

# Vergleich ingenieurgeologischer Dokumentationsmethoden am Beispiel eines alpinen TBM-Stollens

**Dr. rer.nat. Ralf Plinninger**

Dr. Plinninger Geotechnik, Bernried, Deutschland

**Hans Eichiner**

Pöyry Austria GmbH, Salzburg, Österreich

**Andreas Blauhut**

VERBUND Hydro Power GmbH, Wien, Österreich

**Dr. techn. Michael Mett**

dibit Messtechnik GmbH, Innsbruck, Österreich

## Zusammenfassung

Im Tunnel- und Stollenbau stellt die baubegleitende geologisch-geotechnische Dokumentation ein wesentliches Werkzeug zur Erfassung der angetroffenen Gesteins- und Gebirgseigenschaften dar. Ziel ist die möglichst objektive und nachvollziehbare Erfassung der angetroffenen Baugrundverhältnisse für Bau- und Betriebsphase sowie die Schärfung der Baugrundprognose mit dem Ziel einer angepassten Bauausführung. Die Darstellung der Ergebnisse muss auch auf den jeweiligen Zweck und Empfänger abgestimmt werden. Während im konventionellen Tunnel- und Stollenbau die Dokumentation der Tunnelortsbrust in Form regelmäßiger Ortsbrustaufnahme den „Standardfall“ für die geologische Dokumentation darstellt, erfordern insbesondere maschinelle Tunnelvortriebe je nach Bauart der eingesetzten Vortriebsmaschine und Sicherungskonzept individuelle Dokumentationslösungen.

Im vorliegenden Beitrag werden die Erfahrungen aus einem aktuell in Ausführung befindlichen, rd. 8,6 km langen Überleitungsstollen für ein Wasserkraftprojekt in alpinen Schichtfolgen in Tirol/Österreich zusammengefasst. Die Rahmenumstände eines relativ geringem Stollendurchmessers (rd. 3,5 m), einer offenen Gripper-Hartgestein-TBM und günstiger Stabilitätsverhältnisse führten hier dazu, dass die Stollenlaibung über weite Strecken (bauzeitlich) unverkleidet ausgeführt werden konnte. Für die ingenieurgeologische Dokumentation ergaben sich hieraus ungewöhnlich gute und über einen längeren Zeitraum zugängliche Aufschlussverhältnisse, für die – auch bedingt durch die verschiedenen Aufgabenstellungen – durch die auf Auftraggeber- und Auftragnehmer-Seite tätigen Geologenteams methodisch unterschiedliche Dokumentationsansätze gewählt wurden. Der vorliegende Beitrag stellt die drei am Projekt eingesetzten Dokumentationsmethoden vor und diskutiert sie hinsichtlich ihrer spezifischen, fachlichen und wirtschaftlichen Vorteile und Nachteile.

## 1. Zur Bedeutung der ingenieurgeologischen Dokumentation im Hohlraumbau

Im Tunnel- und Stollenbau stellt die baubegleitende ingenieurgeologische Dokumentation ein wesentliches Werkzeug zur Erfassung der angetroffenen Gesteins- und Gebirgseigenschaften dar. Sie hat als Ziel die möglichst objektive und nachvollziehbare Erfassung der Baugrundverhältnisse für Bau- und Betriebsphase sowie die Schärfung der Baugrundprognose mit dem Ziel einer angepassten Bauausführung.

Während der Ausführungsphase stellt die ingenieurgeologische Dokumentation wesentliche Eingangskennwerte für die Bewertung täglicher Fragen der Standsicherheit und Lösbarkeit des Gebirges, der Stützmittel und der Arbeitssicherheit zur Verfügung. Gleichzeitig ist sie ein wesentliches Instrument für die Zuordnung der angetroffenen „Gebirgsarten“ (Österreich) bzw. „Homogenbereiche“ (Deutschland, Österreich). Sie ist die Basis für die Erarbeitung von Kurz-

zeitprognosen für das unmittelbar bevorstehende Gebirge, als auch für den Vergleich prognostizierter (SOLL) und angetroffener (IST) Baugrundverhältnisse, der wiederum der Fortschreibung der Baugrundprognose und der Bewertung bauvertraglicher Fragen dient.

Mit Abschluss der Ausführung wird die ingenieurgeologische Dokumentation Teil der Bestandsunterlagen des Bauwerks und stellt damit eine wesentliche Grundlage für allfällige spätere Sanierungen sowie Um- und Ausbauten dar.

## 2. Rahmenbedingungen und Methoden der ingenieurgeologischen Dokumentation

Die projektspezifische Wahl der Dokumentationsmethode ist eine hochwertige Beratungsaufgabe, die die Kompetenz und Erfahrung des Ingenieurgeologen erfordert.

Für die Planung und Ausarbeitung der Kartierung müssen dabei insbesondere berücksichtigt werden:

1. Spezifische Anforderungen aus dem jeweiligen Auftragsverhältnis, z.B. Vereinbarungen zur Anwesenheit auf der Baustelle oder zur Dokumentationsdichte;
2. Bauverfahren und Bauablauf, d.h. Zeitpunkte und Orte möglicher Aufschlüsse;
3. Interaktion von Dokumentationstätigkeit und Baubetrieb, unter dem Aspekt der Vortriebsbehindern, aber auch und vor allem unter dem Aspekt der Sicherheit und Arbeitsbedingungen für den Geologen;
4. allgemein geltende Normen und Richtlinien;
5. projektspezifische Festlegungen, u.a. Gebirgsarten- bzw. Homogenbereichsdefinition;
6. Einsatzzweck und „Empfängerhorizont“ für die ausgearbeitete Dokumentation;
7. sowie geforderte Kompatibilität mit ggf. eingesetzten EDV-Lösungen.

