

# **BEITRAGSREIHE**

## **PRAXIS UND TECHNIK**

### **RHEINHAFEN-DAMPFKRAFTWERK KARLSRUHE**



*Unterquerung des Rheinhafen-Dampfkraftwerks in Karlsruhe mit einem Hydroschild  
(Bohrdurchmesser 4,40 m) im Rohrvortriebsverfahren*

***F. Lindner, M. König, S. Ries, Ch. Bernuy, J. Holzhäuser (2010)***

# Unterquerung des Rheinhafen-Dampfkraftwerks in Karlsruhe mit einem Hydroschild (Bohrdurchmesser 4,40 m) im Rohrvortriebsverfahren

F. LINDNER, M. KÖNIG  
EnBW Kraftwerke AG, Stuttgart

J. HOLZHÄUSER, CH. BERNUY, S. RIES  
Smolczyk & Partner, Stuttgart

## Zusammenfassung

Die EnBW Kraftwerke AG baut derzeit mit einem Investitionsvolumen von ca. 1,2 Mrd. € den Block 8 des Rheinhafen-Dampfkraftwerks in Karlsruhe. Für den Betrieb des neuen Kraftwerksblockes wurde der Bau von zwei neuen leistungsstarken Kühlwasserleitungen erforderlich, die den bestehenden und im Betrieb befindlichen Kraftwerkskomplex unterqueren. Die beiden rund 250 m bzw. 300 m langen Leitungsstrecken des Vor- und Rücklaufs der Kühlwasserleitung wurden als Tunnelvortrieb im Rohrvortriebsverfahren hergestellt. Zur Minimierung der Setzungen kommt hierbei ein Hydroschild mit einem Bohrdurchmesser von 4,40 m zum Einsatz. Zur Sicherstellung eines setzungsarmen Vortriebs in den sehr durchlässigen Rheinkiesen wurden Zusatzmaßnahmen zur Anpassung der Stützflüssigkeit erforderlich. Beim Vortrieb wurde ein ca. 6 m langer Baumstamm mit einem Durchmesser von ca. 70 cm angetroffen. Durch eine angepasste Vortriebsweise konnte dieses „Hindernis“ erfolgreich bewältigt werden.

## 1. EINLEITUNG

Die EnBW Kraftwerke AG baut derzeit mit einem Investitionsvolumen von ca. 1,2 Mrd. € den Block 8 des Rheinhafen-Dampfkraftwerks in Karlsruhe. Auf dieser aktuell größten Baustelle in Baden-Württemberg entsteht eines der modernsten, effektivsten und umweltschonendsten Steinkohlekraftwerke der Welt. Der neue Block 8 ist auf eine elektrische Bruttonennleistung von rund 900 Megawatt (MW) ausgelegt, wobei bis zu 220 MW thermische Leistung als Fernwärme ausgekoppelt werden können.

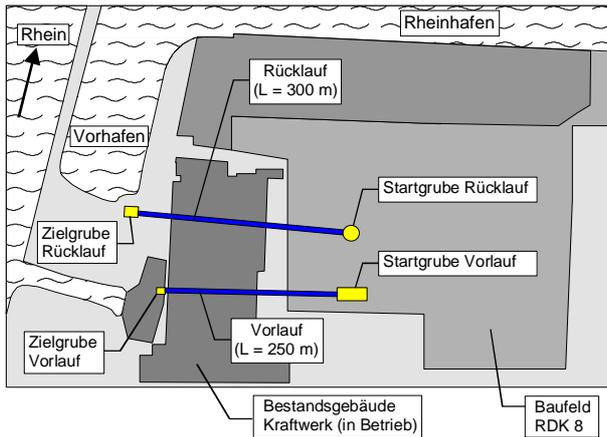
## 2. TUNNELVORTRIEBE ZUR HERSTELLUNG DER KÜHLWASSERLEITUNGEN

Für den Betrieb des neuen Kraftwerksblockes wurde der Bau von zwei neuen leistungsstarken Kühlwasserleitungen erforderlich, die aus geometrischen und hydraulischen Gründen den bestehenden und im Betrieb befindlichen Kraftwerkskomplex unterqueren.

Die beiden rund 250 m bzw. 300 m langen Leitungsstrecken des Vor- und Rücklaufs der Kühlwasserleitung wurden im Verlaufe des Jahres 2009 als Tunnelvortrieb im Rohrvortriebsverfahren hergestellt. Ausführende Firma war die ARGE Kühlwasserleitung, bestehend aus der ZÜBLIN Spezialtiefbau GmbH, Stuttgart und der Fa. Wilhelm Epping GmbH, Bocholt.

## 3. Bauwerk und Baugruben

Das Kühlwassersystem besteht aus den beiden Rohrsträngen (Vorlauf und Rücklauf), die als Stahlbetonrohre DN 3.600 ausgebildet sind, sowie aus den Übergangsbauwerken für den Ein- bzw. Auslauf in den Start- bzw. Zielgruben der beiden Rohrstränge. Die ca. 250 m bzw. 300 m langen und im Grundriss geraden Vortriebsstrecken des Vor- und Rücklaufs verlaufen in Ost-West-Richtung (Bild 1). Sie unterqueren den bestehenden Kraftwerkskomplex auf einer Länge von rund 135 m bei einer Überdeckung von minimal rund 3 m (Bild 2).



