

Erfolgreiche Bohrung in einer Dammstrecke des Main-Donau-Kanals

Das Bundeswasserstraßennetz umfaßt heute rd. 7500 km Binnenwasserstraßen. Neben der verkehrswirtschaftlichen Nutzung haben die Wasserstraßen auch eine außerverkehrliche Funktion, insbesondere im wasserwirtschaftlichen Bereich (Wasserversorgung für Industrie und Landwirtschaft, Hochwasserschutz u. a.).

Die Bundesrepublik Deutschland als Eigentümerin der Bundeswasserstraßen verwaltet gemäß Artikel 87 und 89 Grundgesetz diese durch eigene Behörden, die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), örtlich vertreten durch das jeweils zuständige Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA). Dieses ist gemäß § 48 Bundeswasserstraßengesetz (WaStrG) für die Sicherheit und Ordnung aller Anlagen in seinem Bereich eigenverantwortlich zuständig. Sofern keine planrechtlichen Verfahren nach dem Verwaltungsverfahrensgesetz durchgeführt werden, ist das WSA gemäß § 31 WaStrG Genehmigungsbehörde für strom- und schiffahrtspolizeiliche Genehmigungen von Anlagen Dritter, die den Verkehrsweg Bundeswasserstraße beabsichtigen zu kreuzen oder zu düken, wie im vorliegenden Fall den Main-Donau-Kanal. Aufgrund des speziellen Baugrundes ergaben sich komplizierte Arbeitsphasen, die die technischen Vorplanungen immer wieder auf eine neue Grundlage stellten.

First successful drilling in a fill section of the Main-Donau-Kanal. *The federal network of waterways and canals today comprises approximately 7500 km of inland waterways. Not restricted to economic use in transportation, the waterways also have a function in the water supply and distribution (water supply for industry and agriculture, flood protection, etc.).*

As owner of the federal waterways, the Federal Republic of Germany, according to the Basic law, section 87 and 89, manages these through an independent administrative authority, the Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), locally represented by the appropriate office, the Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA).

According to § 48 of the Federal Waterway Act (WaStrG), this agency is solely responsible for the safety and order of all installations in its area. Unless establishment procedures are implemented according to the Law on Administrative Procedure the WSA acts according to § 31 WaStrG as authorizing agency for river- and navigation-specific police approval of third-party installations intended for crossing or culverting the Federal Waterway route, as in this case the Main-Donau-Kanal. A complicated work schedule resulted from the specific site characteristics, which continuously created new bases for the technical preplanning.

1 Veranlassung

Die Stadtwerke Baiersdorf im Reg.-Bez. Mittelfranken, Kreis Erlangen-Höchstädt, mußten ihr Versorgungsnetz um eine Trinkwasserhauptzuleitung DN 400 ergänzen. Im Zuge dieser Leitung war die Bundeswasserstraße Main-Donau-Kanal (MDK) zu kreuzen.

Die Stadtwerke hatten bei der Trassierung ursprünglich vorgesehen, die Leitung im Überbau einer bestehenden Straßenbrücke anzuordnen. Dieser Planung konnte der Träger der Brückenbaulast, die WSV, nicht zustimmen. Wegen gravierender Bauschäden standen umfangreiche Betoninstandsetzungsarbeiten an. Sie wären durch die Wasserleitung zwangsläufig erschwert und verteuert worden.

Die Stadtwerke planten daraufhin, den MDK zu düken. Aufgrund der feststehenden Leitungstrasse ergab sich die Kreuzung in einer mit Asphalt gedichteten Strecke mit einseitigem Kanalseitendamm der Wasserstraße.

Wegen dieser Situation schied eine offene Dükerinne strompolizeilich ebenso aus wie ein grabenloses Bauverfahren als ungesteuerte Horizontalbohrung oder -presung, weil die technischen Anforderungen an die Sicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen damit nicht erfüllt worden wären, wie z. B. die Ausbildung bevorzugter Sickerwege oder die Ausbildung von Inhomogenitäten im Untergrund.