Im konventionellen Tunnel- und Stollenbau stellt die Dokumentation der Tunnelortsbrust in Form regelmäßiger „Ortsbrustaufnahmen“ (Abb. 1) einen etablierten Standardfall für die geologische Dokumentation dar. Insbesondere maschinelle Tunnelvortriebe erfordern je nach Bauart der eingesetzten Vortriebsmaschine (offene TBM / Schildvortriebsmaschine) und Sicherungskonzept (insbesondere Tübbingebau) individuelle Dokumentationslösungen, die die jeweiligen Aufschlussmöglichkeiten in den jeweiligen Bereichen (Bohrkopf, Tunnelvortriebsmaschine, Nachläufer und Streckenröhre) berücksichtigen müssen.



Abb. 1: Ortsbrustaufnahme im konventionellen Tunnelbau: „Standardfall“ der ingenieurgeologischen Dokumentation (Foto: Dr. Plinninger Geotechnik).

In methodischer Hinsicht stellt die manuelle Feldaufnahme durch einen erfahrenen Ingenieurgeologen unter Zuhilfenahme üblicher Feldausrüstung, wie Geologenkompasse, Gliedermaßstab, Laser-Distometer, Geologenhammer, Salzsäure und Lupe nach wie vor den

„Stand der Technik“, insbesondere auch bei kleineren Projekten, dar.

Darüber hinaus lässt die technische Weiterentwicklung bereits heute eine sinnvolle Kombination bildgebender Verfahren (Digitalfotographie, Photogrammetrie, Laserscanning) mit herkömmlicher geologischer Kartierarbeit zu, die mittelfristig an Bedeutung zunehmen wird. Bereits im Einsatz sind z.B. Systeme, bei denen auf einem Tablet-PC ein vorher aufgenommenes Digitalfoto der Ortsbrust als „Vorlage“ für die manuelle Eintragung wesentlicher Schichtgrenzen und Gefügemerkmale durch den Geologen dient. Die Eintragungen sollten dabei aber tunlichst vor der Ortsbrust und nicht nachträglich im Büro erfolgen.

Diese „punktuellen“ Datengrundlagen können dann anschließend in GIS- oder Zeichenprogrammen zu zusammenfassenden Darstellungen, wie Längs-, Horizontal- oder Abwicklungsdarstellungen weiterverarbeitet werden. Unabhängig von der gewählten Kartiermethode und Weiterverarbeitung ist dabei aber zu beachten, dass unter der zunehmenden Anwendung von „BIM“ („Building Information Modelling“) von den Projektbeteiligten in zunehmendem Maße auch eine einfache Kompatibilität zu Dokumentenmanagement-Systemen und Datenbanken gefordert wird.

### 3. Projektvorstellung Untere Tuxbachüberleitung

#### 3.1 Technische Rahmenbedingungen

Das Projekt „Untere Tuxbachüberleitung“ ist im Zillertal, im Bundesland Tirol in Österreich gelegen. Ziel des Projekts ist es, das Wasser der Bäche Tuxbach und Elsbach zu fassen und anschließend über einen rd. 8,5 km langen Überleitungsstollen in den Wasserspeicher Stillupp der Kraftwerksgruppe Zemm-Ziller zu leiten, wo es der regenerativen Energieerzeugung durch Wasserkraft dient (Abb. 2).

Das hydraulische Gefälle zwischen der Fassung Tuxbach und dem Speicher Stillupp wird in einer unmittelbar beim Speicher situierten Kraftstation energetisch genutzt. Das abgearbeitete Triebwasser steht in weiterer Folge auch in der Kraftwerksgruppe Zemm-Ziller für weitere energetische Nutzung zur Verfügung.

Der Überleitungsstollen zwischen den Bachfassungen am Tuxbach und Elsbach und der Kraftstation am Speicher Stillupp ist als Druckstollen mit einem maximalen Innendruck von 24 bar konzipiert. Das Herzstück des Triebwasserwegs stellt dabei die Unterdrückung des Zemmbachs im mittleren Bereich des Druckstollens dar. Vom Bereich des Dükers aus gesehen unterteilt sich der Druckstollen in zwei Teilabschnitte:

- Stollenast Zemmgrund-Tuxbach,
- Stollenast Zemmgrund-Stillupp.

Der Stollenast Zemmgrund-Tuxbach hat eine Länge von rd. 4,5 km und verläuft von Nordwest anschließend an die Entsanderkammer der Fassung Tuxbach mit einem Kurvenradius von 300 m und einen kurzen geraden Stollenverlauf zuerst in Richtung Süden. Nach Unterquerung des Elsbachtals wird die Trasse in einem Kurvenradius von 500 m nach Südosten verschwenkt und durchquert mit einem Gefälle von rund 5,6 % das südlich des Tuxbachs befindliche Gebirgsmassiv bis ins Zemmtal. Maximale Überlagerungshöhe über der Stollentrassse ist hier ca. 800 m.

Das Zemmtal wird mittels eines Dükers in Form einer betonummantelten Druckrohrleitung unterquert. Unmittelbar im Dükerbereich ist auch eine Zugangsmögl-

lichkeit sowie ein Entleerungsrohr einschließlich einer Energieumwandlung angeordnet.

