



Umfahrung Schwarzkopftunnel / ABS Hanau-Nantenbach: Anspruchsvoller Spezialtiefbau in wechselhaften Verhältnissen – Heraus- forderung für die ingenieurgeologische Dokumentation

Dipl.-Geol. (Univ.) Dr.rer.nat. Ralf J. Plinninger, Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried, Dipl.-Geol. (Univ.) Dr.rer.nat. Marcus Scholz, müller+hereth gmbh, Freilassing, Mag.rer.nat. Peter Sommer, geo.zt gmbh, Hall in Tirol & Mag. Dr. rer.nat. Gerhard Poscher, geo.zt gmbh, Hall in Tirol

Die seit 2013 in Ausführung befindliche Ausbaustrecke (ABS) Hanau-Nantenbach ist Teil der rund 112 Kilometer langen Main-Spessart-Bahn, die mit über 200 Zügen täglich zu einer der am stärksten frequentierten Trassen im Netz der Deutschen Bahn gehört. Kernmaßnahme des Projekts ist die Umfahrung des rund 160 Jahre alten Schwarzkopftunnels zwischen den Ortschaften Laufach und Heigenbrücken im Spessart (Bundesland Bayern). Hierfür waren die Errichtung vier neuer Tunnel in offener und bergmännischer Bauweise sowie umfangreiche Spezialtiefbaumaßnahmen erforderlich. Die geologischen Verhältnisse im Projektareal sind komplex. Sie umfassen Gesteine des kristallinen Grundgebirges (Diorite, Paragneise, Augengneise, Glimmerschiefer sowie Ganggesteine), die von sedimentären Folgen des Zechsteins und Unteren Buntsandsteins, fossilen und rezenten Verwitterungsbildungen sowie quartären Ablagerungen überlagert werden. Der Beitrag gibt einen Überblick über die Grundsätze und Aufgaben der ingenieurgeologischen Begleitung eines derartigen Großprojekts, mit einem Fokus auf die Dokumentations- und Geländearbeit für die verschiedenen ausgeführten Spezialtiefbaumaßnahmen. Die hierbei durchgeführte Dokumentation in Form von Anker-, Bohrpfahl- und Aushubkartierungen wurde dabei ergänzt durch Probenahmen und felsmechanische Laboruntersuchungen, u. a. zur Mineralogie, Druckfestigkeit und Abrasivität der angetroffenen Gesteine.

1 Projektüberblick

1.1 Umfahrung Schwarzkopftunnel

Die Umfahrung Schwarzkopftunnel ist Bestandteil der Ausbaustrecke (ABS) Hanau-Nantenbach der Deutschen Bahn. Sie gehört zur rund 112 km langen Main-Spessart-Bahn zwischen Hanau und Würzburg, die die Wirtschaftszentren des Rhein-Main-Gebietes mit Würzburg und der Region Franken verbindet. Der 1850 - 1854 gebaute und damit über 160 Jahre alte Schwarzkopftunnel wird täglich von über 200 Zügen genutzt und erfordert einen ständig zunehmenden Instandhaltungsbedarf. Als Reaktion auf den grundsätzlichen Erneuerungsbedarf des Schwarzkopftunnels und unter Berücksichtigung der künftigen Verkehrsanforderungen hat sich die Deutsche Bahn für den Bau einer rd. 7,1 km zweigleisigen Umfahrung des Schwarzkopftunnels entschieden. Die Trasse verläuft überwiegend in Tunnellage in ost-westlicher Richtung auf den Gemeindegebieten von Heigenbrücken und Laufach (Abb. 1 und 2).

Im Rahmen der Realisierung der neuen Linienführung entsteht eine zweigleisige Ausbaustrecke mit vier neuen Tunnelbauwerken (Tunnel Hain, Tunnel Metzberg, Tunnel Hirschberg und Tunnel Falkenberg), drei Brücken, fünf Trogbauwerken, 40 Durchlässen sowie Stütz- und Erdbauwerken. Die neuen Tunnel ermöglichen eine ausreichend flache Neutrassierung, so dass die zugelassene Höchstgeschwindigkeit auf 150 km/h (160 km/h für Neigetechnik-Züge) angehoben werden kann. Durch die überwiegende Streckenführung in Tunnellage wird die Bevölkerung in Heigenbrücken, Hain und Laufach künftig zusätzlich erheblich vom Schienenverkehrslärm entlastet (DB Projekt GmbH, 2013).

