

BEITRAGSREIHE
PRAXIS UND TECHNIK

TUNNEL FREUDENBERG



Tunnel Freudenberg - Felsmechanische und hydrogeologische Aspekte bei der Planung des Straßentunnels im Unteren Buntsandstein
D. Stemle, J. Holzhäuser (2010)

Tunnel Freudenberg - Felsmechanische und hydrogeologische Aspekte bei der Planung des Straßentunnels im Unteren Buntsandstein

Dr.-Ing. Jörg Holzhäuser
Dipl.-Geol. Dominic Stemle

Das Regierungspräsidium Stuttgart plant derzeit den Neubau des Tunnels Freudenberg, einen ca. 1 km langen Straßentunnel, der als Ortsumgehung die bisherige Verkehrsführung durch das enge, im Maintal gelegene, historische Stadtzentrum von Freudenberg entlasten soll.

In dem Beitrag werden die Ergebnisse der ersten Phase der Baugrunderkundung zusammenfassend vorgestellt und die Aspekte Felsklassifikation und Abrasivität des Festgesteins näher beleuchtet.

Einführung

Die Verkehrssituation in der Stadt Freudenberg, die im äußersten Norden von Baden-Württemberg zwischen Würzburg und Frankfurt am Main gelegen ist, soll aufgrund der extrem beengten Verhältnisse im Ortskern durch einen ca. 930 m langen bergmännisch aufzufahrenden Tunnel mit im Süden anschließendem Trogbauwerk und Hangeinschnitt verbessert werden (Bild 1 und 2). Der geplante Tunnel unterquert hierbei den Talhang des Maintals, der steil bis unmittelbar zum östlichen Stadtrand von Freudenberg abfällt.

Der Ausbruchquerschnitt des Straßentunnels wird voraussichtlich eine Breite von rund 11,6 m und eine Höhe von rund 8,2 m bis 9,3 m aufweisen (Bild 3). Etwa in den Drittelpunkten des Haupttunnels sind zwei Fluchttunnel geplant, die im historischen Stadtzentrum von Freudenberg enden.

Bei der Planung des Tunnels Freudenberg sind die Belange des Trinkwasserschutzes zu berücksichtigen, da sich der Tunnel im Einflussbereich der Trinkwasserbrunnen der Stadtwerke Wertheim befindet. Am südlichen Tunnelanfang liegt die Tunneltrasse auf den ersten rund 15 m in der Schutzzone II und anschließend auf rund 300 m Länge in der Schutzzone III der Trinkwasserbrunnen Br I bis Br III (Bild 2).

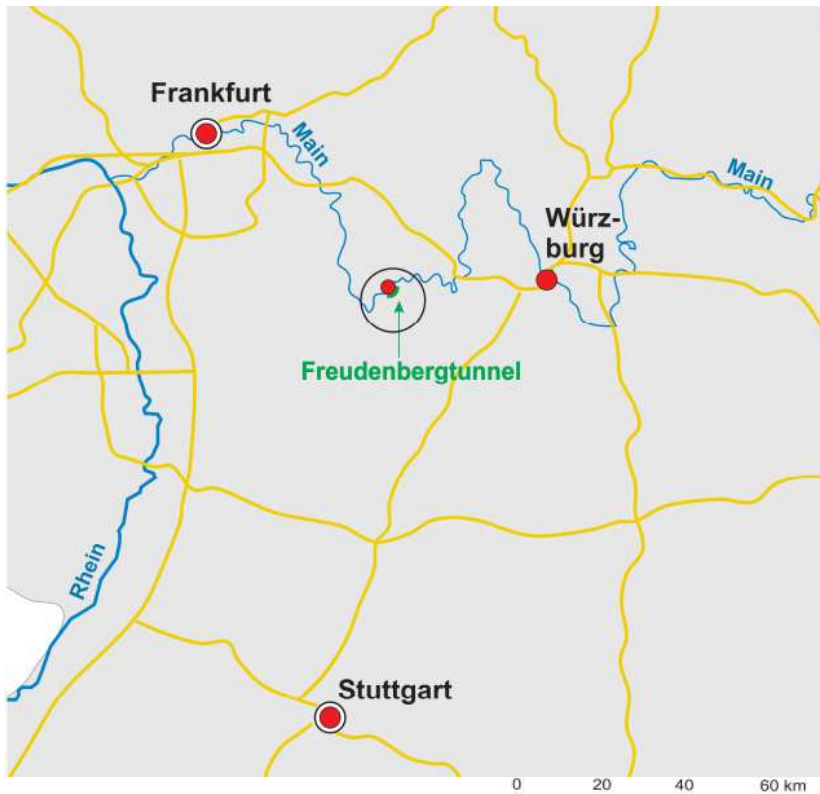


Bild 1. Projektübersicht Tunnel Freudenberg.