Das WSA Nürnberg hatte parallel zu den Planungen der Stadtwerke untersucht, ob und inwieweit durch die Anwendung der gesteuerten Horizontalbohrung (Horizontal-Direktional-Drilling-Verfahren, HDD) eine ausreichende Sicherheit für Wasserstraße und Schifffahrt gewährleistet werden

kann. Dabei ist man zu dem Ergebnis gekommen, daß es das Verfahren technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar macht, vom Bauwerk „Schiffahrtskanal“ einen ausreichend großen Horizontal- und Vertikalabstand einzuhalten. Ferner kann zu jeder Phase des Rohrvortriebs ausgeschlossen werden, daß sich unkontrolliert unterirdische Hohlräume im Vortriebsbereich bilden. Durch die kontinuierliche Verfüllung des Bohrloches mit Stützflüssigkeit (Bentonit) werden mit Sicherheit auch keine Grundwasserbewegungen aktiviert. Bei den Untersuchungen konnte das WSA Nürnberg auf die Erfahrungen anderer WSV-Dienststellen, insbesondere des WSA Uelzen, zurückgreifen.

2 Allgemeine Grundsätze bei Bohrungen in Dammstrecken von Bundeswasserstraßen

Etwa $\frac{1}{4}$ des Binnenwasserstraßennetzes sind Schiffahrtskanäle, die im wesentlichen die großen Flußgebiete miteinander verknüpfen. Hierbei wurden häufig Dammstrecken erforderlich, die mit Wasserspiegellagen bis zu 20 m über Gelände geführt werden. Das Alter aller Dammstrecken schwankt zwischen wenigen Jahren und vielen Jahrzehnten. Sie weisen deutliche Unterschiede im inneren und äußeren Aufbau auf und sind hauptsächlich mit Oberflächendichtungen aus Asphaltbeton und Ton sowie teilweise in Verbindung mit Spundwänden gedichtet.

Das Bohren in Dammstrecken von Bundeswasserstraßen erfordert wegen seiner Komplexität und des großen Gefahrenpotentials im Schadensfall ein hohes Maß an Sensibilität und technisches Know-how mit einer intensiven Betrachtung aller Bedingungen in jedem Einzelfall.

Bedingt durch neue gesetzliche Regelungen, wie z. B. im Umweltschutz durch entsprechende Anforderungen an die Abwasserentsorgung, oder wie im östlichen Bundesgebiet durch den Aufbau einer neuen Infrastruktur von Ver- und Entsorgungsleitungen, entstanden in den vergangenen Jahren zahlreiche Rohrleitungsdükerungen in Dammstrecken von Bundeswasserstraßen.

Hierbei gilt es, aufgrund der örtlichen Randbedingungen jeweils Lösungen zu finden, die die Sicherheit der Anlagen der Bundeswasserstraße sowie die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs nicht beeinträchtigen, andererseits die im öffentlichen Interesse notwendigen Infrastrukturmaßnahmen jedoch ermöglichen. Bei diesem Abwägungsprozeß stehen grundsätzlich sicherheitstechnische Betrachtungen eindeutig vor rein wirtschaftlichen Überlegungen. Wir wissen nicht nur von den letzten Ereignissen an der Oder, sondern auch von den Dammbrüchen am Elbe-Seitenkanal 1976 und Main-Donau-Kanal 1979, welche katastrophalen Folgen im Schadensfall auftreten können. Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung hat deshalb aus den beiden zuletzt genannten Schadensfällen die grundsätzlichen Folgerungen in technischer und organisatorischer Hinsicht gezogen und dies in verschiedenen Erlassen für den Bau

(Neubau, Ausbau, Nachsorge an vorhandenen Anlagen) und die Unterhaltung von Kanalseitendämmen zusammengefaßt und umgesetzt. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die vom Bundesministerium für Verkehr (BMV) herausgegebenen Erlasse von 1976 und 1980, die u. a. festlegen, daß

– Ver- und Entsorgungsleitungen – besonders Druckleitungen – nicht parallel zur Kanalachse im Damm oder in der Nähe des Dammfußes geführt werden dürfen, da Kanaldämme nicht für den konzentrierten Fremdwasserzutritt aus Rohrleitungen bemessen werden können – Durchdringungen (besonders Kreuzungen) im Dammbereich, und zwar im Dammkörper oder im Untergrund vermieden werden sollen.

Wo dies nicht möglich ist, sind sie so auszubilden, daß durch sie keine bevorzugten Sickerwege entstehen; z. B. durch:

- ausreichende Verdichtung oder Verfestigung der Verfüllungen von Rohrgräben, Bauwerkshinterfüllungen zur Vermeidung von Erosion, Suffusion, Setzungen, Sackungen.
- Sickerwegverlängerung durch Schleichringe oder Flügelwände.

