



Wasserhaltungsmaßnahmen beim Bau eines Autobahntunnels

Bau einer Brunnengalerie ■ Im Zuge des Neubaus der A71 im Abschnitt „Schmücketunnel“ wurde eine Brunnengalerie mit 36 Brunnen (Durchmesser 300 mm) bis in Teufen von 85 m mit einem innovativen Bohrverfahren hergestellt und betrieben. Auf Grund der Geologie in dieser Störungszone des Thüringer Beckens wurden die Brunnenstandorte vorher durch Kernbohrungen erkundet. Bedingt durch die knappe Bauzeit kamen gleichzeitig fünf Bohrgeräte zum Einsatz.

Der Schmücketunnel (1.730,00 m) ist ein wichtiger Bestandteil der zurzeit im Bau befindlichen A71 als Verbindung des Autobahnkreuzes Erfurt (A4/A71) und des geplanten Dreiecks Oberröblingen (A38/A71). Nach Fertigstellung (2008 geplante Verkehrsfreigabe Tunnel) wird dieser Abschnitt wesentlich zur wirtschaftlichen Erschließung der strukturschwachen Nordregion Thüringens beitragen. Die als Vertreter des Bauherren (Bundesrepublik Deutschland) fungierende DEGES (Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH Berlin) beauftragte die ARGE Schmücketunnel (Fa. Baresel/Kunz/Kirchner) mit dem Bau der Verkehrseinheit von der AS Heldringen bis zur provisorischen Anbindung der B85, die den Schmücketunnel umfasst. Durch die ARGE Schmücketunnel wurden die Firmen BOG GmbH Caaschwitz und Brunnenbau Conrad GmbH Merxleben im Januar 2006 zur Errichtung und Betrieb der Brunnengalerie – Wasserhaltung als Subunternehmer gebunden. Die Prüfung der Ausführungsunterlagen

für die Brunnengalerie und den Tunnel erfolgte durch das Ingenieurbüro Professor Dr.-Ing. W. Wittke, Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH (WBI), Aachen.

Schichtenfolge

Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse im Bereich der Trasse wurden von Januar 2003 bis März 2004 insgesamt 34 Kernbohrungen abgeteuf. Danach durchquert der Schmücketunnel von Norden kommend die Schichten des Unteren, Mittleren und Oberen Buntsandsteins, des Unteren, Mittleren und Oberen Muschelkalks und des Unteren Keupers. Die Schichten fallen überwiegend mit ca. 30 Grad in süd- bis südwestliche Richtung ein. Entstehungsbedingt ist das Gebirge im Bereich der Schmücke durch ausgeprägte, NW-SE streichende Störungszone zerlegt. Durch die im Rahmen der Baugrunderkundungen durchgeführten Bohrungen wurden im Bereich der Störungen Versätze bis ca. 80 m festgestellt (Abb. 1).

