Zeitschrift: Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung von Energie-Geowissenschaftern; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie

Band: 22 (2017)

Heft: 2

Artikel: Ceneri-Basistunnel : Umgang mit prognostizierten und unerwarteten Störungen : Fallbeispiel von schleifend zur Tunnelachse streichenden Störungszonen bei komplexen Baugrundverhältnissen

Autor: Pozzorini, D.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-738125

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

Download PDF: 05.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Swiss Bull. angew. Geol. Vol. 22/2, 2017 S. 21-31

Ceneri-Basistunnel – Umgang mit prognostizierten und unerwarteten Störungen: Fallbeispiel von schleifend zur Tunnelachse streichenden Störungszonen bei komplexen Baugrundverhältnissen

D. Pozzorini[1]

Zusammenfassung
Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dem Fallbeispiel eines komplexen, schleifend zur Tunnelachse streichenden Störungssystems welches beim Bau des Ceneri-Basistunnels im grösseren Ausmass als erwartet aufgetreten ist. Dabei werden einige Aspekte der Prognosegrundlagen, der Bewältigung der angetroffenen Verhältnisse sowie der Gegenüberstellung der Prognose zum Befund erläutert.

1 Einleitung

Bei der Planung von tiefliegenden Tunnelbauwerken können Störungen bzw. Störungszonen je nach Komplexität des Gebirges die Baukosten, die Bauzeiten sowie die Wahl der Vortriebsmethode massgeblich beeinflussen. Zudem kommt es bei der Durchörterung von nicht erwarteten, sowie von prognostizierten, jedoch hinsichtlich Ausmass unerwartet mächtigen Störungszonen, nicht selten zu zeitlichen Verzögerungen im Vortrieb und zu erheblichen Mehrkosten bei deren Ausbruchsicherung und Tunnelausbau.

Das Gebirgsverhalten hängt im Zusammenhang mit Störungen unter anderem von deren Raumlage ab (z.B. [5]), wobei von orthogonal gerichteten Störungen ausgehend bis zu den bautechnisch ungünstigen, schleifend bis parallel zur Bauwerksachse verlaufenden Störungen eine allgemeine Verschlechterung der Standfestigkeit zu erwarten ist.

[1] Projektgeologe Ceneri-Basistunnel; Dr. Baumer SA geologi consulenti via ai molini 22 CH-6616 Losone; diego.pozzorini@baumer-geol.ch

Im Gegensatz zu Baugrundverhältnissen bei denen Störungen annähernd im rechten Winkel aufgefahren werden, liegen die Besonderheiten von schleifend bis parallel zur Tunnelachse orientierten Störungen darin, dass nur auch geringmächtige derartige Strukturen wegen oder infolge der ungünstigen Schnittlage sich über beträchtliche Tunnelabschnittslängen hinaus erstrecken und daher eine hohe bautechnische Bedeutung aufweisen können. Diese Ausgangslage bringt eine stärker ausgeprägte Gebirgsanisotropie mit sich; hat eine solche Störung oder Störungszone den Tunnelquerschnitt noch nicht erreicht, kann sie bereits im Vorfeld der Auffahrung in Erscheinung treten, in dem es zu druckhaften und gebrächen Gebirgsverhältnisse kommt, welche sich insbesondere durch Konvergenzen und Risse in der Aussenschale des Tunnelbauwerks bemerkbar machen [6].

Für die räumliche Erkundung der Strukturen und die Erstellung von Prognosemodellen im Rahmen solcher spitzwinklig zur Tunnelachse verlaufenden Störungen sind folgende Faktoren massgebend:

- mutmassliche Abschnittslänge auf Tunnelniveau und Gebirgsüberlagerung, welche den Umfang einer Vorerkundung aus Kostengründen wesentlich beeinflussen bzw. einschränken können wie z.B. Anzahl und Länge von Sondierbohrungen (Kosten-Nutzen Verhältnis);

- relativ grosse Streubreiten für die Projektion der Strukturen von der Oberfläche in die Tiefe und die daraus resultierenden

Ungenauigkeiten bei der Festlegung der Lage und Mächtigkeit der Störungen auf Tunnelniveau;

- räumliche strukturelle Variabilitäten, welche eine «lineare» Extrapolation in die Tiefe unter Beibehaltung einer «konstanten» Mächtigkeit nur beschränkt erlauben, da diese stark von der Komplexität des Gebirgsaufbaus und dessen Verständnis (Kenntnisgrad) abhängig sind;

- Strukturgeologische Verhältnisse im oberflächennahen Bereich, deren Gegebenheiten z. B. durch Auflockerungsprozesse oder gravitative Massenbewegungen (z.B. Sackungen) beeinflusst werden können; zudem ist eine lückenlose Kartierung und Aufnahme der Oberflächenverhältnisse von Störungslineamenten zumeist kaum erfassbar.

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit den Prognosegrundlagen, den Erfahrungen und den Auswirkungen beim Vortrieb des nördlichen Tunnelabschnitts des Ceneri-Basistunnels und erklärt anhand eines Fallbeispiels einige Aspekte die im Zusammenhang mit den eingangs erwähnten Randbedingungen stehen.

2 Projektübersicht und geologisch-tektonische Randbedingungen

Der Ceneri-Basistunnel (CBT) besteht aus zwei 15.4 km langen Einspurröhren und stellt den zurzeit südlichsten Abschnitt der Alptransit-Gotthard Achse dar. Er verbindet die Magadino-Ebene südwestlich Bellinzona (Nordportal Camorino/Vigana) mit der Region Lugano (Südportal Vezia). Die Ausbrucharbeiten wurden, vom Zwischenangriff Sigirino ausgehend, zugleich in südlicher wie in nördlicher Richtung mit konventionellem Sprengvortrieb vorgetrieben und Ende Januar 2016 mit dem Durchschlag am Nordportal abgeschlossen. Die Inbetriebsetzung des CBT ist im Jahr 2020 vorgesehen. Die maximale Gebirgsüberlagerung des CBT beträgt 810 m.