Diese Grundsätze haben nach wie vor Gültigkeit. Insbesondere sollten zur Vermeidung einer Durchdringung des Dammes grundsätzlich alternative Trassen untersucht werden.

Aufgrund der technischen Entwicklung in den letzten 15 Jahren haben sich sowohl bei den gesteuerten Bohrverfahren, im Rohrleitungsbau als auch in der Dammbeobachtung von Bundeswasserstraßen neue, verbesserte Möglichkeiten ergeben. Hierzu zählen insbesondere die Steuerungs- und Meßtechnik beim HDD-Verfahren sowie die meßtechnischen Möglichkeiten der Früherkennung von Leckagen in Kanaldämmen.

Darüber hinaus wurde von der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe das Merkblatt „Stand-sicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen“ erarbeitet, das vor allem Verfahren zur Stand-sicherheitsbeurteilung bestehender oder neuer, ständig wasserbelasteter Dämme behandelt.

Um eine beantragte Rohrleitungskreuzung in einer Dammstrecke strom- und schiffahrtspolizeilich genehmigen zu können, muß das WSA eine Beurteilung des Gesamtsystems mit den Elementen Verkehr, Wasserstraße/Anlage, Rohrleitung im Einzelfall vornehmen und hier die unterschiedlichen Wechselwirkungen und Restrisiken betrachten (Bild 1). Das setzt voraus, daß das jeweilige Versorgungsunternehmen bzw. das von ihm beauftragte Ingenieurbüro möglichst frühzeitig mit dem WSA Kontakt aufnimmt und aussagekräftige Unterlagen zur Prüfung vorlegt. Da zahlreiche Einzelregelungen von dem jeweiligen Bauverfahren abhängig sind, muß auch hierüber möglichst frühzeitig eine Entscheidung zwischen Antragsteller und dem WSA getroffen werden.

3 Strom- und schiffahrtspolizeiliche Genehmigung (SSG)

3.1 Allgemeingültige Auflagen

Folgende allgemeingültige Auflagen sind im Zuge von Kanalkreuzungen nach dem HDD-Verfahren von Bedeutung:

– Einhaltung der Mindestabstände der Bohrachse zu vorhandenen Bauwerken im Hinblick auf eine spätere Erneuerung der Bauwerke, z. B.

- zu bestehenden Dükeranlagen von ca. 30 m
- zu bestehenden Brückenanlagen von ca. 50 m

WSA		DRITTER
Verkehr (V)	Wasserstr./Anlage (WA)	Rohrleitung (RL)
Gefahrenpotential: <ul style="list-style-type: none"> • Havarie Schiff/Schiff • Havarie Schiff/WA • Gefahrgutaustritt u. a. 	Lastfälle: <ul style="list-style-type: none"> • LF 1: ständige Last, regelmäßige Verkehrslasten (DIN 1054) • LF 2: wie LF 1 + nicht regelmäßige große Verkehrslasten, Belastungen während der Bauzeit (z. B. Strömungskräfte bei Dichtungs-erneuerung – DIN 1054 –) • LF 3: wie LF 2 + außerplanmäßige Lasten (z. B. Unfälle, Versagen eines Sicherungselementes wie Dichtung, Filter, Drän u. a.) • LF 4: wie LF 3 + weitere Einwirkungen (Ausfall 2. Sicherungselement, Überlagerung 2 × LF 3, Änderung Dammgeometrie, Sickerströmung, Windwurf, Wurzel) 	Gesamtkonzept Anlage: <ul style="list-style-type: none"> • Örtl. Randbedingungen technische Planungsdaten (geologisch/geotechnisch, geo-hydraulisch, bautechnisch, geodätisch) allg. Planungsgrundsätze (Rechtsverfahren, Eigentumsverhältnisse, Umweltverträglichkeit, Alternativen – Trasse – u. a.) • Produkt gasförmig (brennbar, explosiv, ... Druck/Dichte ...) flüssig (neutral, Gefahrstoffe ... toxisch, wassergefährdend, ätzend ... , Druck) • Bauverfahren, Bauzustände • Konstruktion Abmessungen, Material, Gradienten/Überdeckung Sicherheitseinrichtungen/Kontrollmöglichkeiten • Nutzung Betrieb/Unterhaltung (Wartung, Inspektion, Sicherheit techn./org.) Instandsetzung (Ja/Nein) • Erneuerung alte Trasse (Leerrohre, auswechselbare Produktleitung, „Überfahren, ...) neue Trasse (Beseitigung/Verfüllung alte Leitung ...) • Dokumentation/Bestandswerk