Der Stollenast Zemmgrund-Stillupp hat eine Länge von rd. 3,8 km und durchquert mit einem Anstieg von rund 6,1 % das Dristner-Massiv bis zum Stilluppspeicher. Rund 700 m vor dem Stollenausgang wird die Trasse mit einem Kurvenradius von 500 m in Richtung Nordost zum Portal im Stillupptal verschwenkt.

Ausgehend vom Portal bildet ein rd. 90 m langer, betonierter und überschütteter Zulaufkanal die Verbindung zur Kraftstation (Kleinkraftwerk Stillupp). Die maximale Überlagerungshöhe beträgt im Bereich des Dristner-Massivs ca. 1250 m.

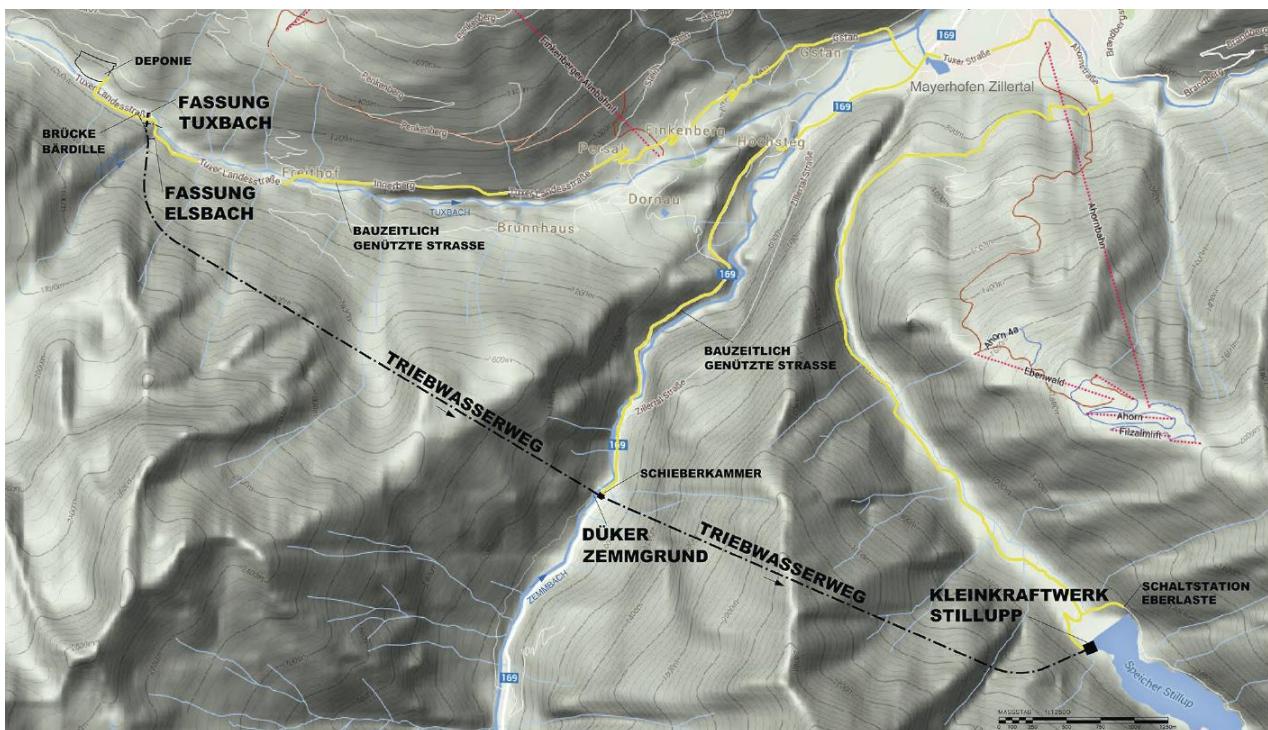


Abb. 2: Übersichtskarte des Projekts „Untere Tuxbachüberleitung“ (aus: Blauth et al., 2019, Bild 1, S. 213).

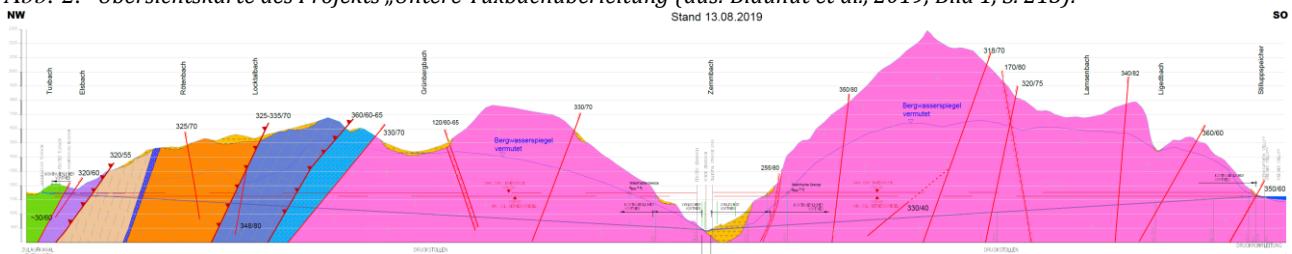


Abb. 3: Geologischer Längsschnitt durch das Projektareal.