Die geologischen Gebirgsverhältnisse des CBT sind aufgrund der regionalen Tektonik am nördlichen Rand der Südalpen komplex und heterogen [2]-[4]. Die Felsverhältnisse und deren Randbedingungen waren bereits im Vorfeld der Vorstudien bekannt und anschliessend in den Projektierungsphasen entsprechend erkundet, ausgewertet und beurteilt worden. Das Tunneltrassee des CBT führt ausschliesslich durch das Grundgebirge der Südalpen, das «Insubrische Kristallin», welches vorwiegend aus präalpinen Para- und Orthogneisen, Schiefern und Amphiboliten besteht und im Norden an das Insubrische dextral-transpressive Störungssystem (Insubrische Linie) direkt angrenzt. Obwohl sämtliche Lithologien ihr ursprüngliches präalpines Gefüge grundsätzlich beibehalten haben, welche bereits ab dem kaledonischen Gebirgszyklus tektonisch und metamorph geprägt wurden, sind diese Gesteinsformationen durch die späteren alpinen Deformationsphasen (Insubrische Linie) mit Bildung komplexer Sprödstrukturen selektiv überprägt worden.

Infolge des komplexen Gebirgsaufbaus und insbesondere der Raumlage der Primärstrukturen wie z.B. die lithologischen Kontaktzonen, die Hauptschieferung sowie das dazu gehörende, konkordante spröde Trennflächengefüge (Kluftflächen, Scherbänder, Störungszonen, u.a.) ergaben sich, entlang gewisser Bereiche im nördlichen Abschnitt des CBT, ungünstige Verschneidungen mit der Tunnelachse. Diese konnten, auch nach einer Optimierungsstudie (Variantenvergleich) bei der Auslegung der definitiven Linienführung, nur zu einem gewissen Teil vermieden werden.

3 Prognosemodell und Vortriebskonzept

Der bereits angesprochene Tunnelbereich des zentralen Abschnittes des CBT, in dem die geologischen Hauptstrukturen überwiegend schleifend bis parallel zur Tunnelachse verlaufen, wurde als «Zone des Subparallelismus» bezeichnet [2]. Die Streckenlänge dieser Zone wurde entlang der Tunnelachse auf eine Länge von 3,6 bis 4,0 km geschätzt, was etwa 25% der Gesamtlänge des CBT entspricht.

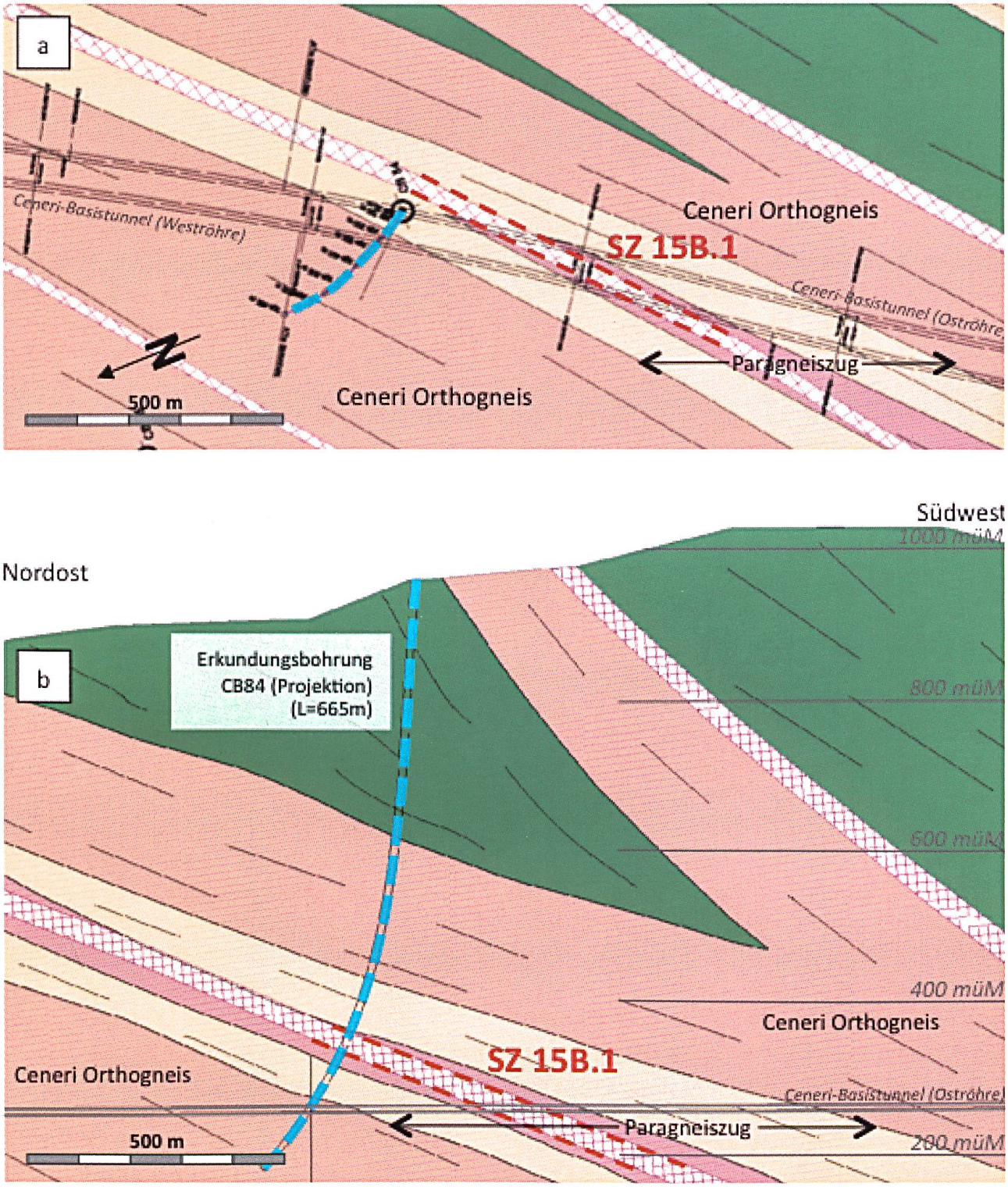


Fig. 1: Prognosemodell Ceneri-Basistunnel, Ausschnitt «Zone des Subparallelismus», SZ 15B.1. a) Horizontalschnitt auf Tunnelniveau. b) Längsschnitt entlang Oströhre. Aus [1], [2] leicht modifiziert.