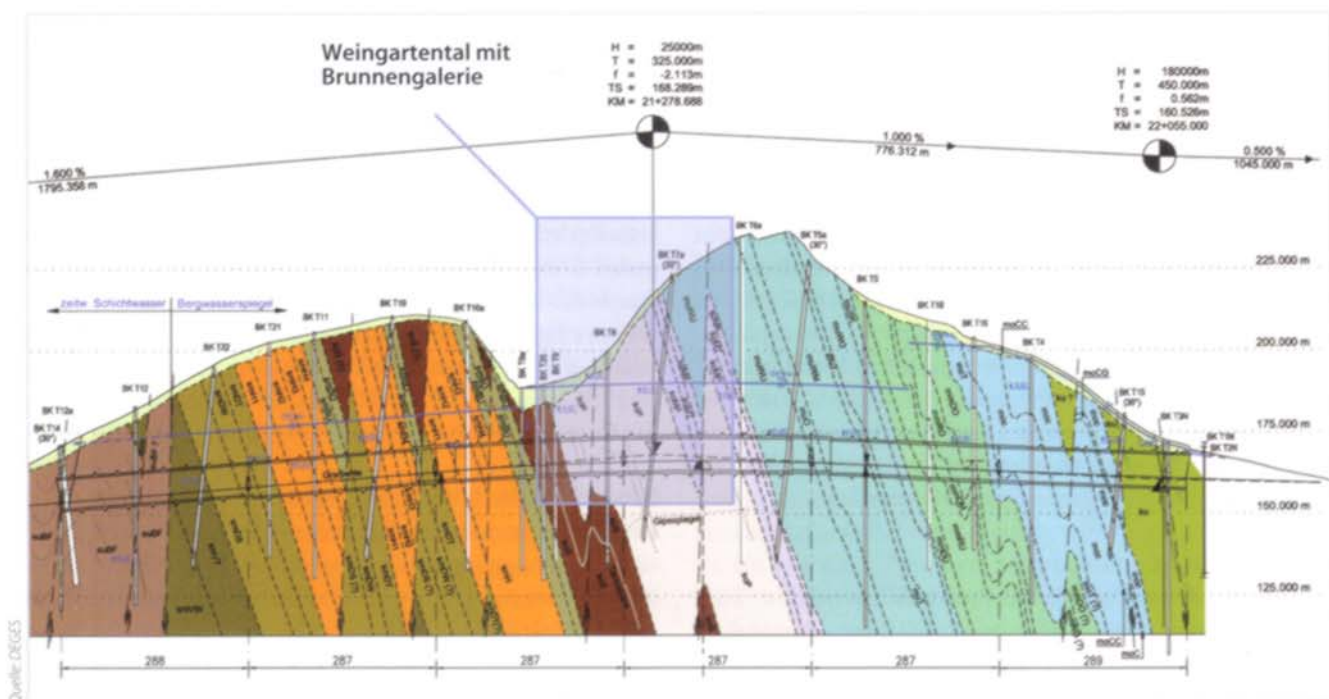


Abb. 1 Geologischer Längsschnitt mit Lage des Tunnels und der Brunnengalerie



Abb. 2 Übersichtslageplan der Brunnengalerie

Etwa in Tunnelmitte wird das Weingartental mit einer minimalen Überdeckung der Firste von 17 m unterquert (Abb. 1). Der in diesem Abschnitt anstehende Obere Buntsandstein gliedert sich vom Liegenden zum Hangenden in die drei Hauptschichten

- Salinarröt-Folge,
- Pelitröt-Folge,
- Myophorienschichten.

Das Gestein bestand nach seiner Entstehung aus einer Wechselfolge von gipsführenden Ton-, Schluff- und Dolomitsteinschichten. Durch Auslaugung des Gipses sind die Gesteine des Salinar- und des Pelitröts bis unter die geplante Tunnelsohle entfestigt und bereichsweise zu Boden (Residualton) zersetzt.

Grundwasserverhältnisse im Weingartental

Der Tunnel kommt im Bereich des Weingartentals unterhalb des Grundwasserspiegels zu liegen. Dieser steht nach den Ergebnissen der Wasserstandsmessungen maximal 12 m über der Tunnelfirste an. Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit im Oberen Buntsandstein wurden neben WD-Tests ein Kurzzeitpumpversuch und zwei Langzeitpumpversuche durchgeführt. Im Zuge der Auswertung dieser Versuche wurden Durchlässigkeitsbeiwerte von $k_f = 4 \cdot 10^{-5} - 10^{-8}$ m/s bestimmt sowie eine anisotrope Durchlässigkeit des Gebirges festgestellt. Das Röt besitzt offensichtlich entlang der Schichtung eine größere Wasserwegigkeit als quer dazu.

Brunnengalerie

Beim Vortrieb des Tunnels im Oberen Buntsandstein (Röt) wurden infolge der Auslaugung des Gebirges besonders schwierige Bedingungen erwartet. Insbesondere im Salinarröt war mit wassergefüllten Sandzwischenlagen und Sandlinsen zu rechnen.