**Bild 1:** Lageplan der beiden Tunnelstrecken für die Kühlwasserleitung

Für die Ausführung der Vortriebsarbeiten waren vier bis zu 17 m tiefe Baugruben erforderlich, deren Abmessungen einerseits durch den bei der Montage bzw. Demontage der Vortriebsmaschine erforderlichen Platzbedarf und andererseits durch die in den Baugruben geplanten Bauwerken für das Kühlwassersystem bestimmt wurden, wie z.B. das Kühlwasserpumpenhaus, dessen 41,5 m lange Baugrube als Startgrube für den Vorlauf genutzt wurde.

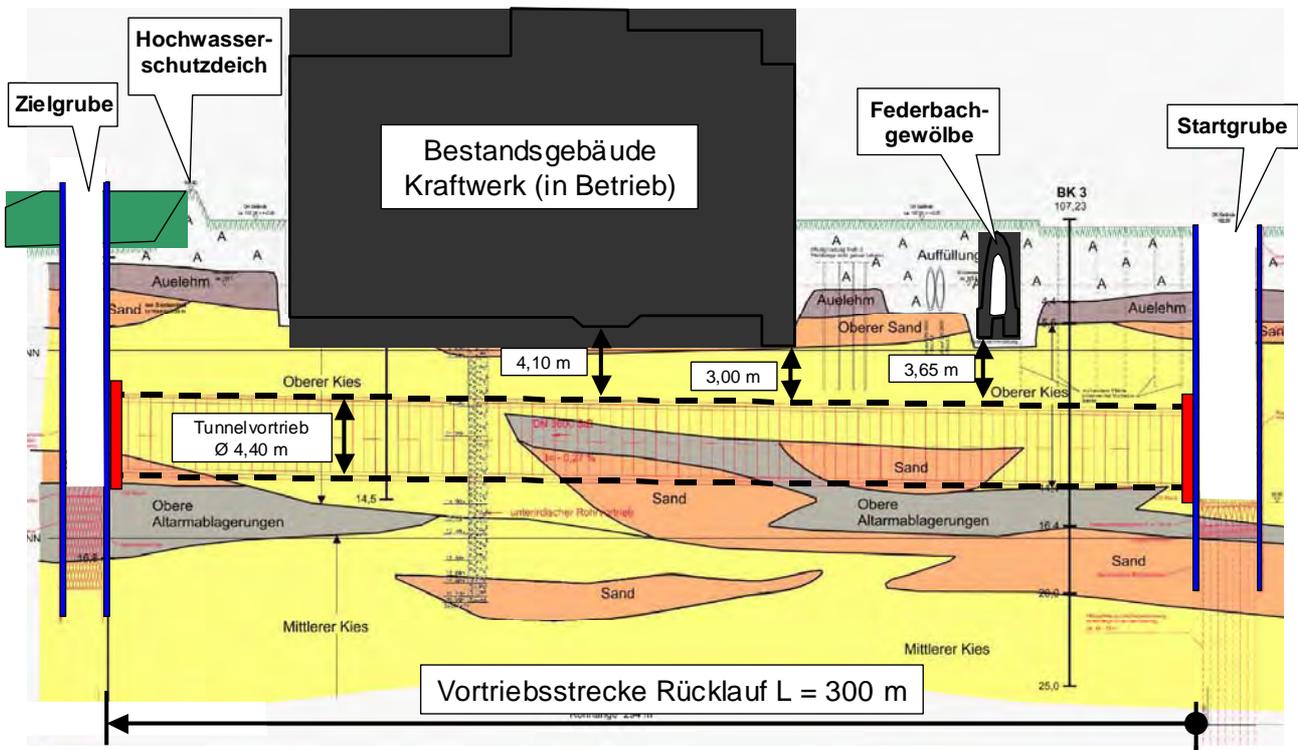
Die vier Baugruben wurden jeweils durch eine überschnittene Bohrpfahlwand gesichert (Tab. 1). Bei der kreisrunden Startgrube Rücklauf, die in der Mitte des für das RDK 8 geplanten Kühlturms liegt, konnte auf

eine Aussteifung bzw. Rückverankerung verzichtet werden.

Die beiden Zielgruben sind zweifach durch Stahlbetongurte ausgesteift, während für die Startgrube Vorlauf aufgrund der größeren Grundrissabmessungen eine zweifache Rückverankerung gewählt wurde.

Zur Sohlabdichtung der Baugruben wurden unterschiedliche Konzepte verfolgt, in denen die standortspezifischen Anforderungen aufgrund der Baugrubentiefe und des Bauablaufs zu berücksichtigen waren. Die Sohlabdichtung der Startgrube Vorlauf besteht aus einer mittelhochliegenden Weichgelsohle, die in einer Tiefe von rund 3,25 m unterhalb der späteren endgültigen Aushubsohle hergestellt wurde und zur Herstellung der Ankerlagen erforderlich war. Anschließend wurde die Baugrube geflutet, der weitere Aushub unter Wasser ausgeführt und eine 1 m dicke Unterwasserbetonsohle hergestellt, die durch GEWI-Pfähle rückverankert wurde.

In beiden Zielgruben wurden als Sohlabdichtung eine HDI-Sohle eingesetzt. In der Zielgrube wurde eine 1 m dicke mittelhochliegende HDI-Sohle hergestellt, die durch GEWI-Pfähle rückverankert wurde. Bei der im Grundriss etwas kleineren Zielgrube Vorlauf wurde eine 2,5 m dicke hochliegende HDI-Sohle ohne Rückverankerung hergestellt. Hierbei wurde zum Abtrag der Auftriebskraft rechnerisch das Eigengewicht der HDI-Sohle und ein Teil des Gewichtes der Bohrpfahlwand durch Mobilisierung der Reibungskraft zwischen HDI-Sohle und Bohrpfahlwand angesetzt.



