Flussquerung einer 56"-Gashochdruck-leitung im HDD-Verfahren auf 1800 m

1800 m HDD method river crossing for a 56" high-pressure gas pipeline

Von Jörg Himmerich, Albert Großmann, Michael Lubberger und Jo Eising

Gasfernleitungen werden immer häufiger mit Hilfe des grabenlosen HDD-Verfahrens unter Flüssen und natürlichen Hindernissen verlegt. Der Stand der Technik des HDD-Verfahrens erlaubt es heutzutage, Leitungen über Strecken größer 1.800 m zu verlegen, was jedoch für Leitungsaußendurchmesser ab 56'' noch nie umgesetzt wurde. Das Projekt einer Flussquerung im turkmenischen Karabekaul bot genau solch eine Herausforderung. Dabei war es erforderlich, eine 56''-Gaspipeline auf dem Weg nach China unter dem Fluss Amu Darya grabenlos zu verlegen. Die technischen Herausforderungen lagen, neben der bohrtechnischen Ausführung, vor allem auch in der Planung und Vorbereitung des Projektes. Umfangreiche Untersuchungen und Planungen im Vorfeld führten dazu, dass für dieses außergewöhnliche Projekt ebenso ungewöhnliche Maßnahmen für die Baustellenvorbereitung, Ausführung sowie für das einzusetzende Equipment getroffen werden mussten. Die gelungene Ausführung mittels HDD hat die Einsatzgrenzen der angewandten Verlegetechnik bezüglich der machbaren Leitungsgröße und Querungsstrecke nachhaltig verschoben. Die während der Projektumsetzung gewonnenen Erfahrungen ermöglichen eine differenzierte Betrachtung für zukünftige Großprojekte im Bereich der grabenlosen Pipelineverlegung.

Long-distance gas transmission pipelines are, increasingly frequently, being installed under rivers and other natural obstructions using the trenchless HDD procedure. The current HDD state-of-the-art makes it possible to install pipelines across lengths of greater than 1800 m, a feat which, however, had not yet been attempted for pipelines of ODs of 56" or above. The river-crossing project in Karabekaul, Turkmenistan, offered precisely such a challenge. The requirement was the installation of a 56" gas pipeline under the Amu Darya river, on its route to China, using trenchless methods. The technical challenges were to be found not only in the technical drilling operations, but also, above all, in the planning and preparation of the project. Extensive advance analyses and plans resulted in the necessity for provisions for site preparation, implementation and the equipment to be used which were just as out-of-the-ordinary as the overall project itself. Successful implementation using HDD expanded the boundaries of the installation technology used in terms of the installable pipeline dimensions and crossing length. The experience gained during implementation of this project will permit differentiated analysis for future large-scale trenchless pipeline installation projects.

Bild 1: Bohrprofil HDD-Strecke überhöht

Fig. 1: Superelevated drilling profile of HDD length

Einleitung

Die 2006 beschlossene und seit 2007 im Bau befindliche Turkmenistan-China-Pipeline soll nach ihrer Fertigstellung die chinesische Stadt Xinjiang und die dort beginnende West-East Gas Pipeline (WEGP) mit jährlich ca. 40 Milliarden m³ Gas aus den Gasfeldern Turkmenistans versorgen. Die Gesamtlänge der Pipeline von Turkmenistan über Usbekistan und Kasachstan bis zur chinesischen Grenze beträgt rund 7.000 km.

Auf der rund 200 km langen „Malay-Bagtiyarlik-Passage“ kreuzt die Pipeline zwischen Turkmenistan und Usbekistan den zentralasiatischen Fluss Amu Darya. Der Amu Darya fließt aus Richtung Afghanistan entlang der turkmenisch-usbekischen Grenze und mündet in den Aralsee. An der Querungsstelle säumt linksseitig des Amu Darya ein ca. 10 km bis 20 km breiter landwirtschaftlicher Gürtel den Uferbereich, auf dem vorrangig Baumwolle angebaut wird. Rechtsseitig grenzt die Wüste Karakum an das Ufer. Im Sommer sind Maximaltemperaturen von über 50 °C im Schatten, begleitet von Sandstürmen, keine Seltenheit. Im Winter können die Temperaturen bis zu -20 °C betragen, Bedingungen, die den Bau der Pipeline beeinträchtigen.