Auf Grund der vergleichsweise geringen Durchlässigkeiten und der damit verbundenen langen Zeiträume für die Entwässerung des Gebirges wurde eine vorausseilende Grundwasserabsenkung mit Hilfe von 35 Tiefbrunnen entworfen und ausgeschrieben. Diese waren seitlich und zwischen den Tunnelröhren anzuordnen (Abb. 2). Nach den Ergebnissen von instationären Sickerströmungsberechnungen ist bei Annahme einer isotropen Durchlässigkeit, die einem k_f -Wert von 10^{-7} m/s entspricht, ein Zeitraum von mehr als zwei Jahren für die Entwässerung des Untergrundes im Bereich des Tunnelquerschnitts erforderlich. Da die Vorlaufzeit für die Entwässerung gegenüber dem geplanten Vortrieb jedoch auf wenige Monate begrenzt war, wurden die Tiefbrunnen für eine Vakuumbeaufschlagung ausgerüstet.

Auf Grund der wechselhaften Untergrundverhältnisse im Röt kam der Anordnung der Filterstrecken in den Brunnen eine besondere Bedeutung zu. Es wurde daher entschieden, den Ausbau der einzelnen Brunnen auf der Grundlage der Ergebnisse von Kernbohrungen, festzulegen. Diese wurde entlang der Achsen der Brunnenbohrungen vorlaufend hergestellt. Im Zuge der Herstellung der Brunnengalerie wurden fünf Grundwassermessstellen zwischen den Tunnelröhren eingerichtet (PB1 bis PB5). Zusammen mit den Messstellen, die im Rahmen der Baugrunderkundung ausgebaut wurden, stehen insgesamt 16 Messstellen zur Überwachung der Grundwasserabsenkung zur Verfügung (Abb. 2).

Geotechnische Erkundung – Seilkernbohrungen

Der Gesamtleistungsumfang beinhaltete das Abteufen von 40 Kernbohrungen bis in eine maximale Teufe von 90 m (Gesamtbohrmeter 2.466 m). Durch die ausführende ARGE BOG/BBC wurden zeitweise sechs vollhydraulische Bohranlagen eingesetzt (Abb. 3). Da geotechnische Vorbohrungen und Brunnenbohrungen parallel durchgeführt wurden, kamen nur Bohranlagen zum Einsatz, die sowohl



Abb. 3 Fünf Bohrergeräte im Paralleleinsatz

Seilkernbohrungen als auch verrohrte Hammerdrillbohrungen ausführen konnten.

Trotz der angetroffenen, extrem schwer zu bohrenden Wechsellagerungen und Störzonen konnte durch den Einsatz von an die Gebirgsverhältnisse angepassten Bohrkronen und „gefühlvollem“ Umgang mit Spüldruck und -menge ein nahezu 100-prozentiger Kerngewinn erzielt werden (Abb. 4). Nach dem Abteufen jeder Kernbohrung wurden ein Schichtenverzeichnis entsprechend DIN 4021 erstellt, je Meter eine Wassergehaltsbestimmung nach DIN 18121 Teil 1 und 2, und ein Wasserschluckversuch durchgeführt. Nach Auswertung dieser Daten erstellte die ARGE BOG/BBC einen Ausbauvorschlag für jeden einzelnen Brunnen. Dieser Ausbauvorschlag wurde durch den Auftraggeber in Abstimmung mit der eingesetzten Bauüberwachung und dem Prüfingenieur (WBI) geprüft und nach Einarbeitung entsprechender Änderungen und Ergänzungen bestätigt. Erst dann wurden die Brunnen durch die ARGE BOG/BBC hergestellt. Diese Vorgehensweise erforderte eine hohe Flexibilität der eingesetzten Bohranlagen und einen enormen Koordinationsaufwand für die Bauleitung der ARGE BOG/BBC. Andererseits konnte aber durch die Anpassung der Brunnengalerie an die tatsächlichen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse ein optimales Kosten-Nutzen-Verhältnis erzielt werden.