**Bild 2:** geologischer Längsschnitt der Vortriebsstrecke „Rücklauf“

	Vorlauf		Rücklauf	
	Startgrube	Zielgrube	Startgrube	Zielgrube
Grundriss- Abmessungen	41,5 m x 15,5 m	14,0 m x 10,0 m	Ø 17,5 m	18,5 m x 15,5 m
Baugrubentiefe	15 m	15 m	15 m	17 m
Konstruktion der Baugrubensicherung	Überschnittene Bohrpfahlwand (L = 20,5 m), rechteckiger Grundriss, 2 – fach rückverankert	Überschnittene Bohrpfahlwand (L = 18,9 m), rechteckiger Grundriss, zwei Aussteifungslagen	Überschnittene Bohrpfahlwand, kreisrunder Grundriss, ohne Rückverankerung oder Aussteifung	Überschnittene Bohrpfahlwand, rechteckiger Grundriss, zwei Aussteifungslagen
Sohlabdichtung	Weichgelsohle und rückverankerte UW-Betonsohle (D = 1 m), GEWI-Pfähle: L = 20 m; Raster 2,88 m x 2,88 m	Nicht rückverankerte HDI-Sohle (D = 2,5 m)	Rückverankerte UW-Betonsohle (D = 1 m), GEWI-Pfähle: L = 20 m; Raster 2,9 m x 2,9 m	HDI-Sohle (D = 2,20 m) mit rückverankerter UW-Betonsohle (D = 1 m), GEWI-Pfähle: L = 20 m; Raster 2,28 m x 2,28 m

Tab. 1: Tiefe Baugruben für das Kühlsystem

#### 4. BAUGRUND- UND GRUNDWASSER-SITUATION

Der Baugrund im Bereich der Baugruben und im Bereich der Vortriebsstrecken wurde durch zahlreiche Kernbohrungen und Rammsondierungen mit der Schwere Rammsonde (DPH) untersucht. Erbohrt wurden unterhalb einer mehrere Meter mächtigen künstlichen Auffüllung zunächst rund 2 bis 3 m mächtiger überwiegend weicher bis steifer Auelehme, gefolgt vom Oberen und Mittleren Kieslager (OKL und MKL), die durch eine überwiegend bindige, teilweise auch sandige Zwischenschicht, den so genannten Oberen Zwischenhorizont (OZH), getrennt sind [5].

Der überwiegende Teil der Vortriebsstrecke verläuft im so benannten Oberen Kies, einem graubraunen bis grauen Kies aus Kalkstein-, Quarz- und Grundgebirgsgeröll. Meist überwiegt die Fraktion der Fein- und Mittelkiese, häufig sind jedoch auch Grobkieskomponenten enthalten. Auch mit dem gelegentlichen Auftreten von mehr als steingroßen Blöcken ist zu rechnen. Die Oberen Kiese sind überwiegend locker bis mitteldicht gelagert. Ihre Durchlässigkeit liegt in einer Größenordnung von  $k = 2,0 \cdot 10^{-2}$  m/s bis  $5 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Die Oberfläche des Oberen Kieses liegt an den Start- und Zielgruben der Vortriebe bei rund 100 mNN bzw. knapp darüber, also rund 1 m bis 3 m über den geplanten Vortrieben. Der Obere Kies reicht im Bereich des geplanten Vorlaufs fast überall unter die Sohle des geplanten Vortriebs. Zum Teil verläuft die Vortriebsstrecke innerhalb des so genannten Oberen Zwischenhorizontes (OZH), der das Obere vom Mittleren Kieslager trennt.

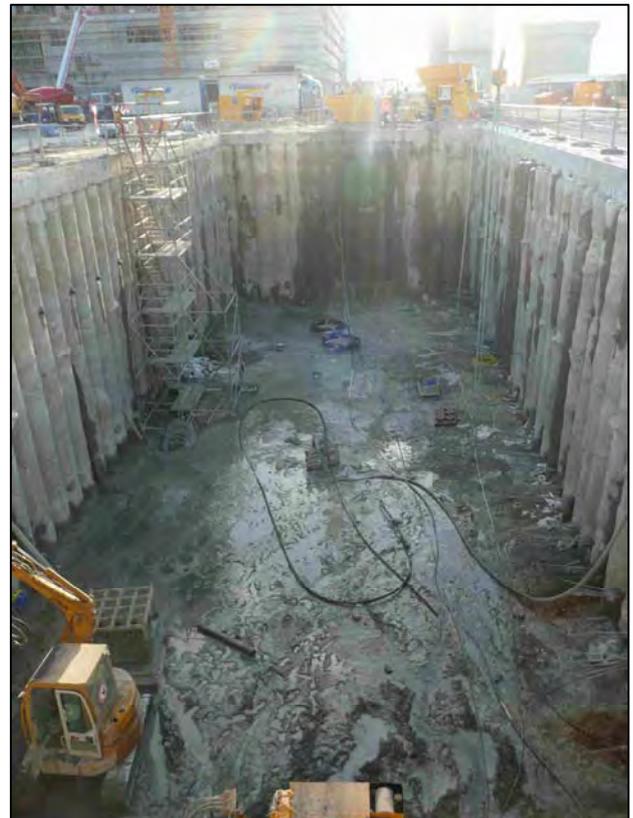


Bild 3: Startgrube Vorlauf im Zwischenaushubzustand

Diese Oberen Altarmablagerungen bestehen überwiegend aus dunkelbraunen, dunkelgrauen und schwarzen, schluffig-sandigen Tonen und tonigen, sandigen Schluffen mit teilweise hohem organischem Anteil. Die Konsistenz ist meist steif und halbfest, untergeordnet auch weich.