← Wechselwirkungen →

Bild 1. Gesamtsystem – Technik – Beurteilung
Fig. 1. Assessment of the general design engineering

- Kreuzung der Wasserstraßen möglichst rechtwinklig zur Kanalachse
 - landseitige Kennzeichnung der Dükerachse
 - Berücksichtigung der Planungen Dritter
 - Beachtung vorhandener Baulichkeiten, natürlicher Hindernisse und vorhandener Infrastrukturleitungen
 - Festlegung des Umfangs der erforderlichen Baugrunduntersuchungen
 - Vorgabe der Überdeckungshöhe über Rohrscheitel auf Basis der Baugrundergebnisse
 - Verlegung von **flüssigkeitsführenden** Druckrohrleitungen in einem ausreichend dimensionierten Schutzrohr
 - Ausrüstung von Hochdruckleitungstrassen in Kanalnähe mit automatisch wirkenden Sicherheitssystemen wie z. B. Schnellschlußarmaturen
 - Einsatz des Bodentemperaturmeßverfahrens als Nachweis der Dammsicherheit zur Beweissicherung vor und nach der Dükerung
 - Die Verlegung von Druckleitungen parallel zum Kanal ist so weit vom Dammfuß entfernt vorzunehmen, daß sich im Falle einer Leckage **keine** unter einem Winkel von $\varphi/2$ geneigte Böschung einstellen kann, die den Dammfuß erreicht.
 - Verdämmung des äußeren Ringraumes zwischen Schutzrohr und anstehendem Boden und Abdichtung des Hohlraumes zwischen Medien- und Schutzrohr mit druckfesten Dichtelementen an den Schutzrohrenden.
- Die Verdämmung des äußeren Ringraumes liegt in der Notwendigkeit begründet, daß im Falle eines kohäsiven, gering durchlässigen Bodenmaterials es möglich ist, daß aufgrund der vorhandenen

Kohäsion der Ringspalt verbleibt und bei Versagen der Sohldichtung Kanalwasser aber auch Grundwasser, z. B. bei Hanglage des Kanals, lediglich auf der kurzen, vertikalen Sickerstrecke zum Rohr und zum Seitengraben abgebaut wird. Die Sicherheit gegen rückschreitende Erosion (Piping) und Suffusion mit Hohlraumbildung ist dann **nicht** gewährleistet (Bild 2).

- Zusammenlegung verschiedener Versorgungsleitungen in einem Leitungs-Düker.

Die Forderung ist berechtigt, weil die quantitativen und qualitativen Erweiterungen der Infrastruktur öffentlicher Versorgungsträger und kommunaler Zweckverbände gebietsabhängig zur Häufung von Einzelanträgen führen.

Durch örtliche Konzentration können aus geotechnischer Sicht für den Kanal Gefährdungen auftreten, die vor allem zu einer verminderten Sicherheit der Dämme führen.

- Einsatz von Bohranlagen mit ausreichend hohen Druck- und Zugkräften, zuverlässiger Meß- und Steuertechnik und qualifiziertem Personal.

Die Erfahrungen sprechen dafür, daß es von Vorteil ist, Bohranlagen mit Leistungsreserven, die einerseits abgestimmt auf den Baugrund, aber andererseits bei Problemen mit dem Baugrund in der Lage sind, mindestens das 3fache an Zugkräften gegenüber dem Normalbetrieb (ca. 6 t) aufzubringen. Andere vertretende Meinungen haben oft nur einen wirtschaftlichen Hintergrund, was mit der Unterschätzung des Baugrundes und der technischen Machbarkeit einhergeht und bei auftretenden Problemen im Untergrund schnell zu einer sehr teuren Investition führen kann.