Die Kreuzung des Flusses wurde ursprünglich als Brückenbauwerk geplant. Die sehr straffe Terminplanung zur Fertigstellung der Pipeline sowie die erhöhten sicherheitstechnischen Anforderungen an die Pipeline führten die Planer zu dem Schluss, dass eine grabenlose Verlegung mittels HDD eine schnelle, sichere und günstige Variante der Ausführung darstellt. Der Kreuzungspunkt des Amu Darya für die grabenlose Variante blieb die gleiche, wie für das vorher geplante Brückenbauwerk.

Nachdem der Auftraggeber der Pipeline, der turkmenische Staatskonzern Turkmengaz, entschieden hatte, die Baumaßnahme mittels HDD durchzuführen, wurde von dem Auftragnehmer, dem russischen Pipelinebauer Stroytransgaz, kurzfristig ein Partner gesucht, der die Bohrarbeiten am Amu Darya durchführte. Mitte 2009 wurde der Auftrag für die Querung des Amu Darya an das russische Bohrunternehmen Energoperetok vergeben. Es sollte eine 56“-Gasleitung nebst einem parallelen 8“-Kabelschutzrohr verlegt werden. Das für die Bohrung benötigte Equipment wurde im Juli 2009 von Energoperetok bei der Herrenknecht AG in Schwanau bestellt. Der Auftrag über das Detailengineering wurde an die Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH vergeben. Die Aufgaben umfassten neben der Planung der Baustelleneinrichtung auch die Erstellung eines Detailengineerings zu den Maschinenverankerungen und dem Leitungseinzug.

Der Baugrund

Die Querungsstrecke beträgt in der geplanten HDD-Ausführung ca. 1.800 m. Der Höhenunterschied zwischen den beiden Ufern liegt bei ca. 11 m. Die zur Verfügung gestellten geologischen Erkundungsbohrungen sind in Teilen lückenhaft und wurden ursprünglich für die Errichtung der Fundamente des Brückenbauwerkes erstellt. Die vorhandenen geologischen Daten stellten viele Formati-