Der Mittlere Kies ist Teil des so genannten Mittleren Kieslagers (MKL), das rechtsrheinisch Mächtigkeiten von 10 m bis über 20 m aufweist. Vorherrschend sind graue Mittel- bis Grobkiese mit wechselndem Sandanteil und gelegentlichen stein- und blockgroßen Komponenten. Bereichsweise, insbesondere im unteren Abschnitt sind auch Sandbänke eingelagert, die bis zu 8 m Mächtigkeit erreichen können.

Hauptgrundwasserleiter sind die Oberen Kiese und Sande. Dabei kann das Grundwasser unter dem geringer durchlässigen Auelehmschicht teilweise gespannt sein. Die Grundwasserdruckhöhe korreliert mit dem Rheinwasserstand. Der stationäre Mittelwasserstand liegt im Baufeld des Kühlwasserkreislaufs bei rund 103,5 mNN, d.h. rund 3,7 m unter Gelände.

## 5. VORTRIEBSVERFAHREN

Für die Herstellung der Kühlwasserleitungen wurde vom Bauherrn nach einer Analyse und Bewertung unterschiedlicher möglicher Vortriebsverfahren gezielt das Hydroschildverfahren ausgewählt und ausgeschrieben, das unter den projektspezifischen Randbedingungen nach dem derzeitigen Stand der Technik den geringst möglichen Einfluss auf den umgebenden Baugrund sowie auf Bauwerke oberhalb der Tunneltrasse ausübt. Bei diesem Verfahren wird die Ortsbrust aktiv durch eine Stützflüssigkeit gestützt. Die Stützflüssigkeit wird zudem zur Abförderung des gelösten Bodens zur Geländeoberfläche verwendet. Dort wird mit Hilfe einer Separationsanlage das Bohrgut vom Fördermedium (Stützflüssigkeit) getrennt. Das „gereinigte“ Fördermedium wird danach wieder dem geschlossenen Spülkreislauf zugeführt und kann so erneut verwendet werden.

Aufgrund der Haltungslängen war der Vortrieb als Rohrvortrieb geplant. Hierbei war der Rohrstrang der Rücklaufleitung auf einen Innendruck von 5 bar auszuliegen. Dadurch waren besonders hohe Anforderungen an die Ausbildung der Rohrfugen gestellt.



**Bild 4:** Hydroschild (Bohrdurchmesser 4,40 m) vor der Montage für die Rücklaufstrecke



**Bild 5:** Einbau der 40 t schweren Vortriebsrohre

Von der für die Ausführung der Vortriebsarbeiten verantwortlichen Fa. Epping wurde ein Hydroschild mit einem Bohrdurchmesser von 4,40 m eingesetzt (Bild 4). Die rund 40 t schweren Vortriebsrohre DN 3600 (Bild 5) wurden per LKW vom Rohrwerk in Bocholt auf die Baustelle transportiert.

## 6. AUSFÜHRUNG DER VORTRIEBSARBEITEN

### 6.1 Stützung der Ortsbrust

Aufgrund der hohen Anforderungen zur Minimierung der vortriebsbedingten Setzungen stand die Stützung der Ortsbrust in besonderem Fokus. Aufgrund des geringen Feinkornanteils in den Oberen Kiesen von zum Teil <1% im Zusammenwirken mit der dort festgestellten lockeren Lagerungsdichte war damit zu rechnen, dass eine vertikale Ortsbrust ohne aktive Stützung nicht standsicher ist und daher sowohl während des Vortriebs, als auch bei Stillständen eine zuverlässige aktive Stützung erfordert.

Aus den für das Projektgebiet vorliegenden Kornverteilungskurven wurden für die Oberen Kiese  $d_{10}$ -Werte von ca. 1 mm ermittelt, in zwei Fällen betragen die  $d_{10}$ -Werte sogar ca. 4,5 mm. Die Oberen Kiese werden daher als stark durchlässig bis sehr stark durchlässig eingestuft. Es galt, die Stützflüssigkeit auf diese besonderen Baugrundverhältnisse abzustimmen, insbesondere auf die große Durchlässigkeit der Oberen Kiese.

Zur Stützung der Ortsbrust mit einer Stützflüssigkeit ist die Ausbildung einer Membrane an der Ortsbrust erforderlich, die durch Ausfiltern von Feinteilen aus der Stützflüssigkeit entsteht (Filterkuchenbildung) [3]. Diese Membrane wird benötigt, um die Druckdifferenz zwischen dem Stützdruck in der Abbaukammer und dem Porendruck im Boden in das Korngerüst zu übertragen.

In gering bis mäßig durchlässigen Böden gelingt dies in der Regel durch eine Bentonitsuspension mit einem Bentonitgehalt von etwa 30 bis 40 kg/m<sup>3</sup>.