Brunnenherstellung

Nach Freigabe des Ausbauvorschlages durch die BÜ und den Prüfingenieur wurde die vorerkundete Bohrung mit $d = 146$ mm auf den endgültigen Brunnendurchmesser von mindestens 300 mm aufgeweitet. Erfahrungen hatten gezeigt, dass das Festgestein nicht standsicher ist, sondern nachfällt. Bei einer herkömmlichen Imlochhammerbohrung besteht die Gefahr des Verlusts des Bohrhammers. Die ARGE BOG/BBC hat sich daher für ein Überlagerungsbohrsystem entschieden,



Abb. 4 Kernkisten mit gekernten Bodenproben

welches eine Verrohrung über die gesamte Bohrstrecke mitführt. Bei beiden ARGE-Firmen liegen langjährige Erfahrungen mit diesem sehr innovativen System vor. Die hohen Investitionskosten und auch höhere Schichtkosten durch den Einsatz sehr großer Kompressoren (mind. $20 \text{ m}^3/\text{min}$ bei 20 bar) werden durch eine optimale Leistung wettgemacht. Beide Unternehmen BOG und BBC führen mehrere Ausrüstungen des SYMMETRIX-Bohrsystems von ATLAS COPCO im Durchmesser 323 mm (Abb. 5). Mit einer Anlage konnten Schichtleistungen von bis zu 50 m erzielt werden. Es wurden teilweise fünf Bohranlagen im Paralleleinsatz eingesetzt. Ein entscheidender Vorteil des Symmetrix-Verfahrens besteht in der sehr großen Richtungsstabilität auch bei wechselnden Bodenformationen. Die geforderte Bohrgenauigkeit von 1 Prozent, auf Grund der unmittelbaren Nähe zu den Tunnelröhren, konnte überall eingehalten werden.

Die Brunnen wurden mit PVC-Filtern und Vollrohren DN 150 ausgebaut. Die Vollrohrstrecke wurde mit einem Dämmstoff abgedichtet, um die Brunnen mit Vakuum beaufschlagt zu können. Auf Grund der feinkornreichen Baugrundsichten wurden ein Quarzfilterkies 1 bis 2 mm und eine Schlitzweite der Filterrohre von 0,7 mm verwendet.

Wasserhaltung

Nach der Herstellung der Brunnen erfolgte das Klarpumpen mit der Zielsetzung, die Brunnen zu säubern und eine Schüttungsmenge für die Dimensionierung der Pumpenleistungsgröße festzulegen. Eine Gefahr für eine Überdimensionierung besteht bei einer solchen Brunnengalerie immer, da ein einzelner Brunnen natürlich eine größere Menge fördert als später im Gruppenbetrieb. Auf das vorsichtige Anfahren, also das erste Inbetriebnehmen, wurde ein hoher Wert gelegt. Daher wurden die Pumpen bei geschlossenem Schieber, zunächst ohne Vakuumbeaufschlagung, in Betrieb genommen und in Stufen auf die volle Absenkung ge-



Abb. 5 Symmetrix – Imlochhammer
d = 323 mm mit Ringkrone

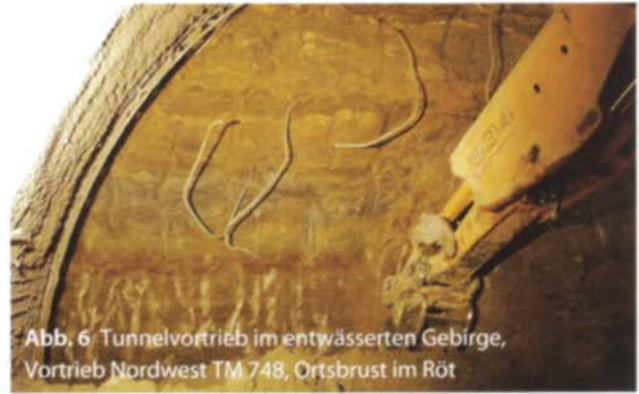


Abb. 6 Tunnelvortrieb im entwässerten Gebirge,
Vortrieb Nordwest TM 748, Ortsbrust im Röt

bracht. Auf diese Weise können Feinsteile aus dem Untergrund herausgespült und ein stabiles Korngerüst um den Filter erzeugt werden. Die Brunnen wurden mit 4“-Pumpen LOWARA 2 GS bis 12 GS mit Fördermengen von 1 bis 15 m³/h bei 50 bis 100 m Förderhöhe ausgerüstet. Jede Pumpe ist sondengesteuert mit Ein- und Ausschaltsonde und zusätzlich befindet sich darüber eine Alarmsonde für den Störfall.