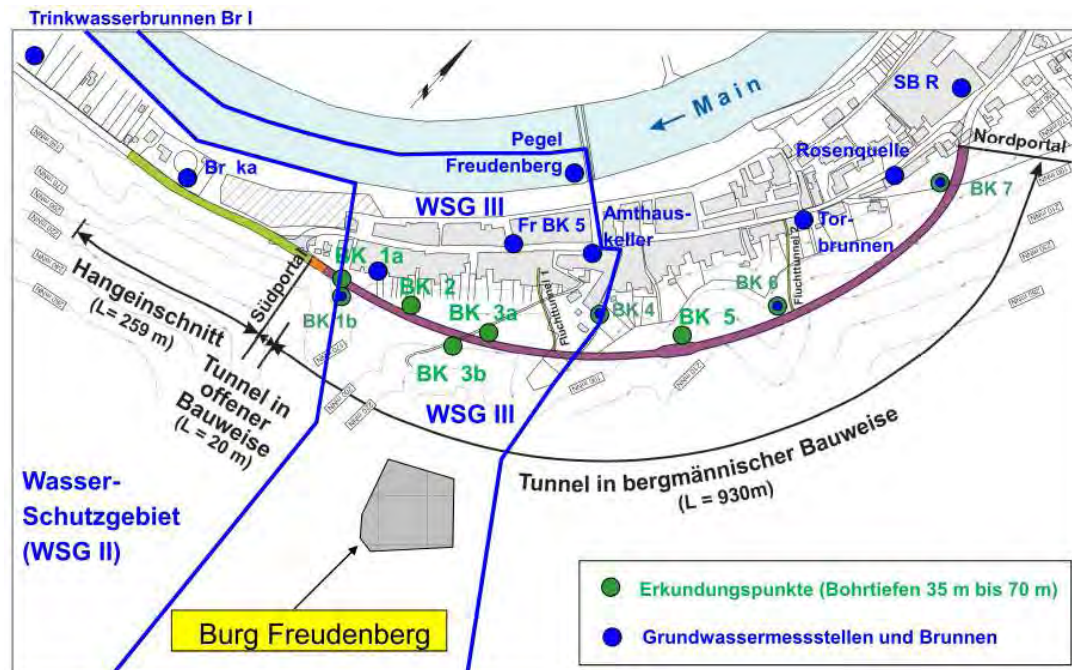


Bild 2. Lageplan: Tunnel Freudenberg.

Baugrund- und Grundwasserverhältnisse

Die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse wurden durch insgesamt 9 Kernbohrungen bis in Tiefen von rund 35 m bis 70 m erkundet, ergänzt durch umfangreiche Labor- und Feldversuche. In situ wurden z.B. Aufnahmen der Bohrlochwandung mit optischen und akustischen Bohrlochscans, Bohrlochtests mit der Dilatometer- bzw. Seitendrucksonde sowie Pump- und Infiltrationsversuche durchgeführt. In Laborversuchen wurden unter anderem die Einaxiale Druckfestigkeit, der Mineralbestand und die Abrasivität des Festgesteins ermittelt.

Der Tunnel liegt innerhalb des Unteren Buntsandsteins (Bild 4), der aus einer Wechselfolge von fein- bis mittelkörnigen, rötlich gefärbten Sandsteinen besteht, in die untergeordnet geringmächtige Tonsteinbänke eingelagert sind. Ein Teilbereich des Unteren Buntsandsteins, der sogenannte "Dickbank-Sandstein", ist in der hier verbreiteten Varietät als "Miltenberger Sandstein" bekannt und wird in mehreren Steinbrüchen in der Umgebung von Freudenberg, zwischen Stadtprozelten und Miltenberg, entlang des Mains abgebaut (Bild 5).

Im Bereich der Tunneltrasse wurden die Felseigenschaften in großer Bandbreite erkundet. Sie reichen von unverwittertem, sehr hartem, sprödem Sandstein, der dickbankig ansteht, bis hin zu verwittertem, mürbem Sandstein mit wenigen zwischengelagerten Tonsteinbänkchen. Im südlichen Tunnelabschnitt sind vermutlich 2 Störungen mit tektonischen Abschiebungen hintereinander gestaffelt, die die Schichten um mehrere Meter bis Zehnermeter gegeneinander versetzen.

Die Felsqualität ist ganz überwiegend hart bis sehr hart bei guter bis sehr guter Kornbindung. Lediglich im Bereich der vermuteten tektonischen Störzonen wurden über mehrere Meter Bohrstrecke auch mürbe bis sehr mürbe Sandsteine erbohrt. Die Kornbindung ist dann schlecht bis sehr schlecht.

Die Hauptkluftrichtung weist ein Streichen von 120° bis 150° auf, streicht also etwa von NW nach SO, und die Klufflächen fallen meist steil unter 70° bis 80° nach Nordosten hin ein. Die steil einfallenden Schichten sind zum Teil komplementär, d.h. sie fallen teilweise auch nach Südwesten hin ein. Der mittlere Kluftabstand beträgt überwiegend 0,6 m bis 2 m, dies entspricht einem Rock Quality Designation Index (RQD) von 75% bis 100%. In den Störungszonen vermindert sich der Kluftabstand auf 0,06 m bis 0,6 m (RQD: 0% bis 25%). Die Klüfte zeigen häufig Korrosionsspuren, sind uneben und rau und z.T. mit Lehm gefüllt.

An den getesteten Sandstein-Proben, die vor Ort überwiegend als hart bis sehr hart angesprochen wurden, wurde eine Druckfestigkeit σ_u in einer Bandbreite von 22 MN/m² bis 81 MN/m²

ermittelt, der Mittelwert ergibt sich zu 55 MN/m². Der zugehörige Elastizitätsmodul beträgt 5.200 MN/m² bis 16.600 MN/m², Mittelwert 11.800 MN/m².

Ergänzend wurden an insgesamt 205 Sandstein-Kernstücken und an 5 Tonstein-Kernstücken Punktlastversuche gemäß der Empfehlung Nr. 5 des Arbeitskreises 19 „Versuchstechnik Fels“ der DGGT sowohl in axialer als auch in diametraler Richtung ausgeführt. Der Punktlastversuch ist ein Indexversuch zur Abschätzung der Gesteinsdruckfestigkeit σ_u und ähnelt einem Spaltzugversuch. Hierbei wird ein Festgesteinsstück in einem hydraulischen Prüfgerät zwischen zwei abgestumpften Kegelspitzen bis zum Trennbruch belastet.