In sehr durchlässigen Böden, wie den hier anstehenden Oberen Kiesen, ist die Stützung der Ortsbrust schwierig und es müssen spezielle Stützflüssigkeiten verwendet werden, da die Poren im Boden zu groß sind, um bei Verwendung einer herkömmlichen Bentonit-Suspension einen Filterkuchen zu bilden.

Beim Vortrieb der Kühlwasserleitung wurde daher zunächst als Regelsuspension ein polymermodifiziertes Natriumbentonit (Bentonit IBECO HT-X SPEZIAL) in einer Dosierung von etwa 25 bis 35 kg/m<sup>3</sup> verwendet. Hiermit gelang jedoch nur in einigen Streckenbereichen die gewünschte Membranbildung an der Ortsbrust. Es wurde daraufhin die Dosierung des polymermodifizierten Bentonits schrittweise bis auf 70 kg/m<sup>3</sup> erhöht. Dadurch wurde die Fließgrenze  $\tau_f$  der Suspension, die mit der Kugelharfe ermittelt wurde, auf rund 40 bis 50 N/m<sup>2</sup> erhöht. Bei einer derart hochgradig mit Bentonit angereicherten Suspension wurde teilweise die Grenze der Ausführbarkeit erreicht. Die Suspension war derart zähflüssig, dass zeitweise die Siebe auf der Separieranlage verstopften und die Suspension in den Überlauf abfloss.

Trotz dieser extremen Bentonitzugabemenge sind reichsweise Stützflüssigkeitsverluste aufgetreten, die lokal zu einem vorlaufenden Mehrausbruch der Ortsbrust geführt haben (Bild 6).

Eine weitere Erhöhung der vorgenannten Bentonitzugabemenge war baupraktisch nicht möglich, da davon auszugehen war, dass dann die Suspension nicht im Flüssigkeitskreislauf gehalten werden kann, sondern durch die Siebe dem Flüssigkeitskreislauf entzogen werden würde.

Es wurde daher nach alternativen Lösungen gesucht und im Dialog mit den Projektbeteiligten eine Sondersuspension entwickelt, die einerseits die Anforderungen an die Membranbildung an der Ortsbrust in sehr stark durchlässigen Kiesen erfüllt und andererseits pumpfähig ist und den Separierprozess nicht einschränkt.

Als Lösung des Problems wurde eine Sondersuspension bestehend aus Bentonitgranulat und Wasser entwickelt, die an der Geländeoberfläche angemischt und über eine zusätzlich verlegte Rohrleitung direkt in die Abbaukammer der Vortriebsmaschine zugegeben wur-



**Bild 6:** Ortsbrust in sehr durchlässigen Kiesen

de. Durch diese Sondersuspension, die zusätzlich zur Regelsuspension eingesetzt wurde, ist es gelungen, die Suspensionsverluste auf ein Minimum zu reduzieren. Hierbei wurden große Bodenporen durch die Bentonitgranulatstücke gestopft und derart verkleinert, dass sich ein Filterkuchen ausbilden konnte.

Der Einsatz der Sondersuspension wirkte sich auch positiv auf die Druckluftverluste bei Ortsbrustbegehungen unter Druckluft mit abgesenktem Suspensionspiegel aus. Auf zusätzliche Maßnahmen zur Abdichtung der Ortsbrust bei Drucklufteinstiegen konnte verzichtet werden.

Die Verwendung von Sägespänen, die in der Vergangenheit bei anderen Projekten [1], [2] eingesetzt worden waren, wurde beim Vortrieb am RDK 8 als nicht zielführend eingeschätzt, da sich Sägespäne in einer Bentonitsuspension nur schwer untermischen lassen, zur Klumpenbildung neigen, aufschwimmen und zum Verstopfen der Siebe führen können. Beim Einsatz des Bentonitgranulats war am RDK 8 kein derartiger negativer Einfluss auf die Pumpbarkeit der Suspension und den Separierprozess festgestellt worden, sodass nach unseren Erfahrungen Bentonitgranulat gegenüber Sägespänen vorzuziehen ist.

Als Maßnahmen der Qualitätssicherung wurden durch die ausführende Firma im Rahmen der Eigenüberwachung mindestens zweimal pro Tag die erforderlichen Eigenschaften der Bentonitsuspension im Fahrwasser überprüft und stichprobenartig durch die geotechnische Fachbauleitung überwacht (Bild 7):

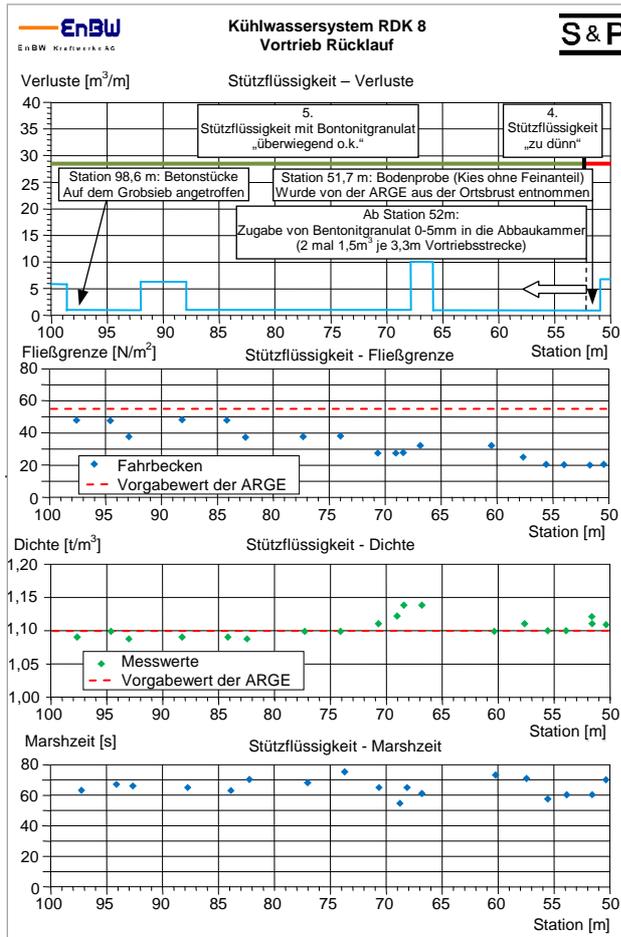
- Bestimmung der Fließgrenze
- Bestimmung der Suspensiondichte
- Bestimmung der Marshzeit