Im Abschnitt des Subparallelismus wurden spröde Störungszonen prognostiziert, die mit mittleren bis steiler Neigung in Richtung Südosten einfallen. Solche Zonen sind insbesondere an den Grenzen unterschiedlich kompetenter Lithologien (Stoffgrenzen, Gesteinswechsel) zu erwarten. Eine tektonisch relevante Störungszone, die gleichzeitig als eine der bautechnisch relevantesten des Subparallelismus klassifiziert wurde, hat eine Mächtigkeit von 10 bis 20 m und besteht aus Kataklasit und Kakirit (Homogenbereich 15B, entspricht der Störungszone 15B.1, [2]). Diese Zone liegt inmitten einer Serie von Paragneisen, eingeklemmt zwischen zwei mächtigen, bautechnisch günstig eingestuften Orthogneiskomplexen. Die Ausdehnung der Störungszone, deren Mächtigkeit nur 10 bis 20 m beträgt, erreicht wegen der tangentialen Orientierung in Bezug auf die Tunnelachse in beiden Röhren eine Länge von 80 bis 140 m im Tunnelprofil (vgl. Fig. 1). Die Gebirgsüberlagerung beläuft bei dieser Tunnelstelle auf 700 m.
Die Prognose der Störungszone (SZ) 15B.1 basiert auf den Ergebnissen der geneigten Kernbohrung CB 84 (Länge 665 m, vgl. Fig. 1) unter Berücksichtigung der lithologisch-strukturellen Gegebenheiten aus den Oberflächenaufschlüssen. Dabei ergaben sich aus dem entsprechenden erbohrten Bereich stark tektonisch beanspruchte, zerscherte z.T. kohäsionslose «Störungsgesteine» wie Kakirite und Kataklasite in Abwechslung mit wenig bis ungestörten Felsabschnitten. Obschon die Gebirgsverhältnisse in der Nähe der Tunnelachse angebohrt und damit die strukturellen Raumlagen und die Gesteinsgrenzen ausgewertet und mit relativer Zuverlässigkeit auf Tunnelebene prognostiziert werden konnten, blieb die Prognosegenauigkeit der SZ 15B.1 dennoch mit Unsicherheiten behaftet. Als Mass für diese Unsicherheit, die einerseits als Grundlage für die Risikoanalyse dient und anderseits die Grenzen der Gebirgsbeschaffenheit im Werkvertrag angibt, wurde für jede Störung der Streubereich berechnet. Die Ausdehnung des Streubereichs ist abhängig von der Gebirgsüberlagerung, der Prognosesicherheit mittels Kernbohrung und von der räumlichen Orientierung der Störung. Für die SZ 15B.1 wurde ein Streubereich von 170 m festgelegt [2].

Für die Einschätzung des Gebirgsverhaltens im Bereich der SZ 15B.1 erwartete man einerseits Verformungen entlang von Trennflächen im Randbereich der Störungszone sowohl auch innerhalb derselben entlang von petrografischen Diskontinuitäten gegeben durch einen abwechselnden Zerscherungsgrad. Verformungen wurden ebenfalls im Zusammenhang mit den niedrigen Gesteinsfestigkeiten insbesondere im kakiritischen Gestein erwartet. Die Gefährdungsbilder «plastische Verformung», «Instabilität der Ortsbrust», «Auflockerung», «Kluftkörper» und «Ablösungen» wurden somit in dieser Störungszone als «hoch» beurteilt.

Auf Stufe Bauprojekt wurden geologisch-bautechnische Risikoanalysen durchgeführt, um die Auswirkungen der Prognoseunsicherheiten auf die Bauzeiten und die Baukosten zu erfassen und die Wahl der Vortriebsmethode mittels fundierten Unterlagen abzustützen. Angesichts der (i) Unsicherheiten bezüglich Gebirgsaufbau, (ii) der ungünstigen Raumlagen der prognostizierten Hauptstrukturen welche trotz relativ geringer Mächtigkeiten relevante Ausdehnung der SZ 15B.1 zu Folge hatten, sowie (iii) der Schwierigkeiten, den Baugrund ausreichend zu erkunden, entschied sich der Bauherr für den nördlichen Abschnitt des CBT, ausschliesslich eine konventionelle Vortriebsweise auszuschreiben.

4 Geologischer Befund und Soll-Ist-Vergleich der ITZ «Intensiv Tektonisierte Zone»

Im Bereich des Subparallelismus wurden sämtliche prognostizierte Hauptstrukturen

(lithologische Kontakte, Schieferung, Störungszonen) schleifend zur Tunnelachse angefahren. Dabei variierte der Winkel zwischen dem Streichen und die Bauwerksachse um 5 bis 30 Grad. Die durchörtete Gesamtlänge des Subparallelismus betrug 3,7 km (Oströhre) bzw. 3,8 km (Weströhre) was den Erwartungen durchaus entsprach. Zusätzlich zu den Hauptstrukturen traten jedoch auch zahlreiche Ost-West verlaufende Querstrukturen in Form von kleineren sprödförmigen Störungen und Kluftscharen auf. Diese Trennflächen, die erst weiter nördlich erwartet wurden (Umfeld der Insubrischen Linie) führten zu einer höheren Gebirgszerlegung und wirkten sich sowohl günstig (durch Seitenverschiebung relevanter Störungen aus der parallelen Röhre hinaus versetzt) als auch ungünstig (sich wiederholende Störungen) auf den Vortrieb aus.

Zwischen Mai 2012 und April 2013 wurde im Bereich des Subparallelismus in beiden Vortriebsröhren eine tektonisch stark beanspruchte Abfolge von Störungen aufgefahren, welche den Vortrieb stark erschwerte und den Zugriff nach stärkeren Sicherungsmassnahmen erforderte. Dieser Abschnitt wurde als «Intensiv Tektonisierte Zone» (ITZ) bezeichnet.