In 170 Punktlastversuchen wurden Sandstein-Proben in axialer Belastungsrichtung untersucht und daraus Druckfestigkeiten σ_u^* von 23 MN/m² bis 155 MN/m², Mittelwert 57 MN/m² abgeleitet. In diametraler Belastungsrichtung wurden in 35 Versuchen Druckfestigkeiten σ_u^* von 2 MN/m² bis 75 MN/m², Mittelwert 18 MN/m² ermittelt, die um ein Vielfaches geringer sind als in axialer Richtung. Die Gesteinsfestigkeit ist also durch die natürliche Schichtung anisotrop (Bild 6).

Zur Untersuchung des Verformungsverhaltens des Gebirges wurden Bohrlochaufweitungsversuche mit der sogenannten Ettlinger Seitendrucksonde und mit einem Dilatometer (beide Sonden: \varnothing 101 mm) durchgeführt.

Die Seitendruckversuche wurden in Felsbereichen durchgeführt, die einen höheren Zerlegungsgrad aufweisen und als sehr mürbe angesprochen wurden. Erfahrungsgemäß ist in Fels mit sehr geringer Festigkeit damit zu rechnen, dass ein satter Kontakt zwischen Sonde und Bohrlochwand bereits nach einer kurzen Anlegephase gewährleistet ist.

Dilatometerversuche sind besonders im Fels mit einer einaxialen Druckfestigkeit ≥ 25 MPa geeignet, weil sich der hierbei verwendete Schlauchpacker dem tatsächlichen Bohrl Lochdurchmesser anpasst und auch bei einer unebenen Bohrlochwandung ein flächenhafter Kontakt zwischen Sonde und Bohrlochwand sichergestellt ist.

Alle Bohrlochaufweitungsversuche wurden jeweils mit vier Lastzyklen durchgeführt. Die maximal aufgebrachte Belastung betrug 7,5 MN/m². Der Verformungsmodul E_v wurde aus der Erstbelastungskurve, der Elastizitätsmodul E aus der Entlastungskurve ermittelt. Aufgrund der Überlagerungshöhe von rund 20 m bis maximal 70 m liegt der für den Tunnel Freudenberg maßgebende Spannungsbereich in einer Größenordnung zwischen 0 und rund 2,5 MN/m², der der weiteren Bewertung der Versuche zu Grunde gelegt wurde.

Im überwiegend harten bis sehr harten kompakten Fels wurden der Verformungsmodul E_v in einer Bandbreite von rund 620 MPa bis 1.970 MPa, Mittelwert 1.030 MPa ermittelt. Der Elastizitätsmodul E beträgt 1.260 MPa bis 2.860 MPa, Mittelwert 1.870 MPa. Das Verhältnis von Verformungsmodul zu Elastizitätsmodul E_v/E beträgt rund 1:1,5 bis 1:2.

In zwei Versuchen im mürben bzw. zerlegten Fels (RQD-Wert: 0%) wurden deutlich geringere Werte ermittelt. Der Verformungsmodul E_v lag hierbei in einer Bandbreite von rund 50 MPa bis 80 MPa, Mittelwert 70 MPa, der Elastizitätsmodul betrug 110 MPa bis 320 MPa, Mittelwert 200 MPa. Das E_v/E -Verhältnis beträgt rund 1:2 bis 1:4.

Diese unterschiedlichen Verformungseigenschaften des Gebirges sind in der weiteren Tunnelplanung bei der Auslegung der Sicherungselemente zu berücksichtigen.

Zur Ermittlung der Grundwasserverhältnisse wurden die meisten Erkundungsbohrungen als Grundwassermessstellen ausgebaut. Die gemessenen höchsten Ruhewasserspiegel liegen in den überwiegenden Tunnelabschnitten rund 3 m bis 7 m unter der Tunnelsohle. In den Tunnelbereichen, in denen eine tektonische Störung vermutet wird, liegt der Ruhewasserspiegel innerhalb des Tunnelquerschnitts. Hier muss in der weiteren Planung von einem ständigen Bergwasserandrang ausgegangen werden.

Das Gebirge ist im Projektgebiet des Tunnels Freudenberg nach den bisherigen Erkenntnissen nach IAEG 1979 als im Mittel mäßig durchlässig ($k_f = 4,7 \cdot 10^{-4}$ m/s) einzustufen. Allerdings schwanken die Gebirgsdurchlässigkeiten in einem weiten Bereich. Extremwerte sind geringe Durchlässigkeiten von $5,5 \cdot 10^{-7}$ m/s bis hohe Durchlässigkeiten von $4,7 \cdot 10^{-4}$ m/s, wobei am Nordportal tendenziell höhere Durchlässigkeiten zu erwarten sind.

Die für den Tunnel Freudenberg angegebene Schwankungsbreite ist typisch für einen Kluftaquifer und sollte bei der genauen Berechnung des Wasserandrangs während des Bauvorhabens beachtet werden. Der Einfluss von Niederschlagsereignissen ist hoch, sie schlagen innerhalb weniger Stunden schnell durch und bewirken eine sofortige Erhöhung des Wasserspiegels. Es ist geplant, Grundwassermessstellen mit Datenloggern auszustatten, um insbesondere mögliche Aufstau-Effekte bei Hochwassersituationen zu erfassen.