### 3.2 Geologischer Überblick

Das Projektgebiet liegt im westlichen Teil des sogenannten „Tauernfensters“, das sich vom Brenner ca. 160 km nach Osten erstreckt und in Nord-Süd-Richtung einen ca. 30 km breiten Abschnitt der Alpen bildet. Im Tauernfenster sind durch tektonische Hebung und anschließende Erosion ursprünglich tiefere Einheiten heute fensterartig aufgeschlossen. Litholo-

gisch besteht es aus dem sogenannten „Zentralgneiskern“ und der tektonisch überlagernden „Schieferhülle“. Im Projektgebiet treten Zentralgneise des Ahornkerns auf, die teilweise migmatitisch sind, überwiegend aber aus biotitreichen, porphyrischen Augengneisen mit idiomorphen Kalifeldspat-Kristallen bestehen. Lokal sind innerhalb der Gneise aplitische bis feinkörnig-granitische Gänge eingeschaltet.

Die Stollentrasse quert mit ihrem nordwestlichen Ast insgesamt drei Deckengrenzen (Abb. 3). Im Stollenast zwischen Zemmgrund und Tuxbach wurde wie prognostiziert Ahorngneis sowie eine Abfolge aus Hochstegengalkmarmor, verschiedenen Schiefern sowie Grüngesteinen (Chloritschiefer) im Bereich der Bachfassung Tuxbach (Entsanderkammer, Spülstollen) aufgefahrene. Die Stollenstrecke im standfesten Ahorngneis erwies sich dabei um 345 m länger als prognostiziert, was auf ein flacheres Einfallen der Deckengrenze zum Hochstegengalkmarmor zurückgeführt wird. Für den Stollenast zwischen Zemmgrund und Stillupp wurde entsprechend der geologischen Prognose durchgehend Ahorngneis angetroffen.

### 3.3 Vortriebsmethode TBM

Mit der Bauausführung wurde eine Arbeitsgemeinschaft der Firmen STRABAG AG und Jäger Bau GmbH beauftragt. Der Hauptvortrieb für beide Druckstollenabschnitte erfolgte vom Zemmtal aus. Die steigende Vortriebsgradienten war insbesondere für die Ableitung stärkerer Wasserzutritte (punktuell bis zu 40 l/s) vorteilhaft.



Abb. 4: Eingesetzte Tunnelbohrmaschine Robbins nach erfolgtem Durchschlag des zweiten Stollenastes DS Zemmgrund-Stillupp (Foto: Pöyry Austria GmbH)

Der Vortrieb wurde beim Stollenast Zemmgrund-Tuxbach begonnen. Nach Herstellen des Voreinschnitts erfolgte auf einer Länge von ca. 344 m ein Sprengvortrieb mit einem Hufeisenprofil mit 3,8 m Kalottendurchmesser, 3,8 m Höhe und 3,05 m Sohlbreite. Der Stollen steigt mit 5,6 % und wird als Rohrstollen genutzt. Die Tunnelbohrmaschine (TBM) wurde auf der Baustelleneinrichtungsfläche (BE-Fläche) Zemmgrund zusammengebaut und über das Fenster Zemmbach in den Rohrstollenabschnitt bis zur Ortsbrust eingefahren. Mit Fräsbeginn am 1. Oktober 2017 wurde der Abschnitt Zemmgrund-Tuxbach auf einer Länge von 4.100 m mit der TBM aufgefahrene (Abb. 4).

Der nominelle Ausbruchdurchmesser beträgt 3,5 m. Der gesamte Abschnitt des TBM-Vortriebs hat die gleiche Neigung von 5,6 %, wie der Rohrstollenab-

schnitt. Die Schutterung des Ausbruchmaterials erfolgte mittels Förderbandanlage, das mit einem Bandspeicher ausgerüstet war, der auf einer Behelfsbrücke über dem Zemmbach zwischen den Portalen der beiden Druckstollenabschnitte aufgebaut wurde. Für die Nachlaufeinrichtung der TBM und den Versorgungsbetrieb wurden im Zuge des Vortriebs Sohltübbinge verlegt. Die Versorgung der TBM erfolgte über radgebundene Stollenzüge, die mittels Gleitrollen im Wassерgraben der Sohltübbinge geführt wurden.

Aufgrund schlechter Gebirgsverhältnisse bei der Unterfahrung des Elsbachgrabens in den Karbonatgesteinen der Seidlwinkl-Modereck-Decke bei Station 4+444 wurde beschlossen, die restliche Strecke von 86 m im konventionellen Gegenvortrieb herzustellen. In diesem Abschnitt war bei einer Überlagerung von ca. 40 m und einer starken Verwitterung die Gebirgsqualität deutlich reduziert; Risiken bzw. Probleme beim Auffahren des Stollens hinsichtlich der Gebirgsfestigkeit (teilw. < 5 MPa) beim Anpressen der Gripper, durch Verkleben des Bohrkopfes und beim Sichern im unmittelbaren Bohrkopfbereich konnten somit umgangen werden.

## 4. Angewandte Dokumentationsmethoden

Durch die Kombination aus relativ geringem Stollen durchmesser (rd. 3,5 m), dem Einsatz einer offenen Gripper-Hartgestein-TBM und weitgehend günstigen Stabilitätsverhältnisse konnte die Stollenlaibung während des Vortriebs über weite Strecken unverkleidet ausgeführt werden. Für die ingenieurgeologische Dokumentation ergaben sich hieraus ungewöhnlich gute und über einen längeren Zeitraum zugängliche Aufschlussverhältnisse.