## 6.2 Hindernisse im Vortriebsquerschnitt

Die eingesetzte Tunnelvortriebsmaschine ist so konstruiert, dass eine Hindernisbeseitigung aus dem Vortrieb heraus möglich ist. Ein Zugang zur Abbaukammer besteht durch eine Luke, die sich im oberen Drittel der Tauchwand befindet.

Hierbei lag die Verfahrensauswahl der Hindernisbeseitigung, einschließlich der hierzu erforderlichen Sicherungs- und Abdichtungsmaßnahmen an der Ortsbrust, im Planungs- und Verantwortungsbereich der ausführenden Firma. Die Arbeitsabläufe der Hindernisbeseitigung sowie Maßnahmen zur Sicherung und Abdichtung der Ortsbrust waren bereits vor Beginn des Vortriebs geplant und in einem Vortriebsplan dargestellt und erläutert.

Da die Vortriebsstrecke durch ein Baufeld führte, in dem in den letzten 50 Jahren diverse Bautätigkeiten im Zuge der Errichtung der Kraftwerksblöcke 1 bis 7 stattgefunden hatten, war mit alten Bestandspfählen aus Stahlbeton bzw. mit einem Stahlpundwandverbau als



**Bild 7:** Graphische Aufbereitung der Vortriebsdaten (rheologische Eigenschaften Stützflüssigkeit)



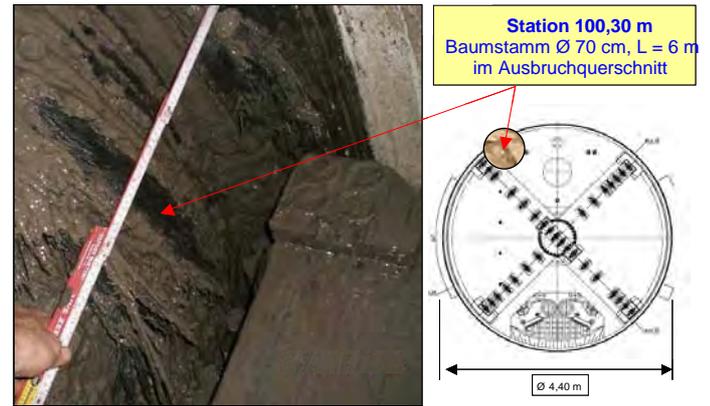
**Bild 8:** Bergung eines im Baugrund abgelagerten alten Holzstammes beim Aushub der Startgrube Vorlauf

mögliche Hindernissen bzw. Vortriebserschwerisse in der Vortriebsstrasse zu rechnen.

Glücklicherweise wurden beim Vortrieb keine alten Pfähle oder Spundwände angefahren. Stattdessen wurden allerdings Holzreste, ein massiver Baumstamm und ein Litzenanker im Ausbruchquerschnitt angetroffen.

Bereits bei der Erstellung der Startgrube Vorlauf war ein alter Baumstamm entdeckt und geborgen worden (Bild 8). Ein weiterer Baumstamm wurde bei Station 100,30 m im Ausbruchquerschnitt des Rücklaufs angefahren (Bild 9). Dieser wies einen Durchmesser von rund 70 cm auf und musste auf einer Länge von rund 6,0 m durchfahren werden.

Hierzu wurde die Vortriebsgeschwindigkeit gedrosselt, Überschneider montiert und der Baumstamm sukzessive abgeschält und vorsichtig abgebaut. Es zeigte sich, dass der massive Baumstamm mit geeigneten Werkzeugen und angepasster Vortriebsweise durchfahren werden könnte und kein Vortriebs-Hindernis darstellte, sondern lediglich eine wenige Stunden andauernde Erschwernis der Vortriebsarbeiten.