Die ITZ besteht aus einer Vielzahl von konjugierten kataklastischen Einzelstörungen bzw. Störungszonen, von mehreren Dezimetern bis zu Zehnermetern Mächtigkeit (Störungsbereich), die zusammen mit dazwischenliegenden gleichmächtigen, von ungestörten über stark zerlegten, zerscherten bis zu zerrüttenden Gesteinsbereichen (Zwischenbereich) und cm-mächtigen Scherzonen hin, eine sehr heterogene und wechselhafte Abfolge bilden (vgl. Fig. 2). Die ITZ ist strukturell komplex aufgebaut. Bereits innerhalb der einzelnen Störungen erwies sich der interne Aufbau als sehr inhomogen: eine «nach Schema» idealisierte Ausbildung nach einem zentralen Störungskern (Fault Core), umgeben von zerscherten Randzonen (Damage Zones), konnte nur selten angetroffen werden. Überwiegend traten sowohl im mittleren als auch im marginalen Bereich des Störungsbereichs Core- bis Multicore Zones auf. Das Material der Core Zones bestand zumeist entweder aus Fault Breccia Kakirit (kohäsionslose tektonische Brekzie, ausgebildet als Fragmenten des ursprünglichen Gesteins, eingelagert in stark bearbeiteter Grundmasse), Fault Gouge (sehr feinkörniges «plastisches», bindiges Gesteinsmehl) oder aus Kataklasit (kohäsionsschwaches Störungsgestein) in variablen Mengenverhältnissen. Das Material der Damage Zones bestand zumeist aus stark zerlegten bis zerrütteten schiefrigen Biotit-Chloritgneisen. Im Allgemeinen konnte eine Zunahme des Kakiritanteils im nördlichen Abschnitt der ITZ festgestellt werden. Neben dem kataklastischen Gefüge wurden duktil verformte, einige cm bis dm-mächtige Mylonitzüge vorgefunden, deren Mylonitfoliation subparallel zur Hauptstörungsrichtung der ITZ ausgerichtet ist. Diese stellen vermutlich die duktilen Vorläufer einer älteren (präalpinen, oder früh-alpinen?) Deformation dar.
Die Ausdehnung der ITZ fiel weit über die Erwartungen der SZ 15B.1 hinaus, deren Abschnittslänge betrug 475 m in der Oströhre bzw. 480 m in der Weströhre, was einer Gesamtmächtigkeit von mindestens 100 m entspricht. Damit stellt die prognostizierte SZ 15B.1 nur einen Bruchteil (etwa 25%) der gesamten ITZ dar: sie erschien in beiden Tunnelröhren im nördlichsten Bereich der ITZ als kakiritreiche Störungszone. Mit einer Mächtigkeit von 20 – 25 m und Abschnittslänge je 130 – 140 m zeigte sie eine recht gute Übereinstimmung mit den Erwartungen, wurde jedoch etwa 150 m nördlicher als erwartet angetroffen (tangentiale Verschiebung von ca. 50 m in nordwestlicher Richtung, vgl. Fig. 3).

Während der gesamten Durchörterung der ITZ blieben die Bergwasserverhältnisse sehr bescheiden, im Wesentlichen erfolgte der Vortrieb trocken. Nur lokal traten sowohl in

den Störungsbereichen wie auch den Zwischenbereichen nasse Stellen, Tropf und sporadisch Wasseraustrittstellen auf (Ortsbrust, Erkundungsbohrungen), deren initialen Schüttungen (< 0,1 l/s) jedoch nach kurzen Zeitabschnitten («einige Tage») drastisch abklangen bzw. ganz versiegten.

5 Bautechnik und Gebirgsverhalten der ITZ (Vortrieb und Ausbruchsicherung)

Die Bewältigung der ITZ beanspruchte insgesamt 8 Monate (Weströhre) bzw. fast 10 Monate (Oströhre) und verursachte einen Mehraufwand von rund 150 Arbeitstagen (AT). Der Vortrieb erfolgte grösstenteils mittels Hydraulikhammer, und die Ortsbrust wurde teilweise in mehreren Schritten ausgebrochen (Unterteilung der Ortsbrust), weshalb pro Vortriebsröhre eine bescheidene durchschnittliche Tagesproduktion von 2 m/AT resultierte. Laut Prognose ging man allein für die Durchörterung der SZ 15B.1 von einer Tagesleistung pro Röhre von 1,5 m/AT, für den übrigen Bereich ausserhalb der Störungszone jedoch von 7 m/AT aus.
Der Vortrieb der ITZ erforderte massive Ausbruchsicherungen, insbesondere Sicherungsprofile mit Stahlbögen, Ankerungen sowie Netz und Spritzbeton. Dabei konnte ein modifizierter Sicherungstyp (ST SPV 6A) den sich rasch ändernden sehr heterogenen und komplexen geologisch-geotechnischen Felsverhältnissen besser angepasst werden (verkürzter Sohlschluss [4]); dieser Sicherungstyp wurde für 73% der Gesamtlänge