Bedingt durch die verschiedenen Aufgabenstellungen und Rahmenbedingungen der auf Auftraggeber- und Auftragnehmerseite tätigen Geologenteams wurden methodisch unterschiedliche Dokumentationsansätze gewählt. Diese werden in den nachstehenden Absätzen 4.1 bis 4.3 näher vorgestellt.

### 4.1 Laufende Profilkartierung des TBM Vortriebes

Das AG-seitig beauftragte Geologenteam der ARGE Pöyry Austria GmbH und geo.zt GmbH war im Durchlaufbetrieb 7 Tage pro Woche während 24 Stunden auf der Baustelle anwesend.

Die Dokumentationsarbeit war laut Leistungsbild hier kombiniert mit einer Gebirgsbeurteilung der Hohlräumstabilität im Hinblick auf den Einbau von Sicherungsmaßnahmen (in Form von Gebirgsankern, Gitter, Bögen und Spritzbeton) zur Arbeitssicherheit. Dazu war es notwendig, die Gebirgsbeurteilung und überwiegend auch die geologische Dokumentation im vordersten Arbeitsbereich der hier zum Einsatz gekommenen TBM, bis zu rd. 30 m hinter der Ortsbrust durchzuführen, um rasche Entscheidungen treffen zu können. Dazu war es erforderlich, dass die Geologen des AG in der Regel mindestens zweimal pro Arbeitstag – bzw.

falls notwendig mehrmals – auf der TBM anwesend waren.

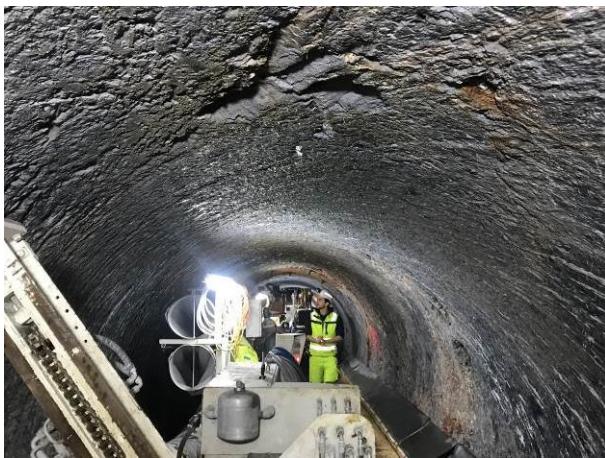


Abb. 5: AG-Geologe im vorderen Arbeitsbereich der TBM bei der Feldaufnahme, Blick gegen die Vortriebsrichtung (Foto: Pöyry/geo.zt).

Im Fokus der Dokumentationsarbeit steht für den AG im Hinblick auf einen sicheren Vortrieb und eine jahrzehntelange Betriebsführung des Druckstollens eine umfassende Gebirgsaufnahme. Insbesondere die Trennflächen sind incl. ihrer Eigenschaften (Öffnungsweiten, mechanische Wirksamkeit, etc.) bei einem unter Druck stehenden Stollen wegen potentieller Wasserempfindlichkeit und Erodierbarkeit der Kluftfüllungen von enormer Bedeutung. Zusätzlich ist eine genaue Gefügeaufnahme mit der Orientierung, der Beschaffenheit und Lage ihrer Elemente die Grundlage für die im Druckstollenbau erforderlichen Gebirgs- und Bettungsinjektionen. Ebenso im Fokus der Dokumentationsarbeit steht die zeitnahe hydrogeologische Dokumentation sämtlicher Wasserzutritte mit ihrer Schüttung, des Schüttverhaltens und ihres Chemismus, um potentielle Betonaggressivitäten und bauwirtschaftliche Fragestellungen abzuklären. Des Weiteren mussten beruhend auf die geologisch-geotechnischen Verhältnisse möglichst rasch Empfehlungen zum Typ der vorgehaltenen Sohltübinge gegeben werden, um die Möglichkeit eines nachfolgenden Ringbetoneinbaus entsprechend der Gebirgsqualität zu gewährleisten.

Im Rahmen der hier gemäß dem Leistungsbild angewandten entsprechenden Aufnahmemethodik wurden von den Geologen Feldaufnahmen eines Horizontal- und Vertikalschnittes in einer definierten Lage zur Stollenachse in Form von 20 m-Abschnitten (M 1:75) mitgeführt (Abb. 6). Für den Horizontalschnitt wurde aus praktischen Gründen der Verschnitt zwischen Arbeitsplattform der TBM und der Stollenlaibung als Referenz genommen, für den Vertikalschnitt die Achslage. Nach den Feldaufnahmen, die sich stationstechnisch an den Baustationierungen im 10 m-Abstand orientierten, wurden im Baubüro Reinzeichnungen angefertigt, die zusammen mit den Gesteins- und Gebirgsparametern und der Fotodokumentation in eine Datenbank eingegeben wurden.

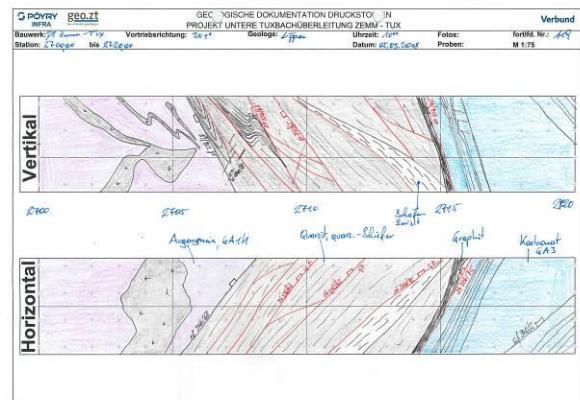


Abb. 6: Beispiel für ein Blatt der laufenden Profilkartierung des TBM-Vortriebes durch die AG-Geologie.