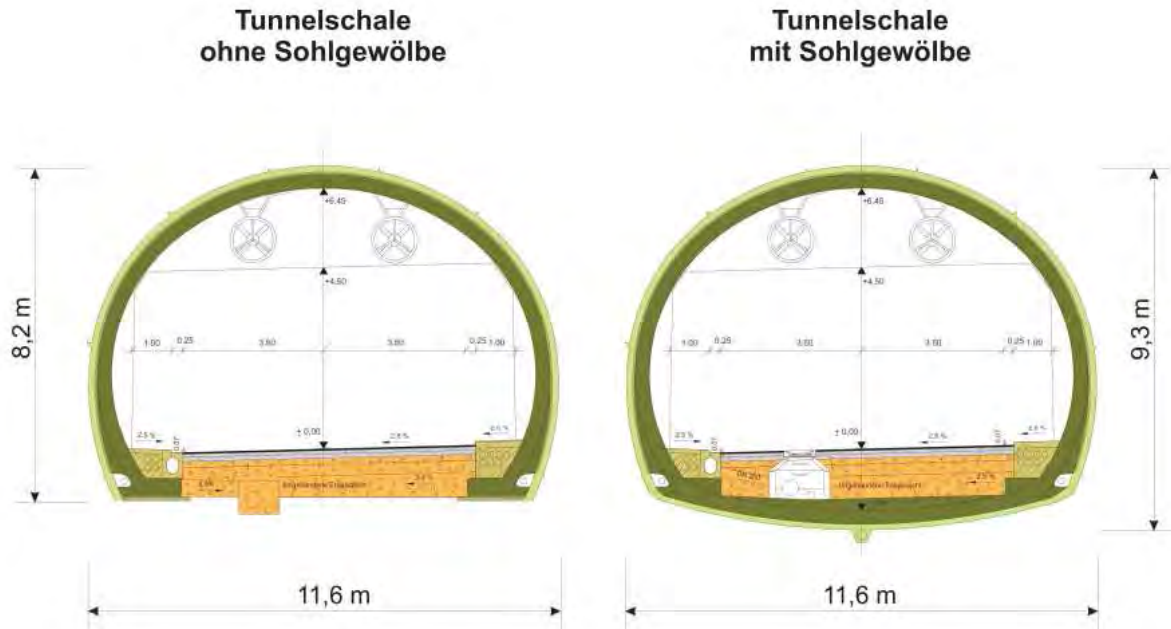


Bild 3. Tunnelquerschnitt.

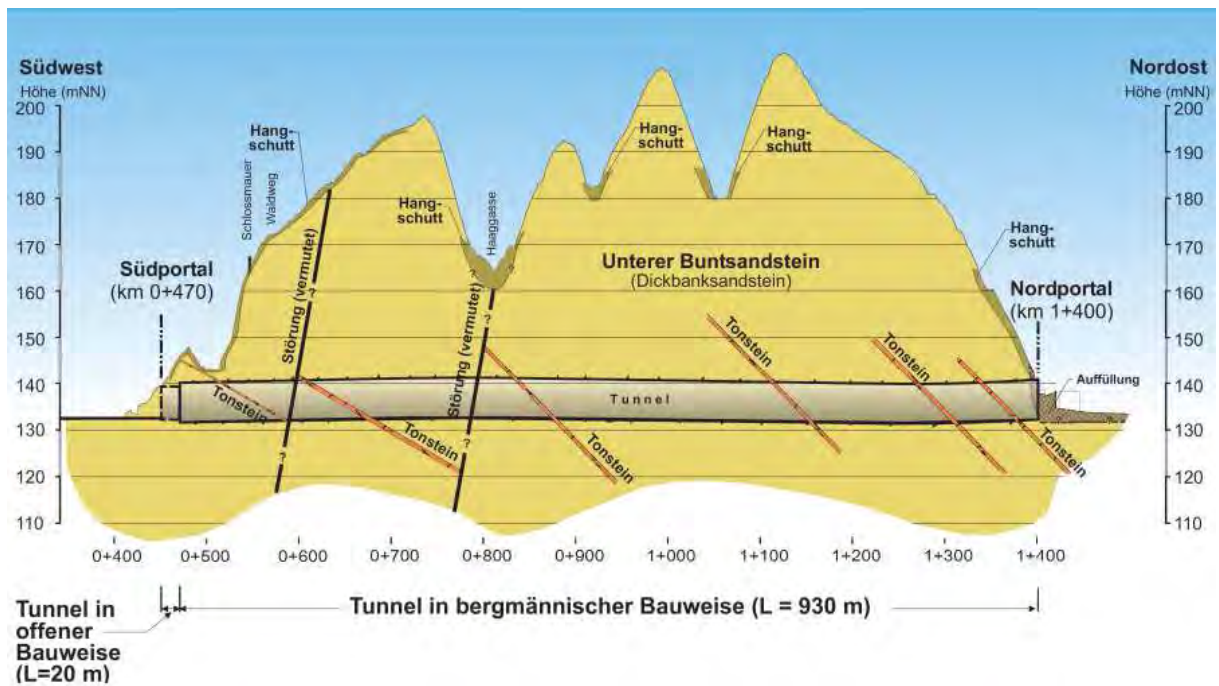


Bild 4. Geologischer Längsschnitt.

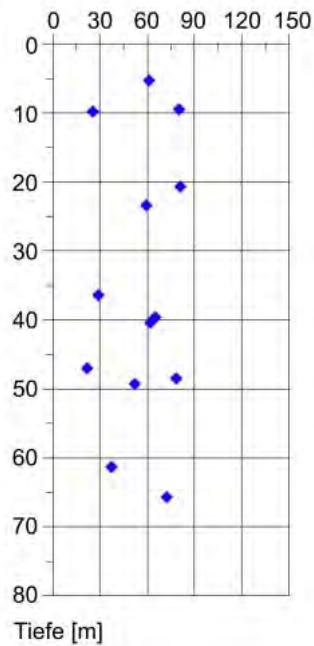


Bild 5. Unterer Buntsandstein: Geländeaufnahmen von einem nahegelegenen Steinbruch.

