurde einmal mehr klar, daß Sicherheit, Umweltbewußt-

sein und Wirtschaftlichkeit keinen Widerspruch darstellen.

Berechnung / Bemessung

Bei der statischen Berechnung und Bemessung von eingedeckten Rohrleitungen erfolgt die Bemessung nur für den Hauptlastfall Innendruck. Zusatzbeanspruchungen beispielsweise aus Erdauf- last oder Verkehrslasten sind im allgemeinen vernachlässigbar. Treten jedoch zusätzliche signifikante Längsspannungen beispielsweise aus örtlicher Verbiegung des Rohrstranges auf, so sind diese ebenfalls bei der statischen Berechnung zu berücksichtigen.

Die einschlägigen Normen wie zum Beispiel DIN 2413 [1] und DIN 2470 [2] für Gashochdruckleitungen sowie das Arbeitsblatt A 127 der ATV [3] und das VdTÜV-Merkblatt 1063 [4] weisen lediglich auf diese Längsspannungen hin, geben aber weder Berechnungsverfahren noch Sicherheitskonzepte für die Berücksichtigung von Längsspannungen an.

Für diese Gashochdruckleitung, die neben dem Innendruck auch noch Zusatzbeanspruchungen in Längsrichtung sollte, ist der Vergleichsspannungsnach-

weis zu führen. Im vorliegenden Fall wurde die vorhandene Umfangsspannung aus Innendruck nach dem Formelwerk der oben genannten Normen ermittelt.

Für die Ermittlung der Zusatzbeanspruchungen infolge des seitlichen Verziehens der Gashochdruckleitung wurde eine Berechnung nach der Methode der Finiten Elemente (FEM) durchgeführt, wobei die Rohrleitung als räumliches Stabwerk generiert wurde. Diese Vereinfachung war zulässig, da die Zusatzbeanspruchung aus dem seitlichen Verziehen nach der Balkentheorie ermittelt werden kann. Mit der bekannten Umfangsspannung aus Innendruck und den bei der FEM-Berechnung ermittelten Längsspannung konnte so für die Gashochdruckleitung der Vergleichsspannungsnachweis geführt werden. Die Berechnung nach der FEM-Methode war erforderlich, da die sich einstellende Verformungsfigur und die daraus resultierenden Zusatzbeanspruchungen nicht nur von den tatsächlich auftretenden Haft- und Gleitreibungswerten, sondern auch noch von der Eigensteifigkeit der Gashochdruckleitung abhängen. Literaturrecherchen ergaben zudem unterschiedliche Haft- und Gleitreibungskoeffizienten, so daß sich in Abhängigkeit dieser Eingangsparameter eine gewisse Bandbreite der erforderlichen Zugkräfte ergab.

Da aufgrund der beengten Platzverhältnisse nur leichtes Gerät für das seitliche Verziehen eingesetzt werden konnte, war es erforderlich, die Leitung im Rohrgraben so zu lagern, daß die für das seitliche Verziehen erforderlichen Kräfte minimiert wurden. Es war geplant, unterhalb der Leitung in Abständen von ca. 8 m beschichtete Kanthölzer als Rohraufleger anzubringen, um die Haft- und Gleitreibungskräfte und damit die erforderlichen Zugkräfte für das seitliche Verziehen zu minimieren.

Bei der FEM-Berechnung wurden unterhalb der Leitung in gleichmäßigen Abständen Auflagerbereiche mit Kontaktelementen generiert, denen die entsprechenden Werte für Haft- und Gleitreibung zugewiesen wurden. Auf der Grundlage dieses Berechnungsmodells wurden für die Bandbreite der Reibungsbeiwerte die erforderlichen Kräfte zum seitlichen Verziehen sowie die daraus für die Leitung resultierenden Spannungs- und Verformungszustände unter der Berücksichtigung der Eigensteifigkeit der Gashochdruckleitung ermittelt.

Mit den bei der Parameterstudie ermittelten Zusatzbeanspruchungen in Längsrichtung der Leitung wurde der Vergleichsspannungsnachweis für die Gashochdruckleitung geführt. Als Ergebnis dieser Parameterstudie konnte das zulässige Maß, um das die Leitung in einem Schritt verzogen werden konnte, errech-



Bild 2: Blick auf den Rohrgraben und die Gashochdruckleitung

Fig. 2: View of the pipeline trench and the high-pressure natural gas transmission line

net werden. Hierdurch war es möglich die Anzahl der erforderlichen Arbeitsschritte und den damit verbundene Zeitaufwand festzulegen.