Die nun digital vorhandenen 20 m Abschnitte werden im Anschluss in Form von Stollenbändern zusammengeführt und in einem geeigneten Programm (ACAD) in die Endversionen von einzelnen Stollenbändern im Maßstab 1:100 bearbeitet und zusammengeführt. Aus der Datenbank können dann je nach Bedarf und Anforderung diverse Darstellungen und Auswertungen ausgespielt werden, z.B. Gebirgsartenverteilungen, geotechnische Parameter, Gefüge Auswertungen, geotechnische Längsschnitte mit Vortriebsklassen, etc.

#### 4.2 Periodische Laibungskartierung

Das AN-seitig beauftragte Geologenteam des Ingenieurbüros Dr. Plinninger Geotechnik führte im Rahmen ihres Mandats periodische Ortstermine durch und war je nach Vortriebsleistung vor Ort tätig. Im Schnitt wurde einmal wöchentlich ein Vor-Ort-Einsatz von 3 AT am Stück durchgeführt. Die Dokumentation wurde hinter dem Nachläufer der TBM erstellt, wo günstige Arbeitsverhältnisse vorlagen (Abb. 7).



Abb. 7: AN-Geologe hinter dem Nachläufer der TBM bei der Feldaufnahme, Blick in Vortriebsrichtung (Foto: Dr. Plinninger Geotechnik).

Je nach Vortriebsfortschritt wurden meist zusammenhängende Stollenabschnitte von rd. 50 - 250 m Länge kartiert.

Im Fokus der Dokumentationsarbeit der AN-Geologie standen in erster Linie die Vortriebsleistung und den Sicherungsmittelleinsatz bestimmende Gesteins- und Gebirgseigenschaften, wie Gesteinsarten, Gesteinszusammensetzung, Gesteinsfestigkeiten, Gefügerichtungen und Trennflächeneigenschaften. Für deren Erfassung und Darstellung wurden im Stollen Handskizzen der sichtbaren Bereiche der Stollenlaibung in Form einer Abwicklung mit abgeklappten Ulmen angefertigt und im Nachgang zum Ortstermin ins Reine gezeichnet und coloriert (Abb. 8). Ein Blatt der Kartierung umfasste die Darstellung eines 25 m-Abschnitts im Maßstab 1:100.

Die zeichnerische Darstellung wurde dabei ergänzt durch eines oder mehrere „Parameterblätter“, in denen die geotechnischen Eigenschaften der kartierten Heterogenbereiche gemäß EN ISO 14689 klassifiziert wurden, sowie eine umfangreiche Fotodokumentation.

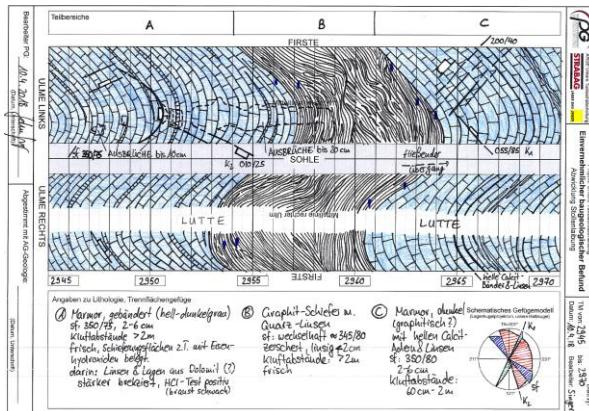


Abb. 8: Beispiel für ein Blatt der hinter dem TBM-Nachläufer durchgeföhrten, periodischen Laibungskartierung durch die AN-Geologie.

### 4.3 Hybride 3D-Laibungsaufnahme

Als zusätzliche Dokumentationsmethode wurde durch die Fa. dabit Messtechnik GmbH eine hybride Stollenaufnahme durchgeführt, die einen Teilbereich des Stollens Zemm-Tuxbach sowie den gesamten maschinellen Vortriebsabschnitt des Stollenasts Zemmgrund-Stillup umfasst.

Die „hybride 3D-Aufnahmetechnik“ besteht aus einem Laserscanner (Zeilenscanner), der die Tunnelgeometrie vermisst und mehreren, hochauflösenden Digitalkameras (Abb. 9). Mit den Fotos der Digitalkameras werden die 3D-Modelle farblich texturiert, wodurch geologische Strukturen zu identifizieren und analysieren sind. Bedingt durch den Aufnahmezeitpunkt sind in der Aufnahme sowohl unverkleidete Abschnitte, als auch gesicherte (Anker, Spritzbeton, Gitter) abgebildet.

Die Dokumentation wurde im Nachgang zum Stollenvortrieb nach Durchschlag durchgeführt. Die eigentliche Aufnahme vor Ort wurde mit einem Einsatz von 1 AT durchgeführt. Für die Prozessierung der Daten fielen im Büro zusätzliche ca. 4 Arbeitstage an.



Abb. 9: 3D-Aufnahme durch das hybride Aufnahmesystem. Vorne befindet sich der Linienscanner, dahinter anschließend Digitalkameras, die die Tunnelleibung fotografieren. Der helle Lichtsaum wird durch den Blitz einer Kamera hervorgerufen (Foto: Dabit).