Versuche: Sandstein (axial belastet)

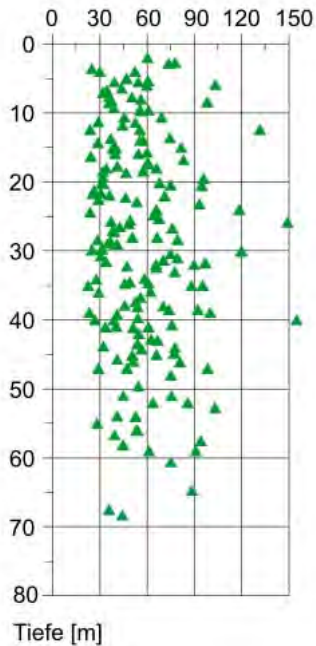
Einaxialer Druckversuch

Zylinderdruckfestigkeit
 σ_u [MPa]



Punktlastversuch

abgeleitete einaxiale
Druckfestigkeit σ_u^* [MPa]



**Anisotrope Gesteinseigenschaften
des Sandsteins**

Aus Punktlastversuchen abgeleitete
einaxiale Druckfestigkeit σ_u^* :

axial (170 Versuche):

Minimum: 23 MPa
Maximum: 155 MPa
Mittelwert: 57 MPa

diametral (35 Versuche):

Minimum: 2 MPa
Maximum: 75 MPa
Mittelwert: 18 MPa

Bild 6. Einaxiale Druckfestigkeit des Unteren Buntsandsteins.

Gebirgsklassifikation

Im Hinblick auf die zu wählenden Ausbruchklassen bzw. der erforderlichen Sicherungsmaßnahmen ist es erforderlich, die Beschreibung der für den Tunnelbau relevanten Gebirgsverhältnisse in möglichst übersichtlicher Form zusammenzufassen. Hierzu wurden von mehreren Autoren Klassifikationsmethoden entwickelt, von denen hier beispielhaft das von Barton et al. (1980) entwickelte Q-System und das von Bienawski (1976 und 1989) vorgeschlagene sogenannte Rock Mass Rating (RMR) genannt seien.

Bei der RMR-Methode werden fünf Gebirgsklassen (I bis V) definiert, die durch sechs Gebirgsparameter I_i bestimmt werden (Bild 7). Wesentlich hierbei ist, dass sich die tunnelbautechnische Bewertung der Gebirgsverhältnisse nicht allein auf den RMR-Wert fokussieren sollte, mit dem die Klassifikation der Gebirgsverhältnisse summarisch durch einen einzigen Zahlenwert ausgedrückt wird. Vielmehr sollten hierbei standortbezogen und aufgabenorientiert die individuellen Gebirgsparameter berücksichtigt werden, die im Rahmen des Rock Mass Ratings in systematischer Weise zusammengestellt werden.

Unterer Buntsandstein		
	kompakter Fels überwiegend hart bis sehr hart	teilentfestigter Fels mürbe bis sehr mürbe
Gesteinsfestigkeit σ_u [MN/m²]	57	0,8
I_1 [-]	7	0
RQD [%]	>75	<25
I_2 [-]	17	3
Kluftabstand [m]	0,6 bis 2	0,06 bis 0,6
I_3 [-]	20	10
Zustand der Klüfte	Kluftfläche: meist rau gering verwittert	Kluftöffnungen 1-5 mm Durchgehend
I_4 [-]	20	6
Gebirgswasserverhältnisse	feucht	Wasser unter niedrigem Druck
I_5 [-]	7	4
Orientierung der Trennflächen zum Tunnel	mäßig gut	ungünstig
I_6 [-]	-5	-10
RMR-Wert (ΣI_i)	66	13
Gebirgsklasse nach BIENAWSKI	II	V
Beschreibung nach BIENAWSKI	guter Fels	sehr schlechter Fels

Bild 7. Gebirgsklassifikation nach Bienawski – RMR (Rock Mass Rating).

In Bild 7 sind beispielhaft die Gebirgsparameter für kompakten Fels und für teilentfestigten Fels sowie die daraus abgeleiteten RMR-Werte dargestellt.

Die Klassifizierung in Gebirgsklassen ist ein Hilfsmittel für die Ausschreibung. Bedeutsam ist dabei nicht so sehr die Gebirgsgüte selbst, sondern die Auswirkung des Gebirgsverhaltens auf den Vortrieb und die Sicherungsarbeiten. Diese Anforderungen sind in DIN 18312 geregelt in sogenannten Ausbruchklassen.

Abrasivität des Gesteins

Für Fels existieren mehrere Methoden, um die Abrasivität zu ermitteln (Holzhäuser und Nilsen, 2006). Die weltweit am weitesten verbreiteten sind:

- Der VICKERS-Test; ergibt die Vickers Härte Zahl (Vickers Hardness Number) – VHN;
- Der CERCHAR-Test; ergibt den Cerchar Abrasivitäts Index – CAI;
- Der LCPC Abrasimeter-Test; ergibt den LCPC abrasivity index – ABR;
- Der NTNU Abrasions-Test, der die Abrasivitäts-Werte AV bzw. AVS angibt.

Die im Jahr 1925 entwickelte und nach der britischen Flugzeugbaufirma Vickers benannte Härte nach Vickers beschreibt die Härte eines Minerals beim Eindrücken einer Diamantpyramide unter einer festgelegten Prüfkraft.