Statisches Sicherheitskonzept

Bei der Ermittlung des Gesamtspannungszustandes der Gashochdruckleitung wurde für den Vergleichsspannungsnachweis gefordert, daß unter Berücksichtigung der Zusatzbeanspruchungen in Längsrichtung ebenfalls der Sicherheitsbeiwert S eingehalten wird, der auch bei der Bemessung der Gashochdruckleitung nach den einschlägigen Normen angesetzt wurde. Dieses Sicherheitskonzept konnte angewandt werden, da die zulässige Spannung des Werkstoffes durch den Lastfall Innendruck nur zu rund 50 % ausgelastet war und somit noch eine große Tragreserve für Zusatzbeanspruchungen, wie in diesem Fall aus Biegung, vorhanden waren.

Vorbereitende Maßnahmen

Als vorbereitende Maßnahme für das seitliche Verziehen der Gashochdruckleitung wurde der Rohrgraben in einer ausreichenden Breite hergestellt, so daß die Gashochdruckleitung seitlich um ca. 2,5 m verzogen werden konnte. Die Rohrgrabensohle wurde zusätzlich noch mit einem Seitengefälle von etwa 5 % erstellt, um die Leitung beim Verziehen gleichzeitig tiefer zu legen. Die so erreichte Erhöhung der Erdüberdeckung diente während der Baumaßnahmen zur Verbreiterung des Mittellandkanals dem Schutz der Leitung. Bild 1 zeigt einen Querschnitt durch das Verlegeprofil, in der die zu erstellende Baugrube sowie die neue Kanalböschung des künftigen Ausbauquerschnittes des Mittellandkanals eingetragen sind.

Aufgrund der geringen Breite des zur Verfügung stehenden Arbeitsstreifens wurde der Aushub direkt neben dem Rohrgraben gelagert und diente gleichzeitig als Baustraße. Der Mutterboden wurde abgefahren und gesondert gelagert. Bäume, die aus Umweltschutzgründen im Bereich des Arbeitsstreifens verbleiben mußten, wurden durch besondere Baumschutzmaßnahmen, wie zum Beispiel Abpolsterungen und durch das Hochbinden der Kronen geschützt (Bild 2). Aufgrund des geringen Abstandes des Rohrgrabens zum Mittellandkanal und der Tatsache, daß die Rohrgrabensohle unterhalb des Wasserspiegels lag, wurde eine aufwendige Wasserhaltung mittels einer geschlossenen Wasserhaltung erforderlich.

Unterhalb der Leitung wurden die Rohraufleger zur Verringerung der Einziehungskräfte eingebaut. Um sicherzustellen, daß die Schweißnähte die volle Längs-