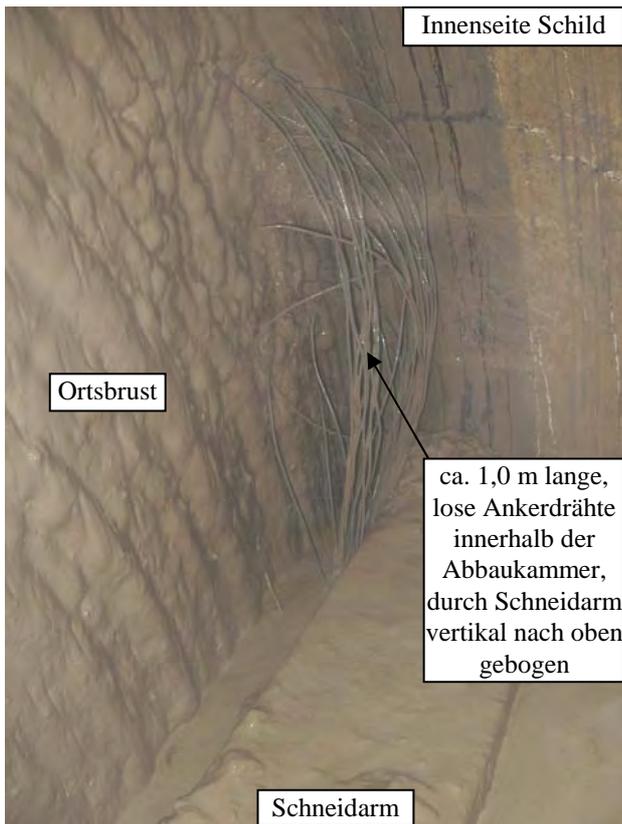


**Bild 9:** Erfolgreiches Durchfahren eines Baumstammes (Ø 70 cm, Länge: 6 m) durch angepasste Vortriebsweise

Mehr Probleme bereitete nach dem Anfahren der Vortriebsstrecke Vorlauf ein im Ausbruchquerschnitt angetroffener Baugrubenanker. Dieser Anker bestand aus 6 Litzen mit jeweils 7 Ankerdrähten. Diese konnten durch das Schneidwerkzeug und auch den zusätzlich montierten Überschneider nicht abgetrennt, geschweige denn so zerkleinert werden, dass er hätte im Förderkreislauf zusammen mit dem Boden abgepumpt werden können.

Da auch die Befürchtung bestand, dass sich die Ankerdrähte auf dem Schneidrad aufwickeln und somit das Schneidrad blockieren könnten, mussten die einzelnen Drähte etappenweise in einem Abstand von rund 1 m händisch geborgen werden (Bild 10).

Hierbei ließ es sich nicht vermeiden, dass einige der Ankerdrähte vor der Bergung abbrachen und dann den Einlaufrechen des Förderkreislaufes verstopften. Es wurden daher zahlreiche Vollabsenkungen der Ortsbrust zur Reinigung des Einlaufrechens erforderlich. Die Druckluftverluste bewegten sich im Zuge dieser Einstiege in einer Größenordnung von 7 m³/min bis 20 m³/min. Die Drucklufteinstiege wurden hierbei so geplant, dass eine Vollabsenkung erst nach längerer Standzeit (über Nacht) durchgeführt wurden.



**Bild 10:** Bergung eines Ankers im Ausbruchquerschnitt

### 6.3 Auswertung der Vortriebsdaten

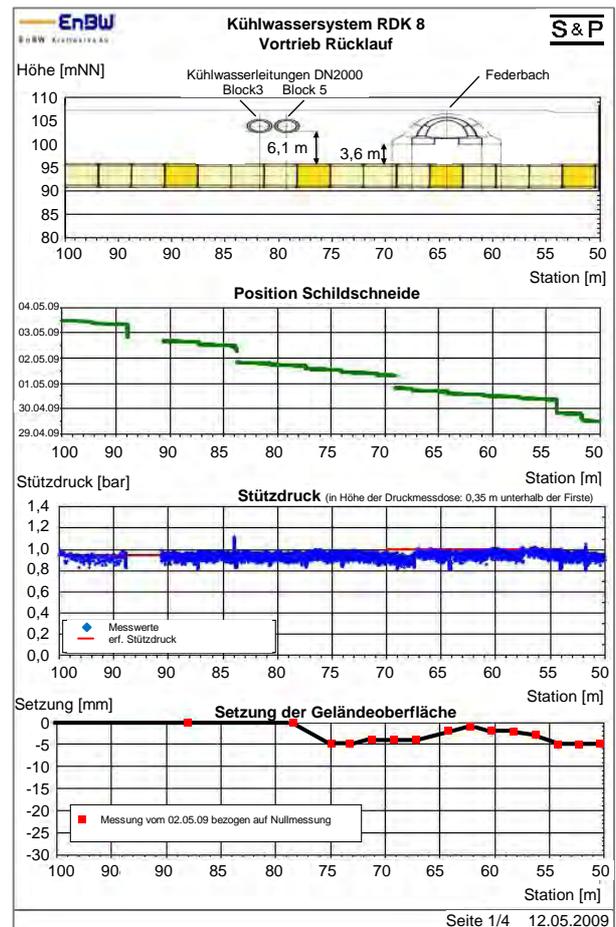
Als Maßnahme der Qualitätssicherung wurden, wie bei Maschinellen Tunnelvortrieben üblich [4], während des Vortriebs kontinuierlich zahlreiche Messdaten aufgezeichnet, wie z.B. die Schildposition, der in der Abbaukammer anstehende Stützdruck, die Abweichungen der Vortriebsmaschine von der Sollachse in der Lage und Höhe.

Im vorliegenden Fall wurden diese Messdaten täglich ausgelesen und der Örtlichen Bauüberwachung übergeben. Aufgrund der großen Datenmenge empfiehlt sich der besseren Übersicht wegen eine graphische Auswertung der Messwerte. Als praktikabel hat sich hierbei die stationsabhängige Darstellung der Vortriebsdaten erwiesen, z.B. für einen 50 m bzw. 100 m langen Vortriebsabschnitt.