Die Daten wurden von dabit in Form von digitalen, texturierten 3D-Modellen mitsamt der Analysesoftware „Dabit“ geliefert (Abb. 10). Durch die Geologen von AG und AN erfolgt nachträglich eine ingenieurgeologische Interpretation und Auswertung der Aufnahmen.

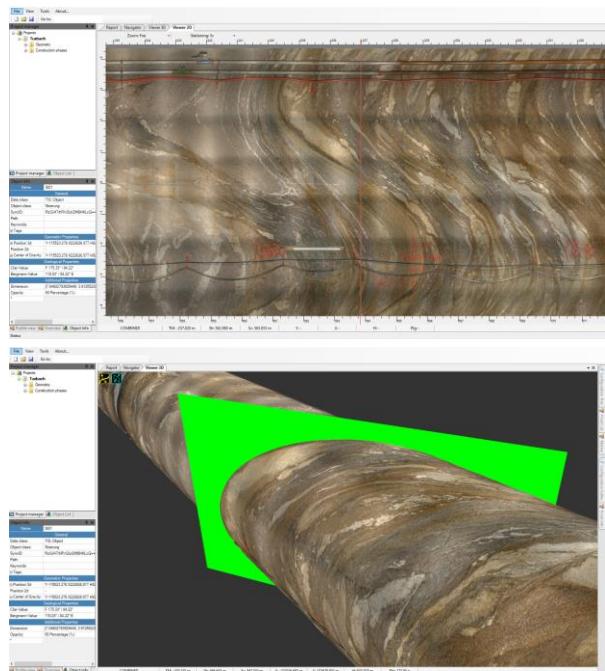


Abb. 10: Screenshots aus der Analysesoftware Dabit: Oben 2D-Tunnelabwicklung in Form eines Orthophotos. Unten: Ansicht im Dabit TIS Viewer mit eingezeichnetener Schieferung (grüne Ebene).

## 5. Projektbezogener Vergleich der Methoden

Das Projekt Tuxbach erlaubt infolge der spezifischen Rahmenbedingungen einen interessanten Vergleich verschiedener Dokumentationsmethoden.

In Hinblick auf Dokumentationsinhalte und wirtschaftliche Rahmenaspekte können die drei Methoden wie folgt gegenübergestellt werden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Gegenüberstellung der drei am Projekt Tuxbachüberleitung eingesetzten Dokumentationsmethoden

Methode	Laufende Profilkartierung	Periodische Laibungsabwicklung	Photogrammetrische Laibungsaufnahme
Ausführende	ARGE Pöyry Austria GmbH und geo.zt GmbH	Dr. Plinniger Geotechnik	dibit Messtechnik GmbH
Vorteile	+ zeitnahe Verfügbarkeit + Profildarstellung leicht verständlich + Gebirgsverhältnisse unmittelbar nach dem Ausbruch erfasst (z.B. Spannungsablösungen, gravitative Ausbrüche etc.) + keine Einschränkungen durch TVM oder Sicherungsmittel + Rund-um-die-Uhr-Verfügbarkeit eines Geologen für Problemsituationen	+ Darstellung des direkt sichtbaren Gebirges; + detailgenaue Wiedergabe von Gestein und Trennflächengefüge; + relativ günstige und sichere Aufnahmebedingungen (Licht, Staub, Baustellenbetrieb) + relative Lagegenauigkeit (in Abhängigkeit der Stollenvermessung) + flexibler Personaleinsatz	+ objektive Abbildung der Stollenlaibung; + geringer Personalaufwand + lagetreue und referenzierte Darstellung mit einer Genauigkeit von $\pm 1\text{-}2 \text{ cm}$ + Ermittlung geometrischer Informationen (Achslage, Überprofile, etc.) + Synergieeffekte für Bauwirtschaft, da auch Sicherungsmittel hinsichtlich Flächenanteil und Stückzahl erfasst werden; + Leichte Einbindung bzw. Verarbeitung mit digitaler Datenverarbeitung
Nachteile	- ungünstigere Aufnahmebedingungen durch Arbeit im unmittelbaren TBM-Bereich - Verhältnisse in Schnittlage nicht direkt beobachtbar; Interpretation und Extrapolation erforderlich - eingeschränkte Lagegenauigkeit (in Abhängigkeit der Stollenvermessung) - generalisierte grafische Darstellung - personalintensiv - nachträgliche Digitalisierung erforderlich	- Einschränkungen durch eingebaute Sicherung (v.a. Sohlbübbing, Noppenfolien, Spritzbeton) sowie Versorgungsleitungen (Lutte, Rohrleitungen) im Bereich hinter dem Nachläufer - Abwicklungsdarstellung schwerer verständlich für Nicht-Geologen - Geologe nur sporadisch auf der Baustelle verfügbar; - nachträgliche Digitalisierung erforderlich	- Einschränkungen durch eingebaute Sicherung (v.a. Sohlbübbing, Noppenfolien, Spritzbeton) - Ableitung geologischer Informationen (z.B. Gesteinsart, GA-Zuordnung) erfordert nachträgliche Interpretation durch einen mit den Projektverhältnissen vertrauten Geologen
Dokumentations-Leistung [m/AT]	direkt abhängig von der Vortriebsleistung der TBM, i.M. rd. 20 m/AT	rd. 100 m/AT	rd. 3000 m/AT und mehr
Nachbearbeitungsaufwand	gering, Reinzeichnung und Digitalisierung	gering, Reinzeichnung und Digitalisierung	umfangreicher Prozessierungsaufwand sowie Aufwand für geologische Interpretation
ungefähre Dokumentationskosten [EUR/lfm]	rd. 80 €/lfm	rd. 15 €/lfm	ca. 10 €/lfm (zzgl. geol. Interpretation)

## **6. Schlussfolgerungen und Ausblick**

Die projektspezifische Wahl der Dokumentationsmethodik ist eine hochwertige Beratungsaufgabe, die die Kompetenz und Erfahrung des Ingenieurgeologen erfordert. Der Ingenieurgeologe sollte sich dabei stets als „Übersetzer“ des Gebirges verstehen und Art und Inhalte seiner Darstellung auf die Erfordernisse des jeweiligen Empfängers abstimmen.