3.2 Spezielle Auflagen Main-Donau-Kanal

Die speziellen Auflagen der strom- und schiffahrtspolizeilichen Genehmigung berücksichtigen sowohl den Bau als auch den Betrieb/Bestand der Dükerleitung, wobei unbestritten strompolizeilich gesehen der Bau der Leitung die risikoreichere Phase ist. Bei der Festlegung waren die Wechselbeziehungen zwischen anstehendem Untergrund, vorhandenem Bauwerk „Kanalbett“ und Bohrarbeiten abzuwägen und zu berücksichtigen. Das Gefahrenpotential der Gesamtmaßnahme wurde vom WSA Nürnberg aufgrund der sorgfältig abgestimmten Planung hinsichtlich der strompolizeilichen Belange

- Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs und
- Bestand der Wasserstraße als relativ gering eingestuft, weil
 - eine ausreichende Baugrunduntersuchung und ein detailliertes geotechnisches Gutachten vorlag
 - die Bohrung im Festgestein verläuft und zur Kanalbettdichtung einen vertikalen Sicherheitsabstand von rd. 15,0 m hat.

Die speziellen Auflagen in der SSG konnten sich daher neben den allgemeingültigen Auflagen auf folgende Regelungen beschränken:

- die Produktenleitung in ein Schutzrohr zu verlegen und das Schutzrohr für den Lastfall „Auflagerung des Gebirges auf das Rohr ohne Bruch des Rohrmantels nach örtlichem Versagen der Hohlraumwandung“ zu bemessen
- wichtige Bohrparameter zu protokollieren und dem WSA arbeits-täglich zur Verfügung zu stellen, wie z. B. Bohrlänge pro Tag, vertikale und horizontale Abweichung von der Soll-Lage, Stützdruck und Bentonit-Verbrauch, aufgewendete

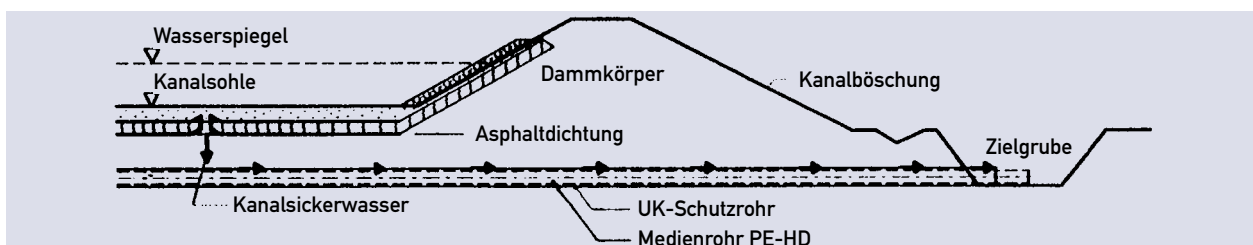


Bild 2. Darstellung der Wasserwegigkeit entlang des Dükerrohres bei Versagen der Kanaldichtung
Fig. 2. Permeability to water along the crossing-pipe in case of sealing failure

Zugkräfte und Bohrgeschwindigkeiten

- Information des WSA bei Vortriebsstopp und Auftreten von Hindernissen, die nicht abgebaut werden können, unzulässigen Abweichungen von der Soll-Lage und unzulässig hohe Vortriebskräfte oder Spannungen während des Bohrbetriebs
- ein aufgegebenes Bohrloch mit Dämmer-Suspension der Druckfestigkeit von ca. 2,0 N/mm² (nach 28 Tagen) kraftschlüssig zu verfüllen
- den Ringraum zwischen Rohraußenwand und dem Erdreich zur Verhinderung nachträglicher Setzungen und der Ausbildung eines Ringspaltes auf der gesamten Rohrlänge mit Dämmer-Suspension kraftschlüssig zu verpressen

4 Baugrund

4.1 Örtliche Verhältnisse

Die Kanalhaltung Hausen des MDK wurde in den Jahren 1966 bis 1968 gebaut. Sie verläuft am westlichen Rand des Regnitztales mit einer Wasserspiegellage von NN + 266,50 m (NoSt). Südlich der Kanalstufe Hausen liegt die Wasserstraße auf einer Länge von 3,4 km in Hanglage. So ergibt sich auf der Kanalostseite ein Kanaldamm mit einer Höhe von durchweg 5,0 bis 6,0 m. Auf der Kanalwestseite ist die ursprüngliche natürliche Hangfläche beim Neubau bis auf Betriebswegniveau (NoSt + 1,5 m) aufgefüllt worden. Im Bereich der Kanalaufstandsfläche wurde damals das Urgelände bis zu einer Mächtigkeit von 2,0 m ausgekoffert und durch ausgesuchtes Aushubmaterial ersetzt.