Die Bauarbeiten wurden im Oktober 2012 ausgeschrieben und im Sommer 2013 an die „Arbeitsgemeinschaft Umfahrung Schwarzkopftunnel“, bestehend aus den Unternehmen ALFRED KUNZ, BARESEL (Tunnelbau), LEONHARD WEISS (Erbau), SCHÄLERBAU (Ingenieurbau) und BAUER SPEZIALTIEFBAU (Spezialtiefbau) vergeben.

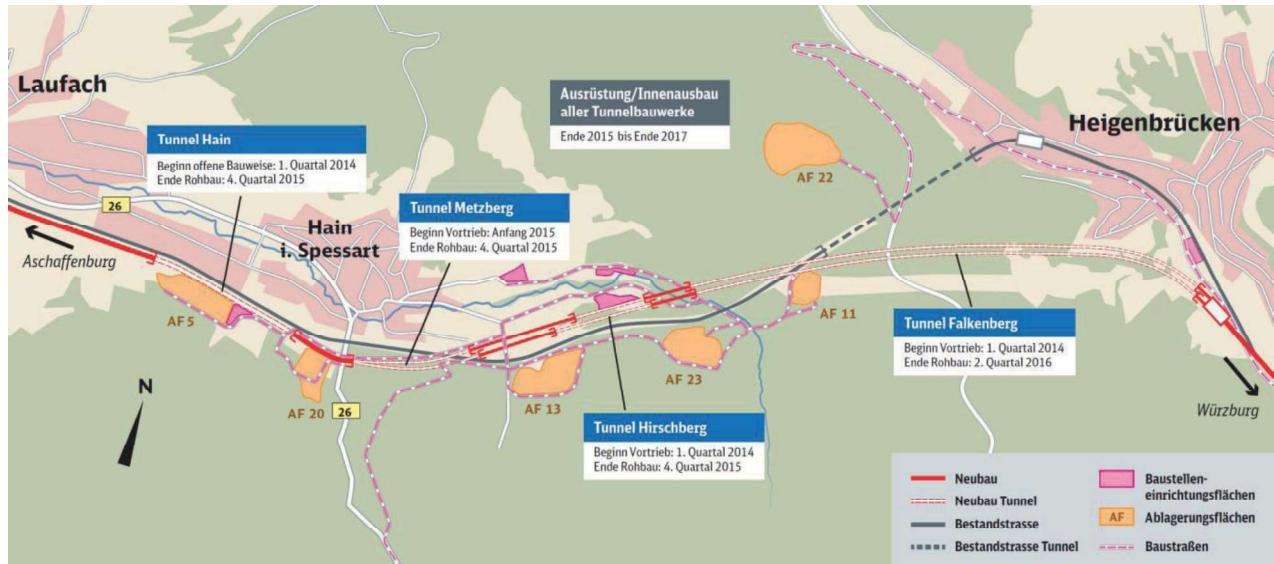


Abbildung 1: Lageplan der Bauwerke im Streckenabschnitt Laufach-Heigenbrücken (aus: DB Projekt GmbH, 2013)