Beim CERCHAR-Test wird mit einem geschärften Stahlstift auf einer Länge von 1 cm über eine frische Felsoberfläche geritzt (Rostami et al, 2005). Der CERCHAR Abrasivitäts Index (CAI) wird dann aus dem mittleren Durchmesser der abgenutzten Stahlspitze, gemessen in Zehntelmillimetern, ermittelt. Der Vorteil dieses Versuchs ist es, dass er auch an unregelmäßigen Felsoberflächen ausgeführt werden kann. Der CERCHAR-Test wird daher weltweit bei vielen Tunnelprojekten im Fels verwendet. Der CAI liegt etwa bei 0,5 für weichen Fels, wie z.B. Kalkstein, und bei mehr als 5,0 für harten Fels wie Quarzit. Dabei korreliert der CAI direkt mit der Lebensdauer von Rollenmeißeln.

Der LCPC-Abrasimeter-Test wurde ursprünglich zur Untersuchung des Verschleißverhaltens von Zuschlagstoffen im Straßenbau entwickelt. Hierbei wird getrocknetes Felsmaterial der Körnung 4 bis 6,3 mm zusammen mit Stahlkugeln in eine zylindrische Trommel eingefüllt. Darin rotiert mit 4500 U/min ein Propeller aus weichem Stahl, der mit einem Messer ritzbar ist. Der Abrasivitätsindex ABR entspricht dem Massenverlust des Propellers je Tonne Felsmaterial und korreliert mit dem CERCHAR-Test und der Einaxialen Druckfestigkeit.

Der NTNU Abrasions-Test ist eines der Testverfahren, die seit dem Jahre 1960 an der Universität Trondheim zur Bestimmung der Bohrbarkeit von Fels und zur Verschleißermittlung entwickelt wurden und seitdem ständig fortentwickelt werden. Seit etwa 1980 wurden an der im Jahre 1996 in Norwegian University of Science and Technology (NTNU) umbenannten Forschungseinrichtung die Berechnungsmodelle auf die Verschleißprognose von TBMs im Fels erweitert, die sich mittlerweile auf eine Datenbasis von mehr als 3.000 Felsproben aus mehr als 250 km Bohrtunnel in Norwegen und anderen Ländern stützen.

Die Abrasions-Werte AV bzw. AVS werden mit dem gleichem Versuchsaufbau (Bild 8) bestimmt, der den Verschleiß von Wolframkarbid (AV) bzw. Rollenmeißelstahl (AVS) infolge Felsmehl ermittelt. Der Abrasions-Wert AV entspricht dem mittleren Gewichtsverlust in Milligramm von 2 bis 4 Prüfkörpern aus Wolframkarbid nach 5 Minuten, d.h. nach 100 Umdrehungen, während der Abrasionswert AV nach 1 Minute, d.h. nach 20 Umdrehungen ermittelt wird. Für den NTNU-Versuch wird eine Felsprobe von ca. 2 kg benötigt, die nach einer definierten Prozedur in mehreren Stufen gemahlen wird. Das Felsmehl gelangt dann über einen Trichter auf eine rotierende Stahlscheibe und trifft auf den Stahlprüfkörper, der mit einem Gewicht von 10 kg angedrückt wird. Der Stahlprüfkörper wird anschließend ausgebaut, gereinigt und gewogen. Der Massenverlust sollte in 2 bis 4 Wiederholungsversuchen um nicht mehr als 5 mg differieren.

Für den Tunnel Freudenberg wurde der CERCHAR Abrasivitäts Index CAI an insgesamt fünf Sandsteinproben und einer Tonsteinprobe ermittelt. Die Sandsteinproben weisen einen CAI-Wert von rund 2,1 bis 3,3 auf, im Mittel von 2,7 und werden als sehr abrasiv klassifiziert. Die untersuchte Tonsteinprobe ergab einen CAI-Wert von rund 0,2 und wird als kaum abrasiv klassifiziert.

Der Abrasivitäts-Wert AV wurde im NTNU Abrasivitäts-Test der Norwegian University of Science and Technologie in Trondheim ermittelt.

In vier der insgesamt 6 untersuchten Sandsteinproben aus dem Projektgebiet des Tunnels Freudenberg wurde im NTNU Abrasivitäts-Test ein Abrasions-Wert AV von rund 29 bis 36 ermittelt. Diese Abrasivität wird als hoch klassifiziert (Bild 4). In je einer Probe wurde die Abrasivität als mittel bzw. sehr hoch ermittelt (Bild 9).

Die für den Tunnel Freudenberg ermittelten Abrasions-Werte AV liegen damit innerhalb der Bandbreite von Erfahrungswerten, die der Universität Trondheim von ausgeführten Tunnelprojekten im Sandstein vorliegen.