Von der insgesamt 8,2 km langen Haltung ist der nördliche Abschnitt in einer Länge von 5,3 km gedichtet. Erstmals wurde hier Asphaltbeton als Oberflächendichtung für die Böschungen und die Kanalsohle eingesetzt.

4.2 Geologie und Schichten- aufbau

Die Trinkwasserleitung kreuzt den MDK bei km 36,13.

Entsprechend den Vorgaben hatte der Vorhabensträger im Genehmigungsverfahren ein ausführliches Baugrundgutachten beizubringen.

Die Stadtwerke haben daraufhin das Grundbauinstitut der Landesgewerbeanstalt Bayern beauftragt, eine Baugrunduntersuchung durchzuführen und ein Gutachten mit bautechnischen Empfehlungen für eine gesteuerte Horizontalbohrung aufzustellen. Grundlage für das Gutachten waren folgende Aufschlüsse in der Achse der vorgesehenen Leitungstrasse:

- 3 Aufschlußbohrungen bis 28,0 m Tiefe unter GOK, jeweils rd. 8,0 m unter vorgesehener Leitungsgardiente
- 3 schwere Rammsondierungen nach DIN 4094 bis 14,0 m Tiefe unter GOK zur Erkundung des Feldhorizontes
- 2 leichte Rammsondierungen nach DIN 4094 bis 6,0 m Tiefe unter GOK

Die geologische Auswertung ergab folgenden Sachverhalt:

Unter einer dünnen Oberbodenschicht liegt eine bis zu 3,0 m mächtige Auffüllschicht aus Sanden mit einzelnen Steineinschlüssen. Hier handelt es sich offensichtlich um Material der erwähnten Bodenauswechslung bzw. um Dammschüttung. Darunter folgen bis zu 14,0 m unter GOK quartäre fein- bis mittelkiesige Sande. Ansatzweise wurden weiche Tone und Schluffe mit organischen Beimengungen angetroffen. Unter diesem quartären Schichtpaket stehen ab ca. 13,0 m unter NoSt (= NN + 253,5 m) zum Verwitterungshorizont des Keupers zählender mürber, fein- bis mittelkörniger Sandstein und einzelne halbfeste/feste sandige Tonlagen bis zu 2,0 m Mächtigkeit an. Darunter wurde vor allem mittelharter bis harter Sandstein aufgeschlossen. Er ist dünn- bis dickplattig ausgebildet; vereinzelt sind Tonlagen eingeschaltet. Für die Bohrarbeiten ist die Feststellung bedeutsam, daß in dieser Formation senkrechte und waagerechte Klüfte beobachtet worden sind; sie führten bei einer Bohrung zum vollständigen Spülwasserverlust. Grundwasser wurde bereits ab 1,7 m unter NoSt angetroffen.

Der Gutachter hat vom aufgeschlossenen Boden- und Felsmaterial repräsentative Proben ausgewählt und labormäßig bearbeiten

lassen. Definiert wurden für Lokergestein:

- Korngrößenbestimmung nach DIN 18123 durch Siebung und Sedimentation
- K_f-Wert-Bestimmung und für Festgestein:
- einaxiale Druckfestigkeit an Bohrkernproben
- einaxiale Kriechversuche
- mineralische Dünnschliffanalysen

Nach Auswertung und Beurteilung aller gewonnenen Einzelergebnisse kommt der Gutachter im Hinblick auf die geplante HDD-Bohrung abschließend zu folgendem Ergebnis:

- Im Festgestein (Sandstein) ist zu erwarten, daß ein standsicherer Hohlraum mit 0,8 m Durchmesser aufgeföhren werden kann.
- Es ist nicht auszuschließen, daß Spül-Suspension beim Anschneiden von Klüften verloren geht.
- Bei einem eventuellen örtlichen Versagen der Hohlraumwandung wird sich das aufgelockerte Gebirge auf das Schutzrohr aufsetzen, ohne daß Verformungen bis zur Kanalbettdichtung durchwandern.
- Von der Grundwassersituation her steht ein geringes Druckgefälle an; der mit Bentonit verfüllte Ringraum ist somit abgedichtet, und es sind angesichts des geringen Potentials keine Ausspülungen zu erwarten.

- Im Einflußbereich des Kanalbettes liegt die Bohrung im Sandstein.

Der Gutachter sieht abschließend für die Dükerung des MDK und das Bauwerk kein Risiko.