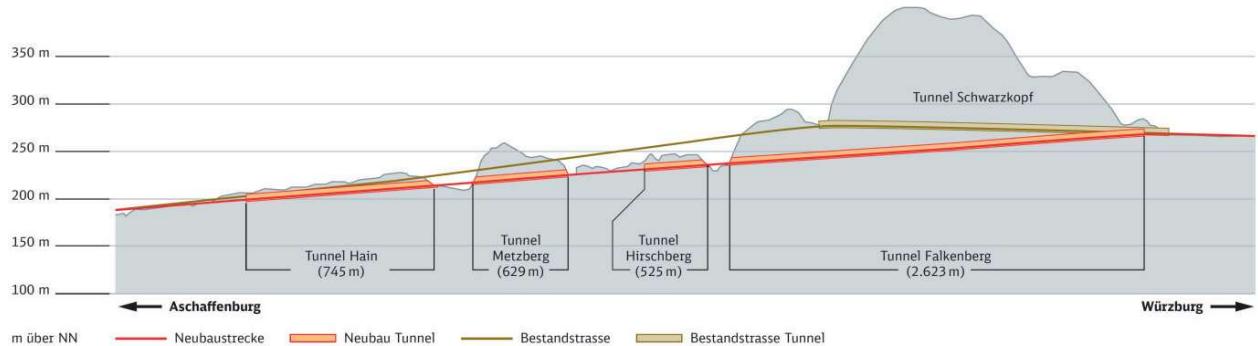


Abbildung 2: Vergleich der Gradienten der Bestandstrasse (grün) und der Neubautrasse (rot) im Bereich des bestehenden Schwarzkopftunnels (aus: DB Projekt GmbH, 2013)

1.2 Spezialtiefbauarbeiten

Der Fokus des vorliegenden Beitrags liegt auf den umfangreichen Spezialtiefbauarbeiten des Projekts. Diese wurden insbesondere in den Abschnitten erforderlich, in denen die Trasse nicht bergmännisch, sondern in offener Bauweise hergestellt wurde. Das Spektrum der ausgeführten Arbeiten umfasste dabei insbesondere (Gutfrucht et al, 2015):

- 52.000 m² Trägerverbau mit Holz/Betonausfachung,
- 95.000 lfm Temporär-, Dauer- und Gewi-Anker,
- 35.000 m² Pfahlwände mit Ø 900 mm, Ø 1.200 mm und Ø 1.500 mm,
- 40.000 lfm Pfahlgründungen im Schneckenortbetonverfahren (SOB) mit Ø 1.500 mm,
- 4.000 lfm Rüttelstopfverdichtung,
- 32.000 m² Bodenverankerung mit Spritzbetonwänden,
- 3.000 m² Spundwandeinbau.

2 Geologische Verhältnisse

Das naturräumlich im Vorderen Spessart und Sandsteinspessart gelegene Projektareal wartet mit kleinräumig wechselhaften geologischen Verhältnissen auf, die einen erdgeschichtlichen Zeitraum von rd. 320 Millionen Jahren abbilden (Abb. 3).

Das **kristalline Grundgebirge** setzt sich aus magmatischen Intrusiva (Diorit mit Aplit- und Pegmatitgängen) und metamorphen Paragneisen, Augengneisen und Glimmerschiefern zusammen. Das Kristallin wird von jüngeren Brauneisenstein- und Barytgängen durchschlagen. Mit der Heraushebung des Variszikums im Oberkarbon setzte die Einrumpfung des Gebirges ein, die mit einer tiefgreifenden (fossilen) Verwitterung einherging.

Die im **Perm** abgelagerten Sedimente bestehen in den untersten Schichten, den sogenannten „Basalbrekzien“ (z1,c), aus grobem, nicht bzw. nur gering



transportiertem Grundgebirgsschutt mit reliefabhängig stark wechselnder Mächtigkeit. Aufgrund der lithologischen Ähnlichkeit gestaltete sich - insbesondere im Bohrgut von Pfahl- und Ankerbohrungen - die Unterscheidung zwischen verwittertem Grundgebirge und Basalbrekzien daher bisweilen schwierig. Die permischen Sedimente werden durch flachmarine Karbonate (Kalksteine und Dolomitsteine des sog. Zechsteindolomits, z1,d) und Tonsteine (z3/4) abgeschlossen.