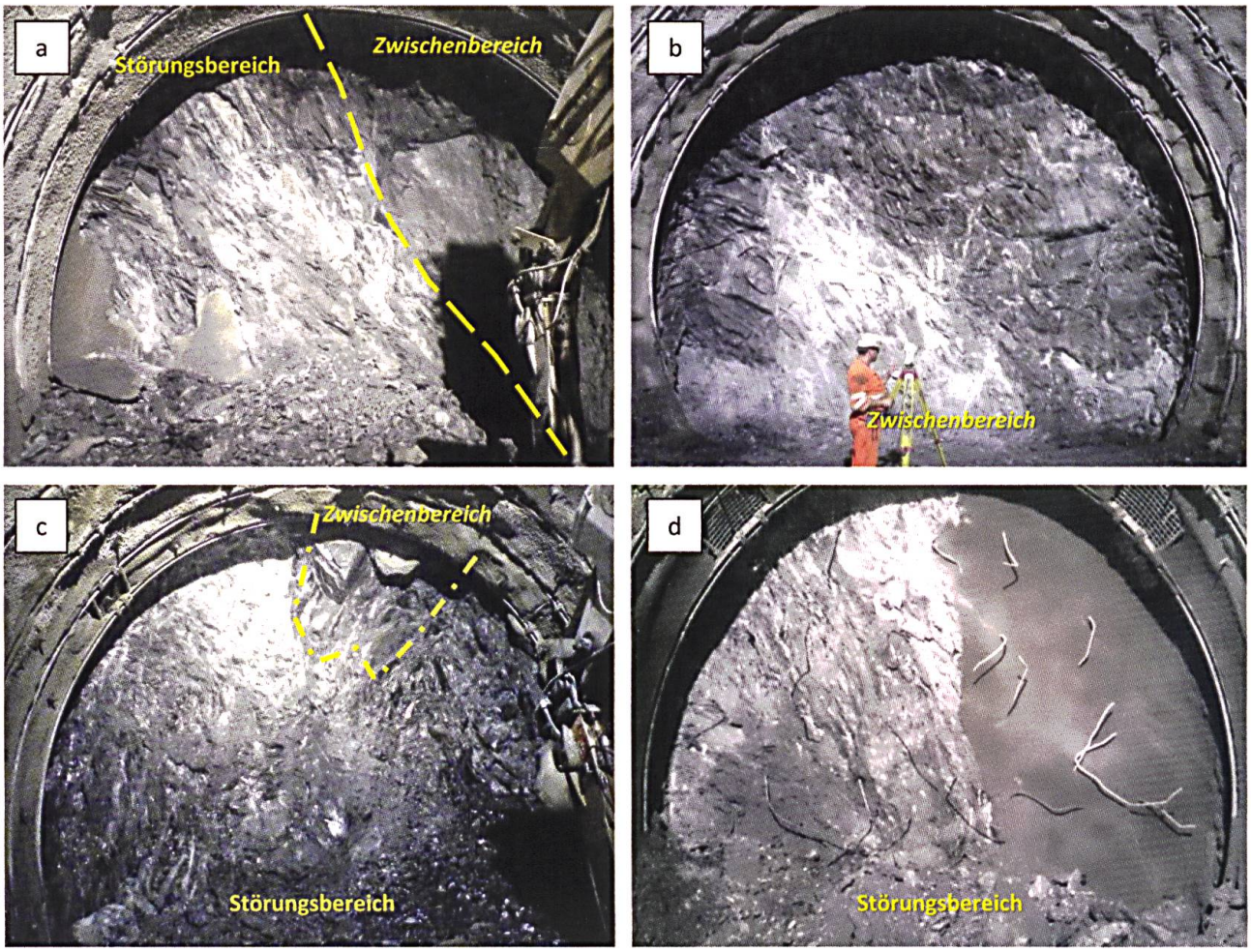


Fig. 2: Brustbilder ITZ. a) Weströhre Tm 2422.5. b) Oströhre Tm 2887. c) Weströhre Tm 2758. d) Oströhre 3233. Bilder aus [4].

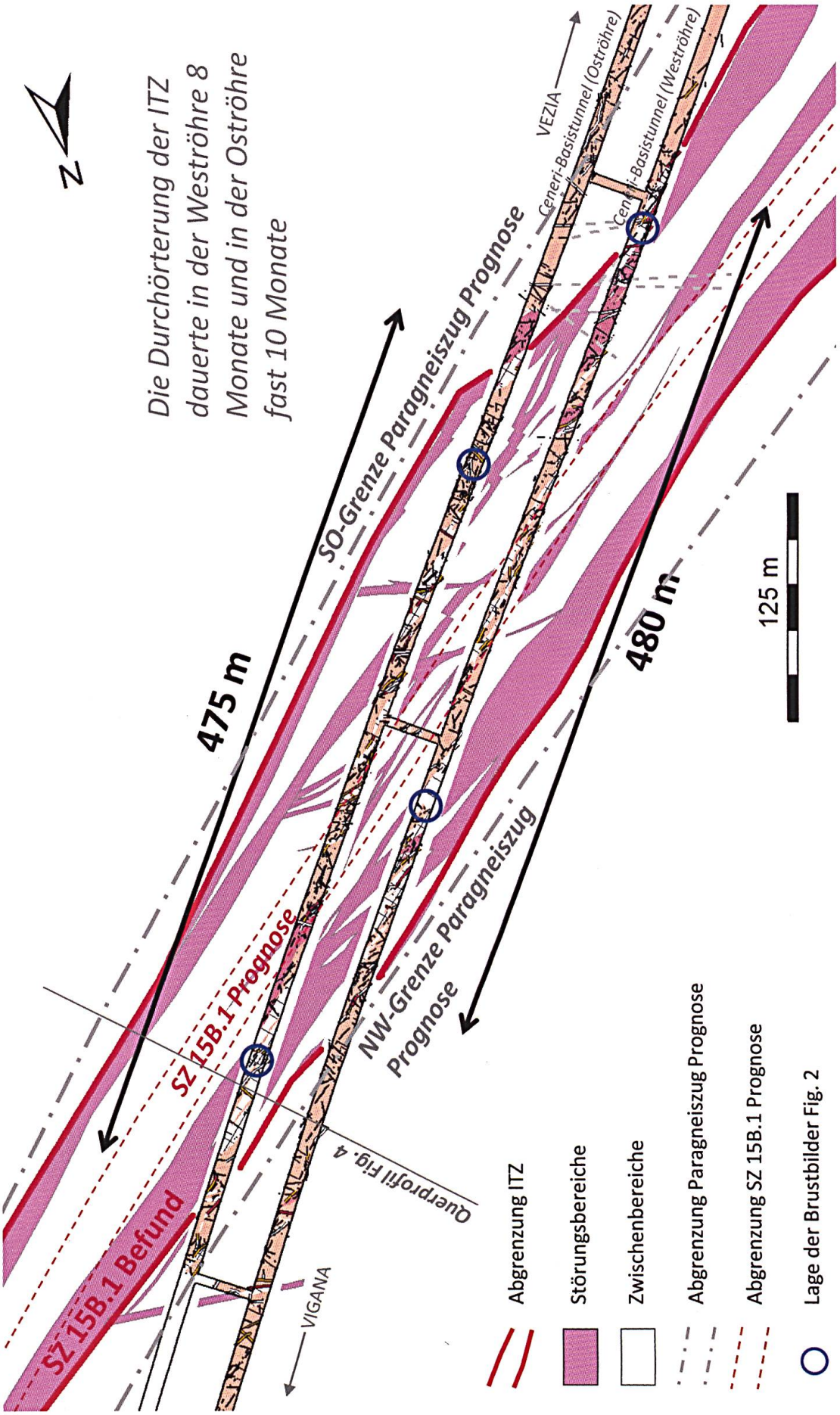


Fig. 3: Befundverhältnisse ITZ und Vergleich mit Prognose, Auszug aus [4].

der ITZ eingesetzt. Dennoch wurden die schwersten Sicherungstypen im anspruchvollsten, nördlichsten Abschnitt der ITZ im Bereich der prognostizierten SZ 15B.1 eingesetzt (ST SPV9 und -10, mit Schlitzen und Ortsbrustankerung [4]).

Das Gebirgsverhalten entlang der ITZ widerspiegelte die sehr hohe Variabilität und Versatilität in den Baugrundverhältnissen. Da die Vortriebe in den beiden Röhren gleichauf liefen, war eine gegenseitige Beeinflussung in den Deformationen schwer festzustellen. Die wesentlichen angetroffenen Ereignisse («Gefährdungsbilder» im Befund) waren Kluftkörper, Mehrausbrüche in der Ortsbrust, herausgleiten von Gesteinspaketen an der Ortsbrust sowie Ablösungen im Profil vorwiegend im östlichen Parament und ein Niederbruch von 150 m^3 Gesteinsvolumen und systematischer Kleinsteinfall. Zudem konnten insbesondere in den Störungsbereichen wiederholt Auflockerung sowie Mehrausbrüche an der Ortsbrust festgestellt werden, wobei diese teilweise über die Kalotte hinaus reichten. In den kakiritischen Störungsbereichen wurde zudem plastische Verformung angenommen.