Vor diesem Hintergrund ist es auch sinnvoll – und keinesfalls als fachlicher „Wildwuchs“ zu interpretieren! – dass sich Inhalte und Darstellungsformen verschiedener Dokumentationen unterscheiden: Ingenieurgeologische Dokumentationen die im Wesentlichen der Überprüfung der Baugrundprognose für Fragen von Vortrieb und Sicherung während der Bauausführungsphase dienen, haben zwangsläufig andere Schwerpunkte, als diejenigen, die vorrangig der jahrzehntelangen Betriebsführung, z.B. von Wasserkraftwerken dienen. Allerdings muss bei derartig verschiedenen Dokumentationen die Basis, d.h. die Aufnahme der geologischen Verhältnisse, grundsätzlich übereinstimmen.

Ein wesentlicher Ansatz für die Objektivierung und Außerstreitstellung geologischer Dokumentationen kann die Einführung eines „Vier-Augen-Prinzips“ darstellen, bei denen Geologen im Auftrag des Auftraggebers gemeinsam mit Geologen im Auftrag des Auftragnehmers versuchen, gemeinsame Sichtweisen zu erarbeiten und darzustellen. Mit dieser – im englischsprachigen Raum übrigens als „two man rule“ bezeichneten – Vorgehensweise wurden in der Vergangenheit insbesondere bei konfliktträchtigen bzw. bereits konfliktbehafteten Projekten sehr gute Erfahrungen gemacht (siehe auch Plinninger, Sommer & Poscher, 2017).

Eine derzeit in Bearbeitung befindliche Empfehlung der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) hat diesen Ansatz ebenfalls aufgegriffen und wird ihn voraussichtlich auch in Ihrer in naher Zukunft erscheinen Empfehlung für die „Baugeologisch-hydrogeologische Dokumentation bei der Ausführung von Untertagebauwerken“ berücksichtigen.

Die auf der Baustelle erforderliche, interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Vertretern unterschiedlichster Fachgebiete und unterschiedlicher Rollen im Projekt erfordert dabei nicht nur die Fähigkeit, geologische Sachverhalte kompetent und zutreffend darzustellen, sondern auch die Fähigkeit, zu erkennen, welche Darstellung für den jeweiligen Empfänger am besten ver-

ständlich ist und welche Art der Darstellung für diesen Zweck gewählt werden sollte.

Neben der „klassischen“ ingenieurgeologischen Aufnahme und Darstellung von Aufschlüssen kann dies eine weitere Interpretation und Verarbeitung bis hin zu speziellen Ausarbeitungen, wie z.B. Homogenbereichspläne, geotechnische Längsschnitte mit Auskleidungsmassnahmen, Bodenklassenpläne, Injektionsrasterpläne oder ähnliches erfordern (siehe auch Plinninger, Scholz, Sommer & Poscher, 2017).

Moderne bildgebende Verfahren, wie Photogrammetrie und Laserscanning sind zunehmend baustellentauglich und werden kurz- bis mittelfristig an Bedeutung gewinnen. Die gleichzeitig steigenden Anforderungen an die Einbindung geologischer Informationen in Datenbank- oder Geoinformationssysteme (Stichwort „Building Information Management“) werden mittelfristig zu Anpassungen des Dokumentationswesens auch in der Ingenieurgeologie führen. Die Einbindung bildgebender Verfahren, wie Photogrammetrie, Laserscanning, o.ä. bietet hierfür mannigfaltige Möglichkeiten.

## **Literatur**

Blauthut, A., Steyrer, P., Eichner, H., Fiegl, M., Gasser, O. & Riediger, C. (2019): Lower Tuxbach diversion – A high pressure diversion tunnel: Excavation and lining design for internal pressure greater than 20 bar; Untere Tuxbachüberleitung – Ein Überleitungsstollen als Hochdruckstollen: Vortrieb und Auskleidungskonzept für Innendrücke über 20 bar,- Geomechanics & Tunnelling, 3: S. 212-226 , Berlin (Ernst & Sohn)

Plinninger, R.J., Scholz, M., Sommer, P. & Poscher, G. (2017): Umfahrung Schwarzkopftunnel / ABS Hanau-Nantenbach: Anspruchsvoller Spezialtiefbau in wechselhaften Verhältnissen - Herausforderung für die ingenieurgeologische Dokumentation, in: DGGT (Hrsg. 2017): Tagungsband der Fachsektionstage Geotechnik, Würzburg, 6. - 8. September 2017: S. 150-155, Essen

Plinninger, R.J., Sommer, P. & Poscher, G. (2017): On the role of the Engineering Geologist in the Construction Phase of Challenging Tunnel Projects.- in: Proceedings of the World Tunnel Congress 2017 – Surface challenges – Underground solutions. Bergen / Norway, S. 2313-2319.