Die Arbeiten wurden unter 6 Firmen beschränkt ausgeschrieben. Nach technischer und wirtschaftlicher Prüfung der Angebote erhielt die Fa. ED. Züblin AG, Niederlassung Nürnberg, den Auftrag.

5 Bohrverfahren

5.1 Voraussetzungen an die Bohr-, Meß- und Steuerungstechnik

Die Bohrlänge betrug insgesamt 275 m, davon ca. 130 m in Felsgestein. Im Bereich des MDK mußte eine Tiefe von 16 m unter der Kanalsohle bzw. 22 m unter dem Startpunkt erreicht werden.

Auf Basis der prognostizierten Geologie wurden die entsprechen-

den Bohrwerkzeuge und Abbaumethoden gewählt. Eingesetzt wurde ein Bohrgerät mit einer Zugkraft von 700 kN. Im Zuge der Pilotbohrung entschied man sich für unterschiedliche Abbaumethoden. Im Bereich der Sande/Kiese sollte die Bohrung im Spülbohrverfahren mit einem Jet-Sub aufgeföhren werden, der Sandsteinbereich wiederum mit einem Bohrmotor $4\frac{3}{4}$ ", welcher mit einem Warzenmeißel mit Hartmetallinserts bestückt wurde, durchöhrt werden. Danach sollte wieder der Jet-Sub zum Einsatz kommen.

Die unterschiedlichen Abbaumethoden wurden deshalb gewählt, da in den lockeren Sanden eine bessere Steuerbarkeit und Kontrolle mit dem Jet-Sub erzielt werden kann, dieser jedoch nicht für das Durchöhren von Fels geeignet ist.

Während der Pilotbohrarbeiten ist die Position des Bohrkopfes ständig kontrolliert worden, um entsprechende Abweichungen der Bohrtrasse von der Planung feststellen und korrigieren zu können. Im vorliegenden Fall entschied man sich für ein drahtgestütztes Vermessungssystem, welches über ein im Bohrgestänge mitgeführtes Kabel die entsprechenden Vermessungsdaten über Tag an einen Computer zur Datenauswertung sendet. Ein drahtgestütztes Vermessungssystem wurde deshalb gewählt, da eine permanente Kontrolle der Bohrposition gefordert war, welches speziell im Bereich des Kanals nur durch ein derartiges System gewährleistet werden kann. Weiterhin wurden im Bereich vor und nach dem Kanal auf der Oberfläche künstliche Magnetfelder erzeugt (Tru Track Duidance System), über welche das Vermessungssystem zusätzlich justiert werden kann. Die Pilotbohrung konnte somit punktgenau, bei deutlicher Unterschreitung der zulässigen Toleranzen, zum Zielpunkt gebracht werden.

5.2 Bohrspülung

Aufgrund der vorgegebenen Geologie wurde der Spülungstechnik besonderes Augenmerk geschenkt. Die prognostizierten Sande/Kiese mußten von der eingesetzten Bohrspülung ausreichend gestützt werden und wegen des gering gewähl-

ten Enddurchmessers der Bohrung (800 mm) im Vergleich zum Produktenrohr (710 mm) wurde insbesondere auf einen guten Austrag des Bohrkleins aus dem Bohrloch geachtet. Um die gestellten Anforderungen an die Bohrspülung gewährleisten zu können, wurde ein Spülungstechniker mit der ständigen Kontrolle und Anpassung der Bohrspülung beauftragt. Weiterhin wurde, um eine gleichbleibende Wasserqualität zu gewährleisten, Trinkwasser verwendet und bewußt auf eine Wasserentnahme aus dem Main-Donau-Kanal verzichtet. Als Bohrspülung wurde Bentonitsuspension eingesetzt.

Des weiteren wurden bei den Aufweitphasen zusätzliche Hochdruckpumpen beigelegt, um die erforderlichen Spülungsströme zum Austragen des Bohrkleins zu erzeugen.

5.3 Bohrverlauf

Die **Pilotbohrung** mit einem Durchmesser von 180 mm verlief reibungslos. Durch die gewählten Bohrverfahren (Jet-Sub/Mud-Motor) konnte der Pilot sehr gut gesteuert und punktgenau zum Zielpunkt geführt werden. Der ca. 130 m lange Bereich der Felsstrecke konnte mit dem Mud-Motor in nur 6,5 Stunden aufgeföhren werden. Die Aufweitung des Bohrlochs auf den Enddurchmesser von 800 mm erfolgte in 5 Schritten. Die dabei eingesetzten Hole-Opener wurden in dem stark abrasiven Sandstein überdurchschnittlich abgenutzt. Trotz des Einsatzes neuer Garnituren mußten diese überwiegend nach der

Bohrung mit neuen Warzenmeißeln bestückt werden.