Mittels 3D-Verformungsmessungen wurden örtlich Gesamtverschiebungen von bis zu 230 mm verzeichnet, dabei resultierte ein Verformungsmuster, welches aufgrund der Scherverschiebungen vermehrt Verformungen im unteren linken (westlichen) Parament und insbesondere im rechten (östlichen) oberen Parament und im Kämpferbereich aufwies. Laut den Einschätzungen des Baustellengeologenteams (mündl. Mitteilung J.-P. Hürzeler) liegt der Betrag der Vorverschiebungen (d.h. der Anteil der Verformungen vor der Erstmessung) bei rund 30%. Die höchsten radialen Verschiebungen wurden nicht in den Störungsbereichen sondern i. Allg. in den intensiv durchtrennten Zwischenbereichen festgestellt: durch Spannungsumlagerungen bauen sich Spannungskonzentrationen in den kompetenteren Gesteinszügen auf, welche schliesslich zu Überbeanspruchungen und Verschiebungszunahmen führen. Gestörte Bereiche «stützen sich» somit auf diesen kompetenteren Gebirgsabschnitten ab. Solche Umstände sind bei ähnlichen Randbedingungen aus weiteren Fallbeispielen bekannt (z. B. [12], [13]).

Als baubegleitenden Erkundungsmassnahmen wurden gemäss Erkundungskonzept Vorausbohrungen mittels Schlagbohrungen ausgeführt. Vorausbohrungen sind von grossem Nutzen für die Arbeits- und Planungssicherheit im modernen Tunnelbau [7]. Neben den vorgesehenen, jedoch beschränkt eingesetzten Kernbohrungen (vortriebshemmend, nur in Betriebseinstellungen möglich z.B. Betriebsferien, bzw. Ausserordentlichkeiten) hat sich die Kombination von systematischen Schlagbohrungen in Vortriebsrichtung mit radial ausgerichteten Schlagbohrungen als sonderlich aussagekräftig und kosteneffizient erwiesen. Kurze, dafür häufigere Radialbohrungen haben sich bewährt, da die Bohrergebnisse nicht allzu weit extrapoliert werden mussten.

6 Mögliche Gründe der Abweichungen zur Prognose

Im Einklang mit den eingangs erwähnten Faktoren, welche ein Prognosemodell massgeblich beeinflussen können, resultierten die folgenden Punkte entscheidend für die Abweichungen zwischen Prognose und Befund für den Bereich des Subparallelismus:

- die Ungenauigkeit der geometrischen Projektion der Strukturen auf Tunnelebene und die dadurch entstandene Unsicherheit in der Prognose der Lage der Störungsgrenzen erwies sich relevant. Ein Neigungsunterschied in der Fallrichtung von lediglich 5 Grad verursacht auf Tunnelebene eine Verschiebung von 50 m, welche sich in Vortriebsrichtung infolge schleifender Bedingungen auf rund 200 bis 250 m beläuft;

- bei der Erkundungsbohrung CB84 erwies sich eine Rückanalyse ausgehend von den Befunddaten zweckmässig und wertvoll: diese verdeutlichte die Einschränkungen linearer Projektionen und beleuchtet insbesondere die Winkel- und Mächtigkeitsänderungen der Kakirit- und Kataklasitabfolgen, welche aus den Bohrkernen der CB 84 nachträglich erkannt wurden (vgl. Fig. 4).

7 Schlussfolgerungen / Ausblick

Die Befundverhältnisse im Rahmen der ITZ am Ceneri-Basistunnel haben einmal mehr bewiesen, dass bei komplexen Störungssystemen Prognosemodelle signifikanten, zwangsläufigen Ungenauigkeiten bzw. Unsicherheiten ausgesetzt sind. Selbst bei umfangreichen Baugrunderkundungen und daraus abgeleiteten, mittels 3D-Software erstellten Prognosemodellen bleiben Unschärfen in der Prognose unumgänglich und werden auch nicht in Zukunft vermieden werden können.

Es stellt sich nun die Anforderung einen Lösungsansatz für die Bestimmung der Ungenauigkeiten bezüglich der angetroffenen Geologie aufzustellen. Dieser Umstand