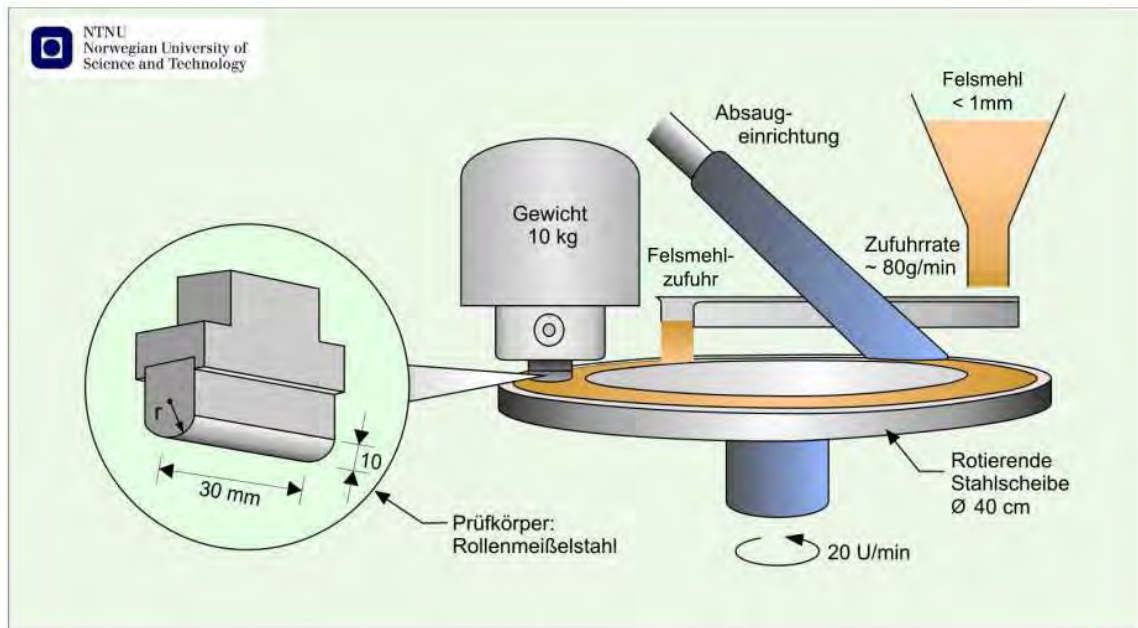


Bild 8. Abrasivitäts-Test für Fels – Entwicklung der Universität Trondheim, Norwegen

NTNU Abrasivitäts-Wert (AV): 6 Messwerte Tunnel Freudenberg
+ Vergleichsprojekte (868 Einzeltests)

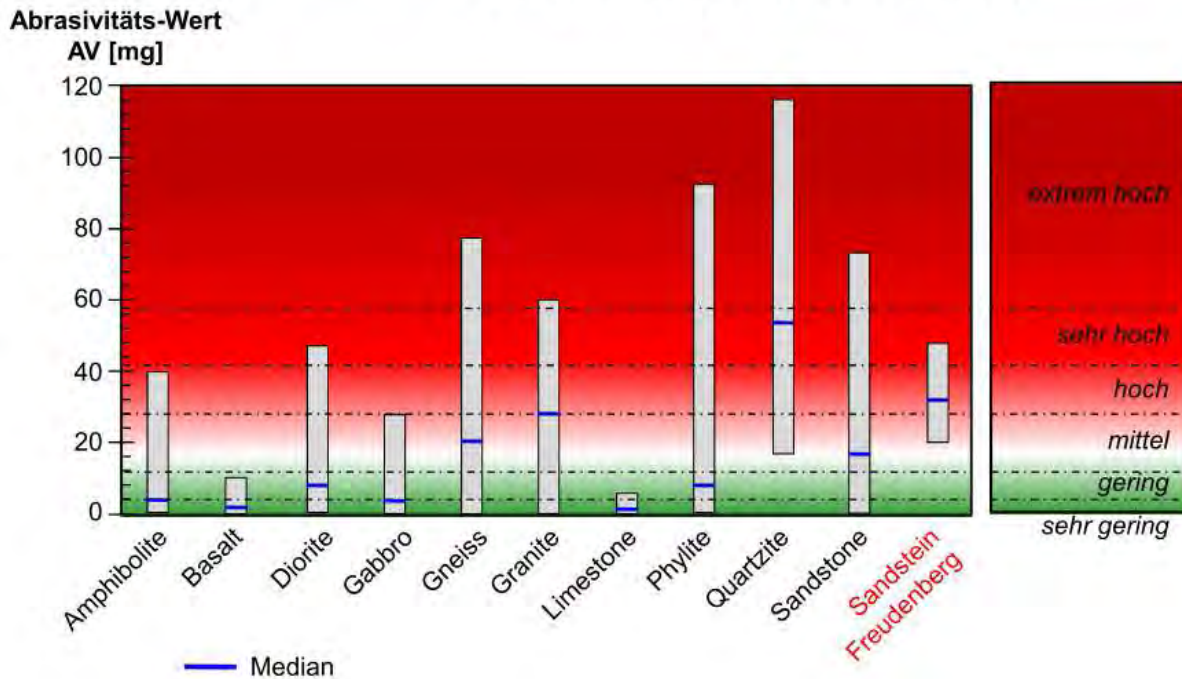


Bild 9. Abrasivitäts-Messwerte von Vergleichsprojekten

Ausblick

Der vorliegende Beitrag fasst die Ergebnisse der ersten Phase der Baugrunderkundung zusammen. Es ist geplant, in Kürze eine zweite Erkundungsphase zu beginnen, bei der insbesondere die Portalbereiche sowie die vermuteten Störungen genauer untersucht werden sollen. Darauf aufbauend wird das Vortriebskonzept entwickelt und die weitere Tunnelplanung durchgeführt.

Quellennachweis

Barton, N., Løset, F., Lien, R., Lunde, J. (1980). *Application of the Q-system in design decisions*. In: *Subsurface space*, (ed. M. Bergman) 2, 553-561. New York: Pergamon.

Bieniawski, Z.T. (1976): *Rock mass classification in rock engineering*. In: *Exploration for rock engineering, Proc. of the symp.*, (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.

Bieniawski, Z.T. (1989): *Engineering rock mass classifications*. New York: Wiley.

Holzhäuser, J., Nilsen, B. (2006): *Abrasivität von Lockergestein bei Tunnelvortrieben – Aktuelle Erfahrungen aus der Baupraxis und Entwicklung eines neuen Laborversuchs*. 29. Baugrundtagung, 27.-30. Sept. 2006 in Bremen, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Essen.