Alle Alarmsonden sind mit einer computergestützten Telemot-Anlage gekoppelt, die über ein Mobilfunknetz Alarmmeldungen im SMS-Format an den Brunnenwärter und andere Kontrollpersonen versendet. Weiterhin wurde ein Notstromaggregat mit Selbststartautomatik installiert, das auch bei Stromausfall den Brunnenbetrieb gewährleistet. Ein Brunnenwärter kontrolliert die gesamte Anlage täglich, da auch die beste elektronische Überwachung nicht jeden Defekt erkennen kann.

Alle Brunnen wurden mit Vakuumbrunnenköpfen versehen, sodass eine Vakuumbeaufschlagung ermöglicht wird. Dadurch können die Reichweite der Absenkung erhöht und schlecht entwässerbare Bodenformationen trockengelegt werden. Vor Beginn wurde an allen Brunnen eine Dichtprobe ausgeführt, um den Nachweis der Funktionsfähigkeit der Abdichtungsstrecke im Vollrohrbereich, die unerlässlich für den Vakuumbetrieb ist, zu führen.

Insgesamt wurden 1.600 m Rohrleitungen an der Brunnengalerie verlegt und ca. 700 m Ableitung DN 250 zur nächsten Vorflut. Die Pegel sind mit automatischen Datenloggern ausgerüstet, die eine kontinuierliche Wasserstandszeichnung

übernehmen. So kann gewährleistet werden, dass der Tunnelvortrieb ohne große Überraschungen und die Gefahr eines Wassereinbruches die geologische Störungszone passieren kann.

Erfahrungen aus dem Vortrieb und Schlussfolgerung

Am 19. Mai 2006 wurden die ersten Brunnen des nördlichen Abschnitts 1 der Brunnengalerie (Abb. 2) bepumpt. Nach vollständiger Inbetriebnahme der Brunnengalerie konnten am 1. Juli 2006 insgesamt 85 m³ Wasser je Stunde aus den Brunnen gefördert werden. Dabei wurden ausgewählte Brunnen in Abhängigkeit von den jeweiligen Förderraten und den in den benachbarten Pegeln gemessenen Wasserständen mit Vakuum beaufschlagt. Auf diese Weise konnte bereits Anfang August 2006 der Grundwasserspiegel im nördlichen Abschnitt 1 bis auf das Niveau der geplanten Tunnelsohle abgesenkt werden.

Mit dem Auffahren des bergmännischen Tunnelabschnitts wurde im Januar 2006 von beiden Portalen aus begonnen. Nach einer Vortriebsdauer von ca. acht Monaten erreichte der von Norden kommende Kalottenvortrieb der Oströhre als erster der vier Vortriebe die Schichten des Röts unterhalb des Weingartentals. Auf Grund der erfolgreichen vorlaufenden Entwässerung des Untergrundes durch die Brunnengalerie konnte der Tunnelabschnitt im Oberen Bundsandstein ohne größere Schwierigkeiten in einem praktisch trockenen Gebirge sicher aufgefahren werden (Abb. 6). Das der Ausschreibung zugrunde gelegte Entwässerungskonzept wurde dadurch bestätigt. Der Durchschlag der Tunnelröhren konnte bereits im Dezember 2006 gefeiert werden. Zurzeit erfolgt der Einbau der Innenschalen.

Autoren:

Dipl.-Ing. Henning Thormann
BBC Brunnenbau Conrad GmbH

Dipl.-Ing. Peter Wölk
BOG Bohr- und Umwelttechnik GmbH

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Walter Wittke
Dipl.-Ing. Dieter Schmitt
WBI Professor Dr.-Ing. W. Wittke
Beratende Ingenieure für GRUNDBAU
und FELSBAU GmbH
Henricistr. 50
52072 Aachen
Tel.: 0241 88987-0
Fax: 0241 88987-33

Thamsbrücker Str. 10
99947 Merxleben
Tel.: 03603 3906-0
Fax: 03603 3906-29

Eselsteig 17
07586 Caaschwitz
Tel.: 036605 20757-3
Fax: 036605 20757-9

E-Mail: info@brunnenbau-conrad.de
Internet: www.brunnenbau-conrad.de

E-Mail: woelk-bog@t-online.de

E-Mail: wbi@wbionline.de
Internet: www.wbionline.de