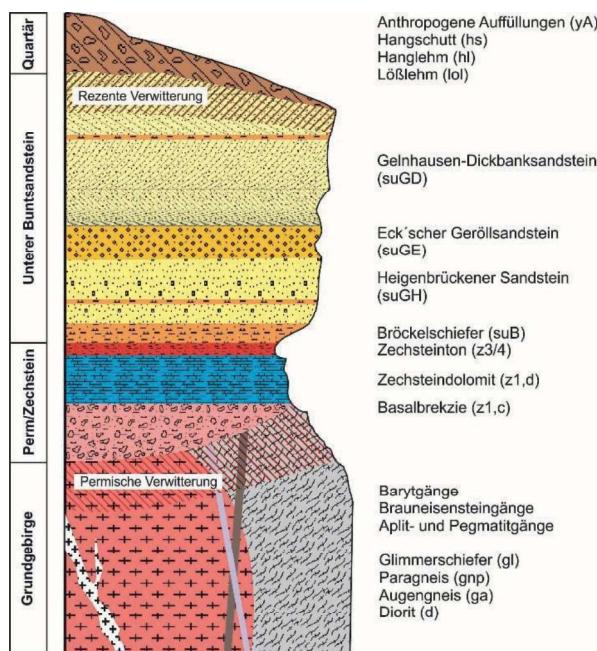


Abbildung 3: Schematische Schichtsäule der geologischen Formationen im Projektareal.

Die **triassische Schichtfolge** beginnt mit dem Bröckelschiefer (suB), dessen Bildung am Übergang von mariner Fazies zu den terrigenen Buntsandsteinsedimenten zu interpretieren ist. Sie setzt sich mit den ebenfalls dem Unterem Buntsandstein zugerechneten Sandsteinen und Ton-Schluffstein-Folgen des Heigenbrückener Sandsteins (suGH), Eck'schem Geröllsandstein (suE) und Gelnhausen-Dickbanksandstein (suGD) fort.

Die **quartären Ablagerungen** bestehen aus Hanglehm- und Hangschuttbildungen sowie Lößlehm und anthropogenen Ablagerungen, die einer wechselnd mächtigen Zone rezenter Verwitterung auflagern.

3 Baubegleitende geologisch-geotechnische Dokumentation

Die Arbeitsgemeinschaft Geotechnik Umfahrung Schwarzkopftunnel („ARGUS“), bestehend aus den Ingenieurbüros Dr. Plinniger Geotechnik, Bernried, müller+hereth GmbH, Freilassing und geo.zt gmbh,

Hall in Tirol, war während der Dauer der Rohbaumaßnahmen in den Jahren 2014 und 2015 mit der AN-seitigen baubegleitenden Dokumentation der geologischen und geotechnischen Verhältnisse beauftragt.

In den nachfolgenden Absätzen 3.1 und 3.2 wird auf die hierbei angewandten Grundsätze und Methoden eingegangen.

3.1 Dokumentationsgrundsätze

Die Normen DIN EN ISO 14688-1 und EN ISO 14689-1 stellen die normative Grundlage für die Ansprache und Klassifizierung von Boden und Fels dar. Ergänzend dazu haben sich für die Darstellung der Dokumentationsergebnisse im Projekt folgende Vorgehensweisen bewährt:

- Schematisierte, ggf. mit Schraffuren und Farben angelegte **graphische Darstellungen** erleichtern das schnelle Verständnis von geologischen Situationen auch für Nachbardisziplinen und Fachfremde;
- Checklistenartige **Formblätter** mit Darstellung der zu dokumentierenden Parameter und der jeweiligen Klassifizierungen (gemäß DIN) reduzieren die Gefahr unvollständiger oder mißverständlicher Aufnahmen und gewährleisten eine konsistente Dokumentationsarbeit auch bei wechselnden Bearbeitern,
- **Fototafeln** mit ausgewählten Fotoaufnahmen (mit Datumseinblendung) und kurzen, prägnanten Erläuterungen dienen als Beleg und zusätzliche Visualisierung der Beobachtungen;

Eine Überleitung der geotechnischen Klassifizierung in den Bauvertrag erfolgt über die Zuordnung zu den in der Ausschreibung gebildeten, projektspezifischen Bodenschichten / Homogenbereichen bzw. die Zuordnung zu Bodenklassen gemäß geltender Allgemeinen Technischen Vertragsbestimmungen (ATV) der VOB/C. Da die vor Ort getroffenen Zuordnungen auf diese Weise direkten Einfluss auf Bauverfahren und Vergütung haben, sollte das Ziel der baubegleitenden geologisch-geotechnischen Dokumentation stets die objektive und nachvollziehbare Wiedergabe der angetroffenen Gesteins- und Gebirgseigenschaften sein.