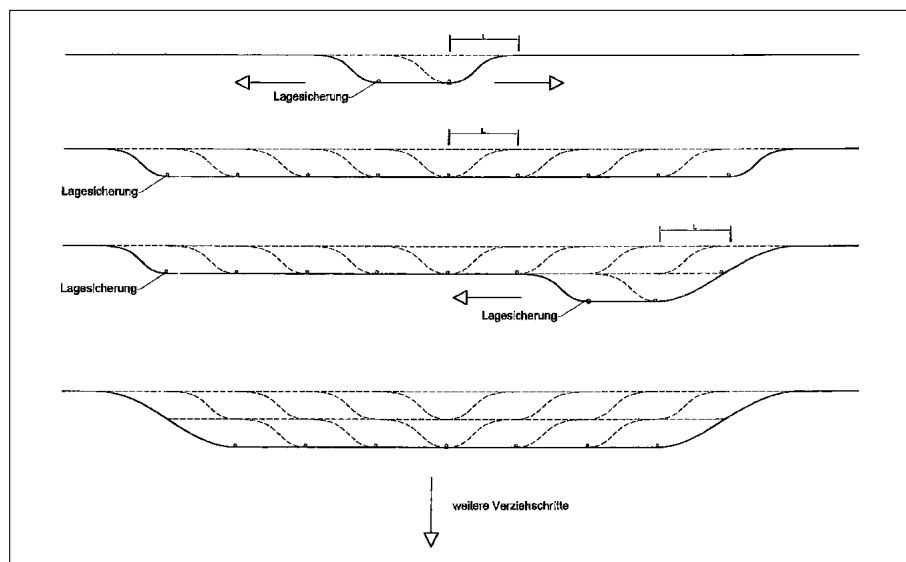


Bild 3: Prinzipskizze seitliches Verziehen

Fig. 3: Diagram in principle of the lateral rerouting operation

tragfähigkeit aufweisen, wurden nach Freilegung der Leitung die Rundschweißnähte im betroffenen Bereich einer zerstörungsfreien Werkstoffprüfung unterzogen. Weiterhin wurden im Bereich, in dem die Leitung verzogen werden sollte, etwa alle 20 m Dehnungsmeßstreifen (DMS) appliziert. Mit Hilfe dieser DMS konnten die beim Verziehen auftretenden Dehnungen gemessen werden und somit erhielt man eine direkte Aussage über die auftretenden Zusatzbeanspruchungen für den jeweiligen Biegeschritt. Dies erfolgte in ständiger Kontrolle mit den zuvor rechnerisch ermittelten Werten und trug somit einen erheblichen Teil zur Gewährleistung der Sicherheit während der Maßnahme bei.

Bauausführung

Das seitliche Verziehen der Gashochdruckleitung erfolgte sukzessive in Einzelschritten und wurde mit einem Bagger mittels geeignetem Hebezeug durchgeführt. Bei einem Einzelschritt wurde die Gashochdruckleitung um rund 40 cm seitlich verzogen, wobei die tatsächlich auftretenden Dehnungen mittels der zuvor applizierten Dehnungsmeßstreifen gemessen wurden. In Bild 3 werden in einer Prinzipskizze die einzelnen Verziehschritte mit der Verschwenklänge (L) dargestellt. Die Gashochdruckleitung wurde in den Lasteinleitungspunkten so abgesichert, daß örtliche Beschädigungen der Leitung und Rohrumhüllung auszuschließen waren.

Vor Lösen des Hebezeugs nach jedem Verziehschritt, wurde die Lage der Leitung mit Stützen fixiert und somit ein Zurückspringen in die ursprüngliche Lage verhindert. Anschließend wurde das He-

bezug gelöst und der Bagger zum nächsten Ansatzpunkt für das Verziehen versetzt. Diese Arbeitsschritte wurden mehrfach von Ansatzpunkt zu Ansatzpunkt in Abständen von rund 20 m über die Verziehstrecke durchgeführt, bis die Gashochdruckleitung ihre Endlage erreichte. Nach dem Erreichen der Endlage erfolgte die Durchführung eines Isotests, um eventuell vorhandene Schadstellen in der Rohrumhüllung aufzufinden. Nach der Verfüllung des Rohrgrabens konnte mit den Arbeiten zur Verbreiterung des Mittellandkanals begonnen werden.

Schlußfolgerung

Mit dem hier beschriebenen Verfahren des "seitlichen Verziehens einer Erdgas-transportleitung" konnte der Nachweis eines in der Praxis realisierbaren, sicheren und wirtschaftlichen Verfahrens nachgewiesen werden. Der wesentliche Vorteil ist in der Tatsache begründet, daß die Leitung nicht außer Betrieb genommen werden mußte und somit während der gesamten Bauphase keine Unterbrechung der Versorgungssicherheit zu befürchten war.

Literatur

- [1] DIN 2413 T1 „Stahlrohre; Berechnung der Wanddicke von Stahlrohren gegen Innendruck“ (1993-10)
- [2] DIN 2470 T2 „Gasleitungen aus Stahlrohren mit zulässigen Betriebsdrücken von mehr als 16 bar; Anforderungen an die Rohrleitungsteile“ (1983-05)
- [3] ATV Arbeitsblatt A 127 „Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen“ (1988-12)
- [4] VdTÜV-Merkblatt 1063 „Technische Richtlinie zur statischen Berechnung eingeeigneter Stahlrohre“ (1975-09)

Weitere Informationen über Kennziffer E251