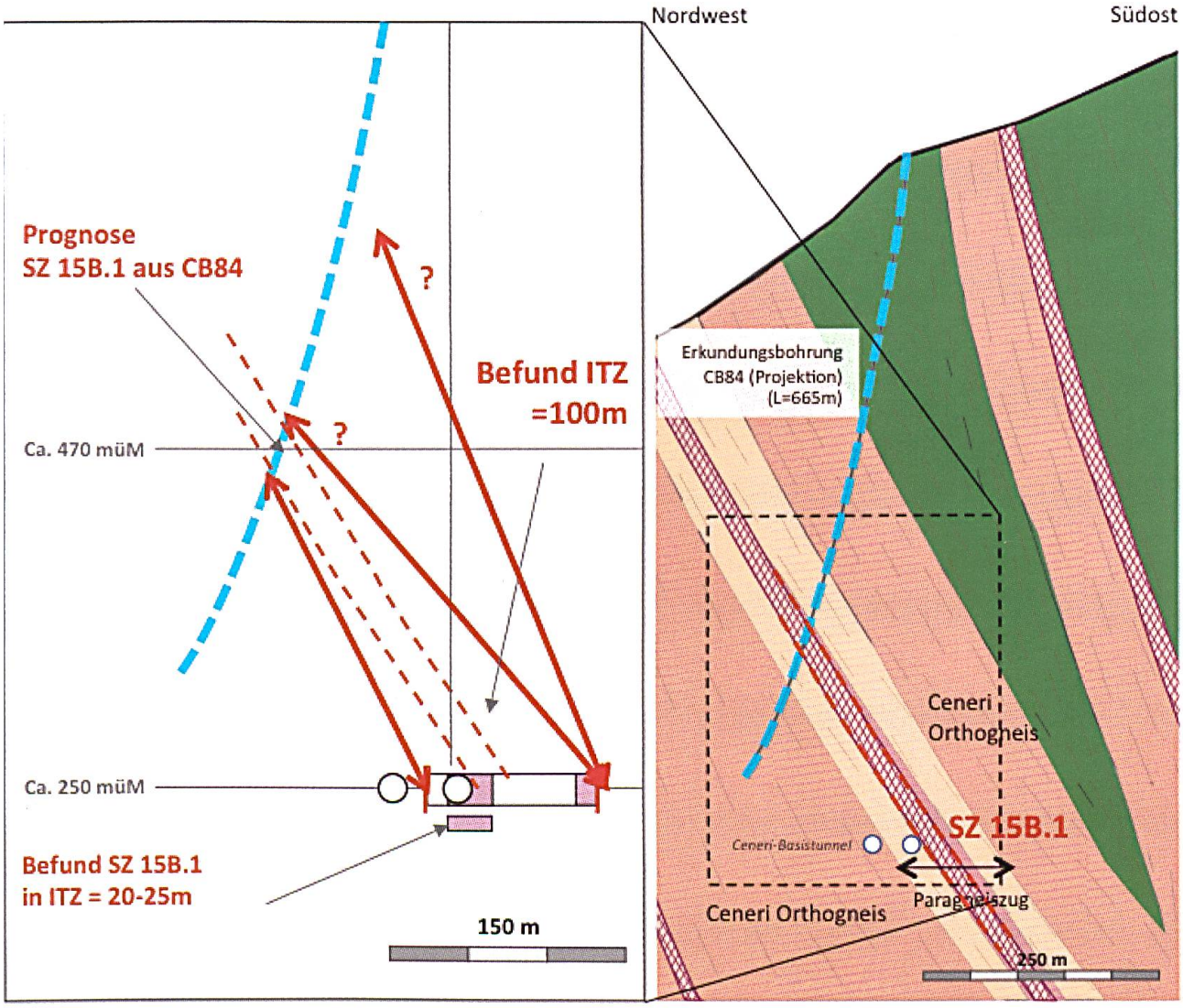


Fig. 4: Geologisches Querprofil, Gegenüberstellung Prognose (Situation rechte Bildseite, aus [2] leicht bearbeitet) Befund (links) der prognostizierten SZ 15B.1 und der nichtprognostizierten ITZ. Mögliche Winkel- und Mächtigkeitsänderungen der Störungs- und Zwischenbereiche der ITZ aus den Rückanalysen. Profillage siehe Fig. 3.

erfordert eine ständige Aktualisierung des Prognosemodells (geologisches Modell und Baugrundmodell) welche unter Erstellung einer Kurzzeitprognose der Gebirgsverhältnisse in unmittelbarem Bereich vor der Vortriebsfront abläuft. In dieser Hinsicht konnte am CBT dieses Konzept umgesetzt werden. Bei der Durchörterung der ITZ hat sich das Zusammenspiel und Mitwirken folgender Hilfsmittel als entscheidend für die Beherrschung der Bautechnik (Ausbau und Vortrieb) entpuppt:

- optimiertes Vorauserkundungskonzept (Schlagbohrungen) hat sich während des Vortriebs sehr bewährt und war zielführend. Die Bohrbefunde haben zur Zuverlässigkeit der Voraussage Wesentliches beigetragen;

- 3D-Deformationsmessungen: Messdatenauswertungen gaben Hinweise zu Annäherungen an Störungsbereiche bzw. Zwischenbereiche;

- Geologisch-geotechnische Ansprache (Ortsbrust), mit Augenmerk auf bestimmten Parametern und Beobachtungen (Trennflächengefüge, Durchtrennungsgrad, Einschätzung Gesteinsfestigkeit, Befundereignisse).

Durch die Bearbeitung und Auswertung dieser Hilfsmittel (inkl. Rückanalysen) konnte das Prognosemodell bzw. die Kurzzeitprognose aufgrund der Befundverhältnisse während des Vortriebs laufend aktualisiert werden und somit als Grundlage für die Wahl der Sicherungstypen zugrunde gelegt werden. Ähnliche Arbeitsweisen wurden mit Erfolg in anderen Tunnelbauten eingesetzt (z.B. Semmering Basistunnel [10]).

Jedes Gebirge hat eine unterschiedliche Beschaffenheit (Petrografie, strukturgeologische Elemente, Gebirgsüberlagerung, Gesteinsparameter u.a.), deshalb sind Vergleiche zwischen Tunnelprojekten vorsichtig vorzunehmen, da selbst innerhalb desselben Tunnels grosse Unterschiede in Abhängigkeit der Felsverhältnisse vorliegen können. Die Chancen für die Treffsicherheit einer Prognose sind so günstig wie die Komplexität des Gebirgsaufbaus. Wie komplex dieser Aufbau in Wirklichkeit ist, können den Fachleuten jedoch erst die Befundverhältnisse aufzeigen. In dieser Hinsicht müssen die Tätigkeiten des Geologen bei solchen Herausforderungen - und bei Untertagebauten überhaupt - weit über eine reine systematische Aufzeichnung der Untergrundverhältnisse hinausreichen. Eine intensive Zusammenarbeit zwischen Projektgeologen, Baustellengeologen und Geotechniker für den Erfahrungsaustausch, welcher für das Verständnis des Gebirgsaufbaus und dessen Verhalten entscheidend ist, ist daher unumgänglich.

Verdankungen

Der Autor bedankt sich bei AlpTransit Gotthard AG für die Benützung von Daten und Unterlagen, welche die Grundlagen für die Erarbeitung dieses Beitrags gebildet haben.

Ebenfalls möchte der Autor allen Beteiligten der örtlichen Bauleitung (IG ITC-Itecsa-Toscano) und insbesondere des Baustellengeologenteams des CBT (J.-P. Hürzeler und Dr. P. F. Erard) für die erfolgreiche und konstruktive Zusammenarbeit seinen Dank ausrichten.

Weiterer Dank sei schliesslich allen weiteren Reviewern für die kritische Begutachtung des Beitrags ausgerichtet.

Literaturverzeichnis / Referenzen

[1] AlpTransit San Gottardo SA 2008: Settore Galleria di base del Ceneri, Comparto Ceneri – Elemento contrattuale Lotto 852, Documentazione completa, 29.02.2008. Unveröffentlicht.

[2] AlpTransit San Gottardo SA 2008: Settore Galleria di base del Ceneri, Comparto Ceneri – Elemento contrattuale Lotto 852, IIIB-2 – Rapporto geologico – Contenitore 1, Documenti 1 – 34, 29.02.2008. Unveröffentlicht.