Bei der Umfahrung Schwarzkopftunnel ließ sich dabei in enger und konstruktiver Zusammenarbeit von auf Auftragnehmer- und Auftraggeberseite tätigen Geologen über weite Strecken das sogenannten „Vier-Augen-Prinzip“ umsetzen, d.h. das Außerstellen der beobachteten Phänomene durch gemeinsame Feldaufnahme und gegenseitige Anerkennung der Dokumentation. Diese Vorgehensweise trägt nach Überzeugung der Autoren erheblich zur Objektivierung und Glaubwürdigkeit der geologischen Dokumentationsarbeit bei.

3.2 Dokumentationsbeispiele

Gegenstand der baubegleitenden Dokumentation sind grundsätzlich alle direkten oder indirekten Baugrundaufschlüsse, die im Zuge der Bauausführung erstellt werden, also z.B.:

- die freigelegte Ortsbrust beim konventionellen oder maschinellen Tunnel- oder Stollenvortrieb,
- Schachtwände und -sohlen;
- Böschungen und Sohlen im Erd- und Tiefbau,
- Bodenaufschlüsse durch Bohrungen mit und ohne Kerngewinn (z.B. Kern-, Anker-, Bohrpfahl- oder Sprenglochbohrungen).

Der bei einer solchen Dokumentation erzielbare Informationsgehalt hängt dabei naturgemäß von der Größe des Aufschlusses und den Möglichkeiten zur Feldansprache des anstehenden Gebirges ab. So erlaubt eine direkt einsehbare und unmittelbar "begreifbare" Ortsbrust oder eine Böschung mit mehreren Quadratmetern Fläche zwangsläufig eine höherwertigere geologische Aufnahme und ein Vielfaches an ableitbaren Informationen, als z.B. die Aufnahme einer Ankerbohrung ohne Kerngewinn, bei denen lediglich das zutage geförderte Bohrgut angesprochen werden kann. Dies wird in den nachfolgenden Beispielen veranschaulicht.

3.2.1 Aushub

Eine großflächige und detaillierte Dokumentation der Baugrundverhältnisse war mit fortschreitendem Aushub insbesondere in den Bauwerken mit Trägerbohrverbau, bzw. mit Anker- und Spritzbetonsicherung möglich. Die hierbei angefertigten Aufnahmen, z.B. der freigelegten Felder zwischen den Trägerbohrungen, erlaubten eine hochwertige Ansprache von Gestein, Gesteinseigenschaften, Gebirge und Trennflächen, insbesondere auch der Trennflächenorientierung (Abb. 4).



Abbildung 4: Direkte geologische Dokumentation des freiliegenden Gebirges im Zuge der laufenden Aushubarbeiten.

3.2.2 Träger- und Pfahlbohrungen

Für das Bohren von Trägerbohrverbau und Bohrpfählen wurden von der Fa. BAUER SPEZIALTIEFBAU Kelly-Bohrgeräte vom Typ BG 40, BG 28 und BG 20 eingesetzt. Die Bohrgeräte wurden je nach Untergrund-eigenschaften mit verschiedenen Bohrwerkzeugen bestückt, wobei in weichen bis mittelfesten Formationen vor allem Progressivschnecke und Kastenbohrer eingesetzt wurden, in festem Fels auch Kernbohrrohr, Rollenmeißel-Kernbohrrohr und Multi Hammer Drill (MHD).