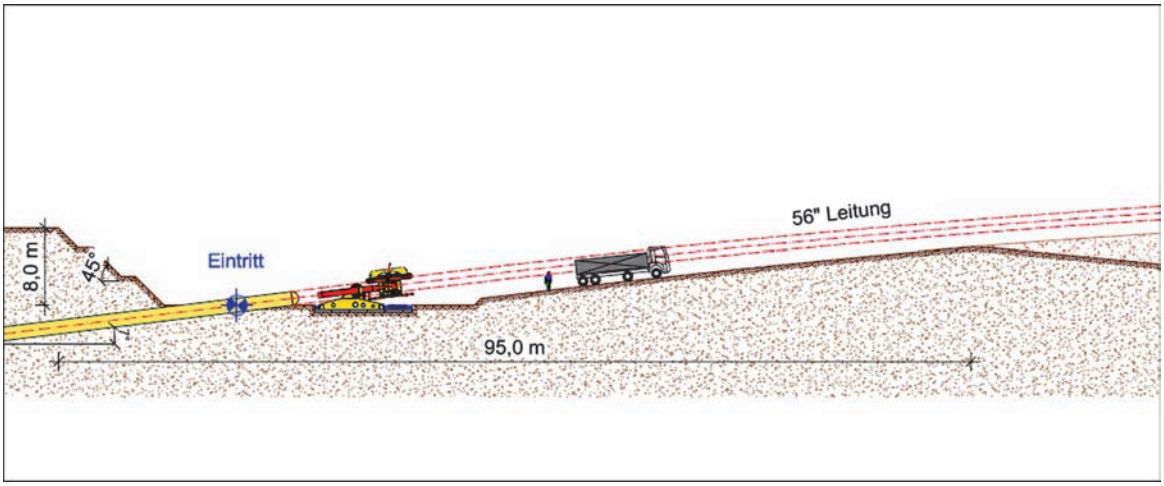

Bild 2: Schnitt Baugrube mit Pipe-Thruster

Fig. 2: Section through installation pit, showing pipe thruster

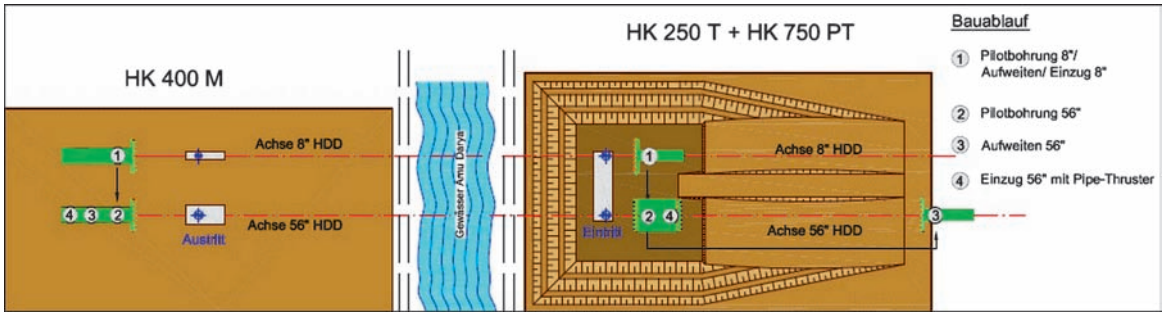

Bild 3: Schema des Bauablaufs
Fig. 3: Diagram of the installation sequence

onswechsel des Bodens dar, von extrem weichem, wassergesättigtem, sandigem Boden, abrasiven Sanden, Lehmen, weichem und hartem Ton bis hin zu kompaktem Sandstein. Speziell auf der höheren Uferseite (Pipeside) waren 200 m der Trasse ohne jegliche geologische Information. Dies betraf den Bereich der Bohrung, der höher liegt und somit aufgrund der hydrostatischen Verhältnisse nicht vom Bentonit gestützt wird (**Bild 1**). Die Spülungstechniker mussten zudem eine Lösung für das salzhaltige Flusswasser finden, um es zum Anmischen der Bentonitspülung verwenden zu können.

Die Bauablaufplanung

Eine erste große Herausforderung war die Entscheidung bezüglich der Richtung der Pilotbohrungen. Aufgrund der geringern Überdeckung der Pilotbohrung zum Flussgrund im Bereich der Pipeside und der anstehenden Bentonitdrücke in der Pilotbohrung war das Risiko eines Ausbläsers in diesem Bereich stark erhöht. Weiterhin war das Auslegen der 56"-Leitung nur auf der Pipeside möglich, verbunden mit der geografischen Besonderheit, dass über eine Strecke von 200 m die Geländeoberfläche auf der Pipeside in ein rund 9 m tiefes Tal überging. Diese Besonderheit stellte eine große Herausforderung für das Auslegen der Pipeline und die Oberbogenkonstruktion dar. Die passende Lösung für die Wahl der Richtung der Pilotbohrung und Leitungsauslegung war der Aushub einer 8 m tiefen Baugrube auf der Pipeside. Damit wurde zum einen der Höhenunterschied und damit die Ausbläsergefahr verringert und zum anderen der anfallende Aushub zur Modellierung des Oberbogens und zum Ausgleich der wechselnden Geländeführung verwendet. Ein weiterer positiver Nebeneffekt war, dass man den Bereich der unbekannten Geologie umging (**Bild 2**).

Bild 4: Aufweiten des 72"-Bohrkanals mit zwei Bohranlagen (Baugrube mit Pipe-Thruster im Vordergrund)
Fig. 4: Widening of the 72" drilled duct using two drilling rigs (working pit and pipe thruster in foreground)

Eine der wichtigsten Maßnahmen zur Risikominimierung im Projekt war es, den Einsatz des HK750 PT Pipe-Thrusters vorzusehen. Dieses Equipment war zur Unterstützung des Einzugvorgangs der 56" Leitung mit der HK400M-Bohranlage geplant. Der Pipe-Thruster kann die Leitung mit einer Kraft von bis zu 750 t in das Bohrloch drücken und bei Bedarf auch mit der gleichen Kraft wieder herausziehen. Der einzige Zusatzaufwand bestand darin, die wirkenden Druck- und Zugkräfte auch mit einer geeigneten Verankerung in den Boden zu leiten, ohne dass sich der Pipe-Thruster von seinem Verankerungspunkt verschiebt.