Der Einzug des PE-HD-Schutzrohres $710 \times 40,2$ mm konnte abschließend problemlos durchgeführt werden. Eine Ballastierung des Schutzrohres wurde mit Wasser vorgenommen.

Gemeinsam mit dem Schutzrohr wurde eine Injektionsleitung eingezogen, mit der die Verfüllung des Ringraums zwischen überstehendem Erdreich und der Schutzrohroberkante mit Dämmen ausreichender Druckfestigkeit erfolgte (Bild 3).

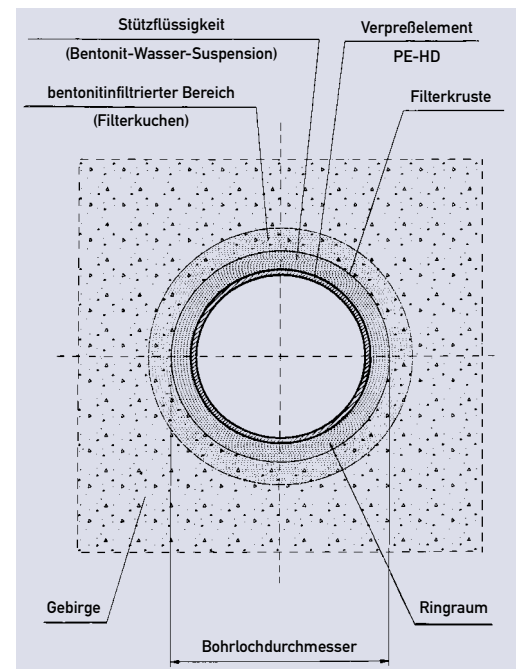


Bild 3. Systemquerschnitt geschlossene Bauweise Horizontal-Directional Drilling-Verfahren (HDD)

Fig. 3. Trenchless Construction Horizontal Directional Drilling (HDD)



Bild 4. Baustelle der Fa. ED. Züblin AG
Fig. 4. Site of ED. Züblin AG



Bild 5. 70 t-Bohranlage der Fa. ED. Züblin AG bei der Pilotbohrung
Fig. 5. 70 ton rig at pilot drilling



Bild 6. Aufbereitungsanlage für Bentonitrücklauf
Fig. 6. Bentonite reflux processing plant



Bild 7. Hole-Opener zum Aufweiten des Pilotbohrlochs
Fig. 7. Hole opener for reaming of the pilot hole

6 Resümee

Grundlage für den Erfolg dieser anspruchsvollen Aufgabe war einerseits die umfassende Vorbereitung seitens des mit der Projektleitung beauftragten Ingenieurbüros in enger Zusammenarbeit mit dem WSA auf der Grundlage eines soliden Baugrundgutachtens, andererseits der Einsatz von korrekt ausgewähltem Equipment und die Kompetenz der Bohrfirma ED. Züblin AG, Niederlassung Nürnberg. Es zeigte sich auch hier, daß die Berücksichtigung der Sicherheitsinteressen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung möglichst frühzeitig in die Bearbeitung einzubeziehen sind, um mögliche Schäden von den wasserbaulichen Anlagen abzuwenden und einen zügigen Projektablauf zu fördern.

Die in dieser Hinsicht durch das WSA erforderlich werdenden strom- und schifffahrtspolizeilichen Auflagen gegenüber den an Bundeswasserstraßen tätig werdenden Bohrfirmen stellen jeweils Einzelentscheidungen dar.

Autoren dieses Beitrages:

Dipl.-Ing., Bauamtsrat Hans Reuter, Wasser- und Schifffahrtsamt Nürnberg, Marien-torgraben 1, 90402 Nürnberg
 Dipl.-Ing., Bauamtsrat Eckhard Dietel, Wasser- und Schifffahrtsamt Uelzen, Greyer-Straße 12, 29525 Uelzen
 Dipl.-Ing. Markus Nelkel, Fa. ED. Züblin AG, Niederlassung Nürnberg, Donau-Straße 26, 90451 Nürnberg