Rostami, J., Ozdemir, L., Bruland, A. , Dahl, F. (2005): *Review of issues related to Cerchar abrasivity testing and their implications on geotech investigations and cutter cost estimates*. Proc. RETC-Conference, Seattle 2005.

Autoren:

Dr.-Ing. Jörg Holzhäuser

HIC Holzhäuser Ingenieur Consult GmbH, Ettlingen

jh@hic-engineering.de

(vormals: Smoltczyk & Partner GmbH, Stuttgart)

Dipl.-Geol. Dominic Stemle

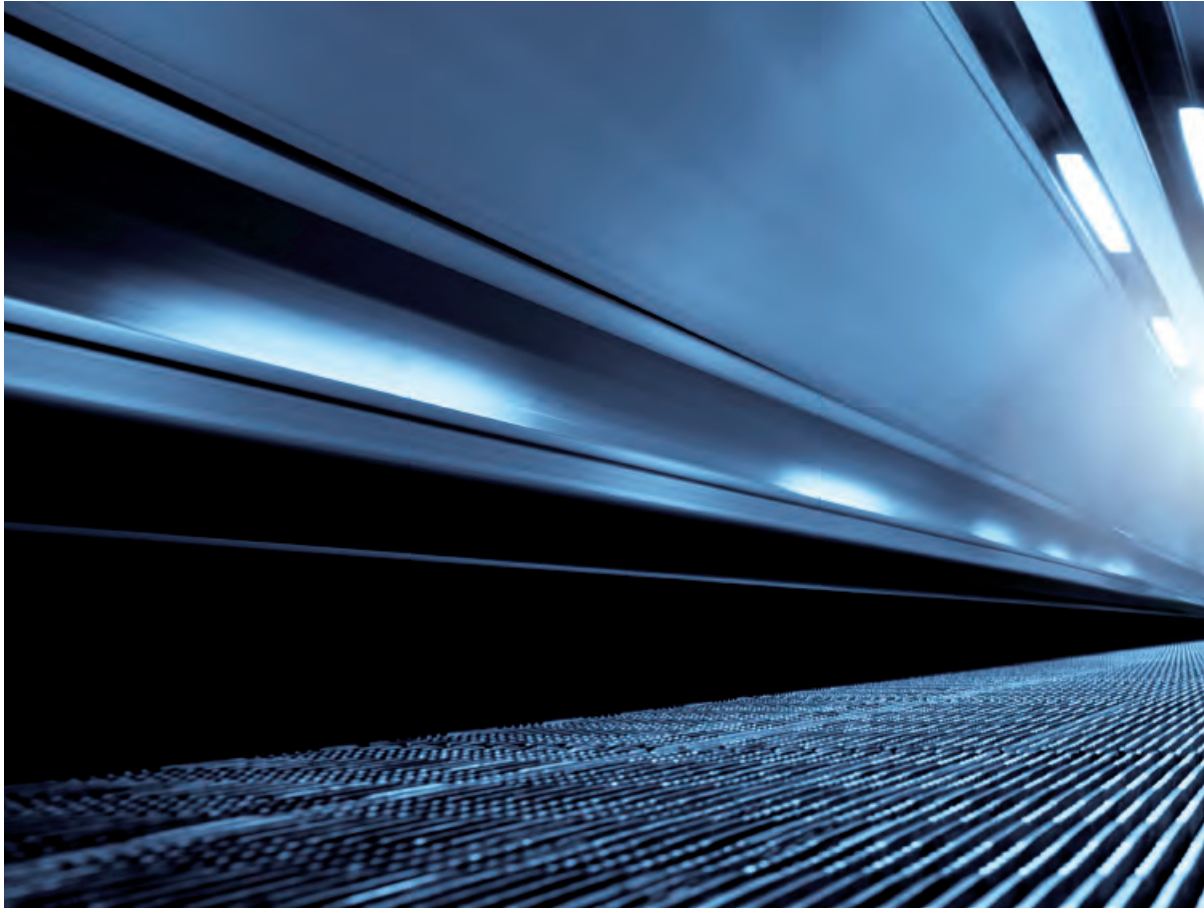
Regierungspräsidium Stuttgart

dominic.stemle@rps.bwl.de

Text für grauen Kasten

Der geplante Tunnel Freudenberg soll als Ortsumgehung die bisherige Verkehrsführung durch das enge, im Maintal gelegene, historische Stadtzentrum von Freudenberg entlasten. Der ca. 1 km lange Straßentunnel liegt innerhalb des Unteren Buntsandsteins, der aus einer Wechselfolge von fein- bis mittelkörnigen, rötlich gefärbten Sandsteinen besteht. Dieser Fels ist auch als "Miltenberger Sandstein" bekannt und wird in mehreren Steinbrüchen in der Umgebung von Freudenberg abgebaut. In dem Beitrag werden die Ergebnisse der ersten Phase der Baugrunderkundung zusammenfassend vorgestellt und die Aspekte Felsklassifikation und Abrasivität des Festgesteins näher beleuchtet.

The tunnel Freudenberg is planned as a ring road for the historical centre of the city of Freudenberg, which is located in the narrow valley of the river Main. The road tunnel has a length of about 1 km and is located in the lower sandstone, which is an interbedded strata of fine and medium grained red sandstone. This rock is known as "Miltenberg Sandstone" and is cut in quarries in the vicinity of Freudenberg. In this paper the results of the first phase of the ground investigation are summarized and aspects of rock classification and rock abrasion are focused.



HIC Holzhäuser Ingenieur Consult GmbH

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

info@hic-engineering.de
www.hic-engineering.de



Holzhäuser Ingenieur Consult GmbH

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

info@hic-engineering.de
www.hic-engineering.de