Durch diese Maßnahmen verringerte sich die Gesamtlänge der Bohrung auf 1.705 m. Mit der Entscheidung, beide Pilotbohrungen aus der Baugrube auf der Pipeside zur eigentlichen Rigside zu bohren, konnte der Eintrittspunkt der Pipeline beim Rohreinzug exakt festgelegt werden. Dieser Umstand hilft insofern, dass schon während der Räumvorgänge das Fundament für den Pipe-Thruster geplant und gebaut werden konnte. Dies erforderte jedoch eine Positionsänderung der HK250T-Bohranlage in der Baugrube nach Erstellung der Pilotbohrung für die 56"-Leitung. Die Maschine wurde ca. 80 m nach hinten an den oberen Baugrubenrand verlegt, um Platz für den Aufbau des Pipe-Thrusters und dessen Verankerung zu schaffen.

Der sehr enge Terminplan, die schwierige lokale Infrastruktur sowie die örtlichen Gegebenheiten, wie z. B. Klima und Unterbringung des Bohrpersonals, stellten zusätzliche technische Herausforderungen mit einem nicht zu unterschätzenden Risikofaktor für das erfolgreiche Gelingen des Unternehmens dar.

Der Bauablauf

Durch den vorgegebenen engen Zeitplan wurde es notwendig, die Baustelle mit zwei Bohranlagen zu planen (**Bild 3**). Der erste Teil des Equipments wurde schon sechs Wochen nach dem ersten Kontakt mit dem Bohrunternehmen Energoperetok mit zwei Flugzeugen vom Typ „Antonow" vom badischen Flughafen Lahr nach Turkmenistan geflogen. Dieses Equipment beinhaltete eine

HK250T-Bohranlage, die dazu benutzt wurde, das erste 8“-Kabelschutzrohr zu verlegen, das mit einem Abstand von 15 m parallel zur 56“-Gasleitung verläuft.

Die Bohranlage wurde auf der Pipeside in der Baugrube aufgebaut, um von dort die Pilotbohrung mittels einer „Jetting Assembly“, mit einem Durchmesser von 12 ½“, zu bohren. Die erste Pilotbohrung diente als Erkundungsbohrung sowie als Referenz für die parallel zu bohrende Pipeline. Um auf die festeren Gesteinsschichten bei der Bohrung vorbereitet zu sein, wurde ein leistungsstarker Bohrmotor mitgeliefert, der in bestimmten Abschnitten der Pilotbohrung eingesetzt wurde. Der Nachteil ist jedoch, dass es bei extrem wechselhafter Geologie und im Speziellen bei weichen Formationen zu einer hohen Drift und damit zur Unterschreitung des geplanten Verlegeradius von 1.400 m kommt. Um diesem Risiko vorzubeugen, wurde der überwiegende Teil der Bohrung gejettet. Nach erfolgreichem Austritt der Pilotbohrung auf der Rigside wurde das 8“-Kabelschutzrohr mit der HK400M-Bohranlage eingezogen (siehe Bild 1). Die Zugkraft betrug dabei maximal 25 t. Nach der Umpositionierung der HK250T-Bohranlage auf die parallele Achse der Pilotbohrung für die 56“-Leitung wurde dann mittels des Vermessungssystems „Paratrack 2“ die zweite Pilotbohrung für die 56“-Leitung erstellt. Die ersten beiden Räumgänge konnten noch allein von der HK250T-Bohranlage durchgeführt werden. Während dieser Zeit wurde auf der Rigside die HK400M-Bohranlage auf die Position der 56“-Leitung umgesetzt (siehe Bild 2). Nach dem Umsetzen der HK400M-Bohranlage wurde der Bohrstrang mit der auf der Rigside stehenden HK250T-Bohranlage verbunden. Beginnend mit dem 36“-Räumgang, wurde mit beiden Anlagen kontrolliert am Bohrstrang gedreht. Hauptvorteil dieser Arbeitsweise ist die Sicherheit, jede Verbindung im Bohrstrang auf das exakte Verschraubmoment zu bringen. Zudem verhindert man, dass Druckkräfte auf den Bohrstrang erzeugt werden, falls sich der Räumer festfährt. Nicht zu unterschätzen ist der Faktor, dass von beiden Seiten des Bohrstrangs Spülung zum Räumer gepumpt werden kann bzw. mittels der zweiten Bohranlage ein definiertes kleines Drehmoment auf den Strang aufgebracht wird. Insgesamt wurde die Bohrung in sechs Räumschritten auf einen finalen Durchmesser von 1,83 m aufgeweitet. Zusätzlich zu den Räumschritten wurden noch vier Reinigungsgänge eingelegt, um sicherzustellen, dass das abgebaute Bohrgut restlos aus dem Bohrloch transportiert wurde (siehe Bild 3). Ein sehr guter Indikator dafür sind die Sandgehalte in der zurückfließenden Bohrspülung, die jeweils einmal pro Bohrstange gemessen wurden, sowie das vorhandene Drehmoment des Bohrstrangs im Bohrloch, das ebenfalls einmal pro Bohrstange überprüft wurde.