Beispielhaft sind die graphisch aufbereiteten Vortriebsdaten in Bild 11 abgebildet. In der obersten Grafik ist die Position des Schneidrades in Abhängigkeit der Zeit (Tage) dargestellt, so dass die Vortriebsgeschwindigkeit und eventuelle Stillstände direkt ablesbar sind. In der zweiten Grafik ist der in der Abbaukammer gemessene (blau) Stützdruck dem rechnerisch erforderlichen (rot) Stützdruck gegenübergestellt. Die in der dritten Grafik dargestellten Setzungsmessungen zeigen, dass die Setzungen der Geländeoberfläche, insbesondere bei der Unterquerung des setzungsempfindlichen Federbach-

gewölbes, in einer Größenordnung zwischen null und 5 mm lagen und damit die Anforderungen an einen setzungsarmen Vortrieb erfüllt wurden.

Im Auftrag der EnBW wurden von S&P die aus Sicht des Bauherrn relevanten Vortriebsdaten wöchentlich bzw. nach Bedarf analysiert und graphisch in Längsschnitten bzw. als Zeitanglinie dargestellt (Bild 7 und 11). Hierzu gehörten auch die rheologischen Eigenschaften der Stützflüssigkeit, die bei dem hier anstehenden Baugrund besonders wichtig waren.



**Bild 11:** Graphische Aufbereitung der Vortriebsdaten (Übersicht)

Durch eine zeitnahe Auswertung der Vortriebsdaten wurde die Notwendigkeit von Verbesserungen und Anpassungen rasch erkannt und es konnten entsprechende Maßnahmen, wie z.B. eine verstärkte Zugabe von Bentonitgranulat bzw. eine Erhöhung des Stützdruckes umgehend veranlasst werden.

## 7. RESUMEE UND AUSBLICK

Mit dem Bau der Kühlwasserleitungen für den Block 8 des Rheinhafen-Dampfkraftwerks im Rohrvortriebsverfahren ist die Unterquerung der bestehenden und im Betrieb befindlichen Kraftwerksblöcke auf einer Länge von rund 135 m und bei einer Überdeckung von minimal rund 3 m erfolgreich gelungen. Das Ziel der Minimierung der Setzungen wurde erfüllt, es sind keine Schäden an den unterquerten Bauwerken aufgetreten. Voraussetzung hierfür war eine an die angetroffenen Baugrundverhältnisse angepasste Betriebsweise des eingesetzten Hydroschildes. Aufgrund der bereichsweise großen Durchlässigkeit der Rheinkiese war eine Fortschreibung und Weiterentwicklung der eingesetzten Stützflüssigkeit erforderlich. Es hat sich gezeigt, dass Stützflüssigkeitsverluste selbst bei einer hohen Bentonitdosierung von  $70 \text{ kg/m}^3$  aufgetreten sind. Erst durch den systematischen zusätzlichen Einsatz von Bentonitgranulat und direkter Zugabe in die Abbaukammer hinein konnten große Bodenporen gestopft und nennenswerte Stützflüssigkeitsverluste verhindert werden. Dadurch wurde die Entstehung der zur Stützung erforderlichen Membrane an der Ortsbrust durch Filterkuchenbildung möglich. Diese bei den Tunnelvortrieben für die Kühlwasserleitungen des RDK 8 gewonnenen positiven Erfahrungen und Lösungskonzepte können bei zukünftigen Tunnelprojekten in vergleichbaren, sehr durchlässigen Böden zur Sicherstellung eines setzungsarmen Vortriebs beitragen.

## Literatur

- [1] FRITZ, P., TANDLER, CH. (1999): Hydroschild Vortrieb Hermetschloo – Werdhölzli in hochdurchlässigem Schotter.ETH Zürich – Institut für Geotechnik Weiterbildungskurs, 27./28. September 1999.
- [2] FRITZ, P. (2003): Slurry Shield Tunneling in Highly Permeable Ground. Escudos de Frente Presurizado con Lodo en Suelos con alta Permeabilidad. 12th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 39th U.S. Rock Mechanics Symposium, Cambridge MA, June 22-25, 2003.
- [3] HOLZHÄUSER, J. (2000):Problematik der Standsicherheit der Ortsbrust beim TBM-Vortrieb im Betriebszustand Druckluftstützung. Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft 52, S. 49-62.
- [4] KIRSCHKE, D., HOLZHÄUSER, J. (2008): Schildvortrieb unter einem Kriechhang mit Wohnbebauung im Zuge des Katzenbergtunnels. Lehrstuhl und Prüfamts für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau der TU München, Beiträge zum 7. Geotechnik-Tag in München 15.02.2008, S. 147-168.
- [5] SCHREIB, G., VUJCIC, I., MOORMANN, Chr. (2010): Optimierung von Gründung und Baugrube für den Block 8 des Rheinhafen-Dampfkraftwerkes in Karlsruhe. Tagungsband 7. Kolloquium „Bauen in Boden und Fels“, 26.-27. Januar 2010, Technische Akademie Esslingen.



**Holzhäuser Ingenieur Consult GmbH**

Ludwig-Erhard-Str. 2  
76275 Ettlingen  
Telefon +49 7243 56170-10  
Telefax +49 7243 56170-90

[info@hic-engineering.de](mailto:info@hic-engineering.de)  
[www.hic-engineering.de](http://www.hic-engineering.de)