Die Wahl des Bohrwerkzeugs nimmt dabei direkten Einfluss auf Art und Qualität der baubegleitenden Dokumentation. Insbesondere bei der Ausführung der Trägerbohrungen im unverwitterten Diorit für die offene Bauweise des Tunnels Hirschberg konnten durch den Einsatz des Kernbohrrohrs hochwertige Kernstücke gewonnen werden (Abb. 5), die nicht nur eine hervorragende Bestimmung von Lithologie, Verwitterungsgrad und Trennflächengefüge erlaubten, sondern darüber hinaus auch als Probenmaterial für nachgeschaltete Laborversuche (siehe Absatz 4) zur Verfügung standen.



Abbildung 5: Kerngewinn im frischen Diorit mithilfe des Kernbohrrohrs.

3.2.3 Ankerbohrungen

Für die Boden- und Felsnägel mit einem Durchmesser von meist rd. 140 mm wurden i.d.R. Kleinbohrgeräte eingesetzt. Gebohrt wurde drehschlagbohrend, je nach Untergrund mit hydraulischem Außenhammer oder Imlochhammer. Im Gegensatz zur detaillierten Bodenansprache, die auch noch bei Pfahlbohrungen möglich war, musste die Dokumentation der

Ankerbohrungen den widrigen Aufschlussverhältnissen Rechnung tragen. Dies erfolgte im entsprechenden Formblatt durch eine qualitative Bewertung von Bohrfortschritt, Kontinuität der Bohrung, Spülungs-rücklauf sowie Eigenschaften des Spülungsrücklaufs und des enthaltenen Bohrkleins (Abb. 6).

Geologische Dokumentation - Ankerbohrungen									
Bauwerk: TU Hirschberg re. Gl. OBW		Ankernummer: 120.087		Länge: 14 m 25°		Bohrwerkzeug: Imloch		Durchmesser: 140 mm	
Gerät: KR 806		Uhrzeit: -		Bearbeiter: Reindl		Seite: 1 / 2			
Tiefe	Bohrforschritt	Kontinuität der Bohrung	Spülungs-rücklauf	Eigenschaften des Spülungs-rücklaufes	Bohrklein				
in m unter Bohr-satz	hoch	mittel	gering	regelmäßig	ungebrämtig	rein	ja	nicht bindig	bindig
0,0								Farbe	
0,5								hellbeige	Feinsand
1,0								rotbraun	Ton und Schluff, sandig
1,5								hellgrau bis dunkelgrau, auch graubraun	Grobsand bis Schluff
2,0								hellgrau	zerbohrt, teils zermahlener, schwach bis stark verwitterter Zechstein dolomit, Festgestein, BKL 6*, FV2*, FD2-FD3*, Staubentwicklung
2,5								graubraun	
3,0								hellgrau	
3,5								braungrau	
4,0									
4,5									
5,0									
5,5									
6,0									
6,5									
7,0									
7,5									
8,0									
8,5									
9,0									
9,5									
10,0									
10,5									
11,0									
11,5									
12,0									
12,5									
13,0									
13,5									
14,0									
Endteufe 14 m									
14,5									
15,0									
15,5									
16,0									
16,5									
17,0									
17,5									
18,0									
18,5									
19,0									
19,5									
20,0									
20,5									

*Hinweis: Eine zweifelsfreie Zuordnung zu den Bodenklassen nach DIN 18300 und DIN 18301 (insbesondere Beurteilung Trennflächenabstand) ist bei dem hier dokumentierten Verfahren (zerstörende Vollbohrung) nur bedingt möglich.

Abbildung 6: Beispiel für die Dokumentation einer Ankerbohrung.

Obwohl eine zweifelsfreie Zuordnung, z.B. zu den Bodenklassen nach DIN 18300 bzw. 18301 (Stand vor 2015) durch die Dokumentation solcher Bohrungen i.d.R. nicht zweifelsfrei möglich ist, erlauben derartige Daten in Kombination mit höherwertigen Aufschlüssen die Extrapolation der an anderer Stelle dokumentierten Verhältnisse und eine Vervollständigung des geologischen Gesamtbildes.