Bild 5: Einzug der 56“-Leitung
Fig. 5: Pulling-in of the 56“ pipeline

Speziell bei den großen Räumgängen wurden bis zu fünf Werkzeuge im Verbund mit einer Gesamtlänge bis zu 40 m eingebaut, um das Bohrwerkzeug zu zentrieren. Als Bohrwerkzeug wurden speziell auf die Geologie entwickelte und angepasste „Flycutter“ als Schneidwerkzeuge und „Barrelreamer“ als Zentrier- bzw. Putzwerkzeuge verwendet. Insbesondere die Bestückung und Panzerung war von großer Bedeutung, da ein erheblicher Teil der Bohrung durch verwitterten Sandstein führte. Die Werkzeuge am Umfang der großen Räumstufen mussten sich auf einer Laufstrecke von ca. 1.000 km durch die Geologie fräsen.

Die bisher einmalige Installation und Verankerung des HK750PT-Pipe-Thrusters in einem HDD-Projekt musste während der Arbeiten zur Erweiterung des Bohrloches erfolgen. Um nach Fertigstellung der Pilotbohrung nicht zu viel Zeit mit der Installation des Pipe-Thrusters zu verlieren, wurde die HK250T-Bohranlage hinter das Fundament des Pipe-Thrusters versetzt, um an der Aufweitung des Bohrloches weiterzuarbeiten. Das frei drehende Bohrgestänge wurde dabei durch ein Casing geschützt, um so gesichert die Installations- und Verankerungsarbeiten vornehmen zu können (**Bild 4**).

In Vorbereitung zum anschließenden Rohreinzug wurde die HK250T-Bohranlage samt Verankerung abgebaut und das 56“-Produktrohr mit der HK400M-Bohranlage ca. 100 m zum Pipe-Thruster vorgezogen. Die umfangreichen Umbauarbeiten in der Baugrube konnten bereits nach 36 Stunden abgeschlossen werden. Die Klemme des Pipe-Thrusters war einsatzbereit neben der Pipeline positioniert und wäre im Bedarfsfall innerhalb von zwei Stunden montiert gewesen, um eine zusätzliche Kraft von bis zu 750 t für den Rohreinschub bereitzustellen. Allerdings war der Einsatz des Pipe-Thrusters nicht nötig, da während des 30-stündigen Rohreinzuges zu keiner Zeit ein signifikanter Anstieg der Zugkraft beobachtet wurde. Das Rohr glitt mit einer durchschnittlichen Zugkraft von 134 t in das Bohrloch, die von der HK400M Bohranlage problemlos geleistet werden konnte. Diese niedrigen Zugkräfte lassen darauf schließen, dass die Bohrung ohne größere Abweichungen zum Soll-Profil gebohrt wurde, das Bohrloch gut beräumt war und die Ballastierung des Produktrohres funktionierte (**Bild 5**).

Die Ballastierung erfolgte mit einem DN800-PE-Rohr, das als luftbefüllter Auftriebskörper in der wasserbefüllten 56“-Leitung diente. Zusammenfassend stellte der Supervisor der Bohraktivitäten, Carsten Brückner, fest: „Die Art und Weise, eine Großbohrung so durchzuführen, mit Hilfe der beiden Bohranlagen und dem Pipe Thruster als Sicherheit, führe doch zu einem überschaubaren Risiko und einem kontrollierbaren Bohrprozess“. Es ist Davon auszugehen, dass dieses Prinzip der Durchführung sicher in Zukunft häufiger zum Tragen kommt, speziell bei Bauvorhaben dieser Größenordnung.

Das Detailengineering

Im Detailengineering wurde zu den Baustellenzeichnungen für Baugrube und Maschinenanordnung, die Lösungen zur Maschinenverankerung entwickelt. Neben der HK250T-Bohranlage und HK400M-Bohranla-

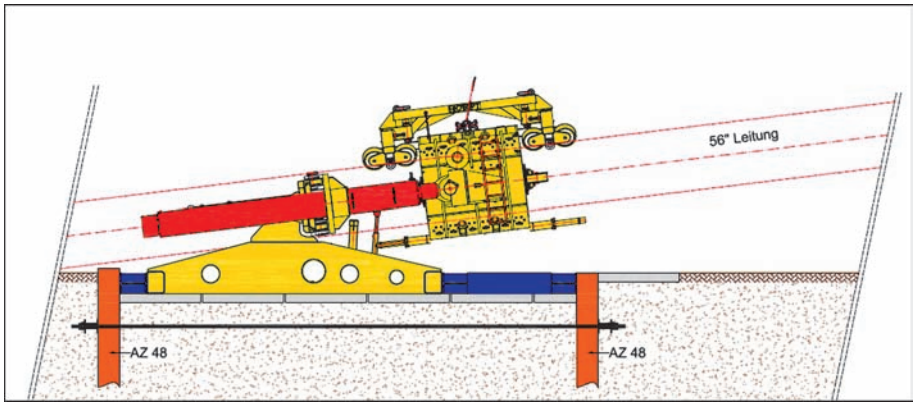

Bild 6: Verankerung des Pipe-Thruster
Fig. 6: Anchoring of the pipe thruster

ge, galt es eine geeignete Verankerungslösung für den 750 t Pipe-Thruster zu entwickeln. Hierzu gehörte, neben der Bemessung der Verankerungskonstruktion auch die detaillierte zeichnerische Darstellung für die Umsetzung vor Ort auf der Baustelle.

Grundsätzlich erfolgte die Maschinenverankerung für die HK250T-Bohranlage und HK400M-Bohranlage an einer Spundwand. Sowohl für die Berechnungen als auch für die Konstruktion wurden AZ48-Profile gewählt, die in eine Tiefe von 8 m gegründet wurden. Die wesentliche Herausforderung in diesem Projekt bestand jedoch darin, die Kräfte des 750 t Pipe-Thrusters mit einer geeigneten Spundwandkonstruktion aufzunehmen. Der Pipe-Thruster entwickelt im Betrieb horizontale Druck- und Zugkräfte von bis zu 750 t sowie vertikale Druck- und Zugkräfte bis 280 t. Erste Berechnungen zeigten, dass eine einzelne, aus AZ48-Profilen bestehende Spundwand diese Kräfte nicht aufnehmen kann. Die Lösung bestand in der Entwicklung einer Doppelsprundwandkonstruktion (**Bild 6**).