4 Beprobung und Laboruntersuchung

Da eine Vielzahl bautechnisch relevanter Gesteins- und Gebirgseigenschaften mit üblichen Feldversuchsverfahren nicht hinreichend genau bestimmt werden können, stellen fels- und bodenmechanische Analysen im Labor eine sinnvolle bzw. vor dem Hintergrund spezifischer Fragestellungen ggf. auch not-

wendige Ergänzung der Geländearbeit dar. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden dabei für die anstehenden Festgesteine u.a. Einaxiale Druckversuche (Abb. 7), CERCHAR-Abrasivitätsversuche und mineralogisch-petrographische Analysen durchgeführt.

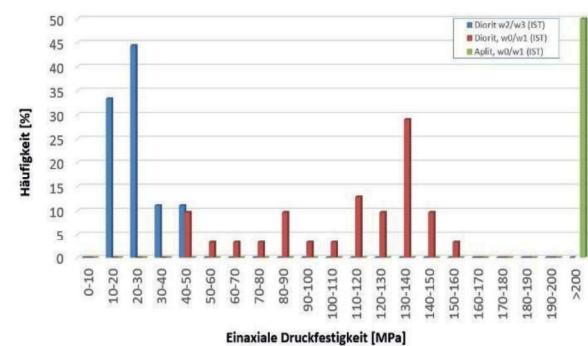


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung der ermittelten Einaxialen Druckfestigkeiten in Diorit und Aplitgängen, gegliedert nach Verwitterungsgrad.

Im Gegensatz zur Erkundungsphase, die meist nur eine stichpunktartige Untersuchung des Baugrunds mittels Bohrungen erlaubt, existieren in der Ausführungsphase meist eine Vielzahl an Aufschlüssen und ein Überangebot möglicher Proben. Die Entnahme von Block- oder Sonderproben, bzw. auch die fallweise Umsetzung statistischer Prüfpläne kann unter diesen Voraussetzungen daher eine deutlich wirtschaftlichere und schonendere Beprobung der anstehenden Gesteine erlauben, als eine Bohrkampagne (Plinninger et al., 2008). Im Zuge der Umfahrung Schwarzkopftunnel wurden beispielweise zur Gewinnung von Probekörpern für Einaxiale Druckversuche die mit dem Kernbohrer gewonnenen Grobbohrkerne mit \varnothing 1200 mm bzw. \varnothing 1500 mm vor Ort überbohrt, um so prüffähige Kerne \varnothing 55 mm für die Laboruntersuchung zu gewinnen (Abb. 8).



Abbildung 8: Gewinnung von Probekörpern für felsmechanische Laboruntersuchungen aus mittels Kernbohrer gewonnenen Großbohrkernen.

5 Planerstellung

Die Dokumentationsarbeit im Gelände wurde mit der Erstellung zusammenfassender Berichte und Pläne abgeschlossen. Die Ergebnisse wurden dabei – je nach Aufgabenstellung – in Form geologisch-geotechnischer Pläne (Abb. 9) oder in Form von Bodenklassenplänen (Abb. 10) mit Eintragung der ange troffenen Verteilung der Bodenklassen nach DIN 18300 bzw. 18301 dargestellt.

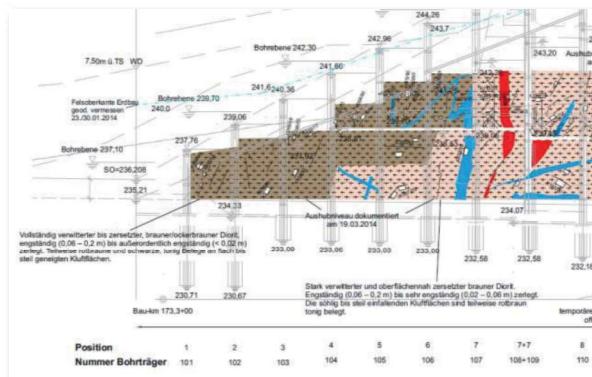


Abbildung 9: Ausschnitt aus einem Böschungsplan.