Im Detail besteht die Konstruktion aus zwei Spundwänden im Abstand von ca. 10 m, die 8 m tief gegründet und auf einer Länge von 9 m errichtet wurden. Die Spundwände wurden miteinander mit sieben Zugankern verbunden, die die Kräfte auf beide Spundwände verteilen. Der Pipe-Thruster wurde zwischen die beiden Spundwände gesetzt und mit einer Stahlbaukonstruktion an den Spundwänden verankert, um die horizontalen sowie vertikalen Kräfte in die Spundwände einzuleiten. Da vor Ort die geplanten Profiltypen nicht immer zur Verfügung standen, wurden Varianten der Konstruktionen mit unterschiedlichen Profiltypen erstellt.

Die Oberbogenkonstruktion

Eine optimale Oberbogenkonstruktion ist ein wichtiges Element für einen lastverringerten und beschädigungsfreien Einzug der Leitung. Im Rahmen des Projektes wurden die Oberbogengeometrien für die 8“- und 56“-Leitung in ihrer geometrischen Form genau definiert. Eine besondere Herausforderung war die Definition der Oberbogengeometrie für die 56“-Leitung mit einem Biegeradius von 1.400 m.

Die Oberbogengeometrie ist für große Leitungen (> 48“ Außendurchmesser) nicht nur in Abhängigkeit zu den geometrischen Randbedingungen zu ermitteln, sondern auch hinsichtlich der Geländebeschaffenheit und der Auflagerreaktionskräfte auf die führenden Rollenböcke anzupassen. Für den Fall des Zurückziehens der 56“-Leitung galt es, die erhöhten Auflasten aus der Befüllung der Leitung in den Berechnungen zu berücksichtigen. Dazu wurde ein FEM-Modell mit Druck-Federelementen erstellt, das die Auflagerreaktionskräfte der 56“-Leitung berücksichtigt und Aussagen zum Verformungsverhalten der Leitung trifft. Wichtigste Randbedingung jedoch war, die Leitungsschrägstellung von 7° am Pipe-Thruster weder zu überschreiten noch zu unterschreiten, um die 56“-Leitung im gewünschten Eintrittswinkels zwängungsfrei in das Bohrloch einzuziehen. Mit den Ergebnissen aus der Berechnung wurden statische Festigkeitsnachweise zur Leitung geführt und die Anordnung der Rollenböcke definiert. Das Ergebnis für die 56“-Leitung war eine Oberbogengeometrie von 450 m Länge und 13,5 m Scheitelhöhe.

Zusammenfassung

Dieses Projekt stellte besondere planerische und technische Anforderungen an die HDD-Kreuzungstechnik. Neben den logistischen, geologischen und prozesstechnischen Schwierigkeiten wurden die lokalen Besonderheiten und Eigenheiten der Region sehr gut bewältigt. Dieser Erfolg setzt neben dem hohen technischen Know-how auch eine sehr gute Planung im Vorfeld des Projektes voraus. Die möglichen Projektrisiken wurden bereits im Stadium der Planung erkannt und durch Umsetzung entsprechender Maßnahmen minimiert. Dazu zählen der Einsatz eines Pipe-Thrusters, die Änderung der Einzugsrichtung und der Aushub einer Baugrube. Die entsprechende Auswahl geeigneter Werkzeuge und das Arbeiten mit zwei Bohranlagen an einem Bohrstrang waren zudem Grundlagen für eine erfolgreiche Bohrung und den gelungenen Leitungseinzug. Mit der Ballastierung der 56“-Leitung und der Erstellung einer angepassten Oberbogengeometrie war zudem ein kraftoptimierter Rohreinzug möglich.

Autoren:

Dipl.-Ing. Jörg Himmerich
Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover

Tel. +49 511 28499-14
E-Mail: Joerg.Himmerich@veenkergmbh.de

M. Eng. Dipl.-Ing. Albert Großmann
Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, Leipzig

Tel. +49 341 21737-62
E-Mail: Albert.Grossmann@veenkergmbh.de

Dipl.-Ing. Michael Lubberger
Herrenknecht AG, Schwanau

Tel. +49 7824 302-957
E-Mail: Lubberger.Michael@herrenknecht.de

Jo Eising
Herrenknecht AG, Schwanau

Tel. +49 7824 302-7481
E-Mail: Jo.Eising@herrenknecht.de