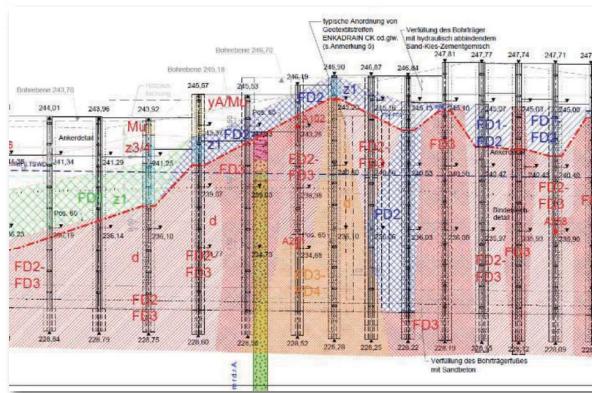


Abbildung 10: Ausschnitt aus einem Bodenklassenplan, hier: Verteilung der Bodenklassen nach DIN 18301 (Stand vor 2015).

6 Schlussfolgerungen

In Deutschland ergeben sich mit Erscheinen des Er-gänzungsbands 2015 zur VOB 2012 bzw. der neuen VOB-Gesamtausgabe 2016 für die Ausschreibung und Vergütung von Bauleistungen im Tief- Tunnel- und Spezialtiefbau sowie die dafür erforderliche Bau-grunderkundung umfassende Änderungen. Dies be-trifft vor allem die Umstellung weg von den bis dato gültigen gewerkespezifischen Boden- und Felsklas-sifizierungen hin zum Konzept der geotechnischen „Homogenbereiche“. Diese müssen zwar auf Basis einer von der VOB vorgegebenen Liste an Kennwer-ten mit Kennwertebandbreiten beschrieben werden,

andererseits wird aber dem Baugrundgutachter ein breiter Ermessensspielraum bei der Festlegung der nach seinem Ermessen "homogenen" Baugrundbereiche mit vergleichbaren bautechnischen Eigenschaften eingeräumt.

Für die Erstellung von Aufmaßen und Abrechnungsgrundlagen während der Bauausführung wird es daher zunehmend erforderlich werden, die der Ausschreibung zugrundeliegenden Homogenbereiche im Feld anhand ihrer charakteristischen Kennwerte zu identifizieren und zusätzlich auf mögliche Abweichungen der SOLL-Parameter zu überprüfen. War die Festlegung allgemein eingeführter Bodenklassen, wie z.B. der Boden- und Felsklassen der DIN 18300 einem versierten Polier oder Bauwart bislang noch weitgehend problemlos möglich, so wird die flächendeckende Umsetzung des Konzepts der "Homogenbereiche" auch für Fragen von Aufmaß und Abrechnung zunehmend mehr die Einbindung des Ingenieurgeologen erfordern.

Anspruchsvolle Dokumentationsaufgaben, wie die im voranstehenden Beitrag beschrieben, werden nach Einschätzung der Autoren zukünftig nicht nur Großprojekten, wie der Umfahrung Schwarzkopftunnel, vorbehalten bleiben, sondern werden zukünftig vermutlich flächendeckenden Einzug in den Baustellenalltag beim Bauen in Boden und Fels nehmen.

Literaturverzeichnis

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (2013): *DIN EN ISO 14688-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung*. Berlin (Beuth).

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (2011): *DIN EN ISO 14689-1, Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels - Teil 1: Benennung und Beschreibung*. Berlin (Beuth).

DB ProjektBau GmbH (2013). *Ausbaustrecke Hanau-Nantenbach, Umfahrungsspange Schwarzkopftunnel*. Projektinformation, 12 S. Frankfurt.

Gutfrucht, M., Haugwitz, H.-G., Schmitz, S. & Wacker, K. (2015). *Bauvorhaben Umfahrung Schwarzkopftunnel - Spezialtiefbau für ein Kernprojekt der Deutschen Bahn AG*. Geomechanics & Tunnelling, 8, 2: 146 - 154, Berlin (Ernst & Sohn).

Plinninger, R.J., Bruelheide, Th. & Nickmann, M. (2008). *Geotechnische Aspekte der repräsentativen Beprobung von Festgesteinen*. Geotechnik, 31, 4: 308 - 317, Essen (Glückauf).