[3] AlpTransit San Gottardo SA 2017: Settore Galleria di base del Ceneri, Comparto Ceneri Lotto 852 - Rapporto geologico conclusivo parte 1 – Avanzamento Gneiss Giumello e Linea Val Colla, 28.03.2017. Unveröffentlicht.

[4] AlpTransit San Gottardo SA (in prep): Settore Galleria di base del Ceneri, Comparto Ceneri Lotto 852 - Rapporto geologico conclusivo parte 3 – Avanzamento Zona Ceneri Nord e Intermedia.

[5] Goricki, A., Button, E., Schubert, W., Poetsch, M., & Leitner, R. 2005: The influence of Discontinuity Orientation on the Behaviour of Tunnels. Felsbau 23 (5), 12–18.

[6] Eichler, K. 2007: Fels- und Tunnelbau II. Expert-Verlag, Renningen-Malmsheim, ISBN 3-8169-2632-0.

[7] Ziegler, H. J. 2008: Die Detektionseffizienz von Vorausbohrungen im Tunnelbau. Geomechanics and Tunnelling 1/5, 431-435.

[8] Bergmeister, K., & Töchterle, A. 2013: Brenner Basistunnel: Wichtigkeit der Vorerkundung. Tunnel 1, 12–23.

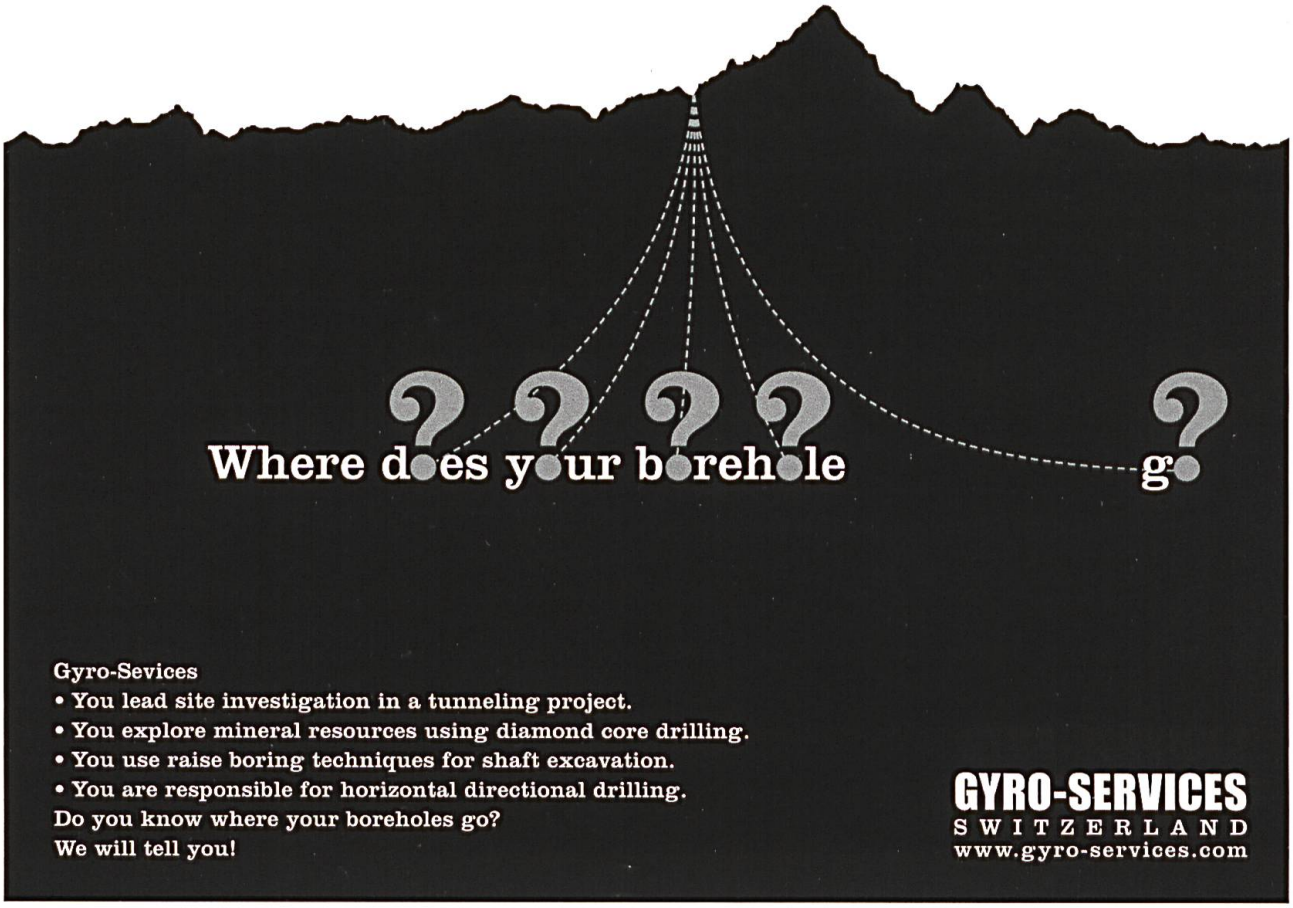
[9] Schubert, W., & Davila Mendez, J. M. D. 2017: Influence of foliation orientation on tunnel behavior. Procedia Engineering 191, 880-885.

[10] Lenz, G., Kluckner, A., Holzer, R., Stadlmann, T., Schachinger, T., & Gobiet, G. 2017: Prediction of fault zones based on geological and geotechnical observations during tunnel construction. Geomechanics and Tunnelling 10/4, 366-379.

[11] Brandtner, M. Lenz, G. 2017: Checking the system behavior using a numerical model. Geomechanics and Tunnelling 10/4, 353-365.

[12] Moritz, B., Pilgerstorfer, T. Pointner, P. 2017: Koralm Tunnel contract KAT3 – System behaviour in a geotechnically challenging environment. Geomechanics and Tunnelling 10/5, 447-457.

[13] Poisel, A., Weigl, J., Schachinger, T., Vanek, R., & Nipitsch, G. 2017: Semmering Base Tunnel – Excavation of the emergency station in complex ground conditions. Geomechanics and Tunnelling 10/5, 458-466.


Where does your borehole go?
Gyro-Sevices
• You lead site investigation in a tunneling project.
• You explore mineral resources using diamond core drilling.
• You use raise boring techniques for shaft excavation.
• You are responsible for horizontal directional drilling.
Do you know where your boreholes go?
We will tell you!
GYRO-SERVICES
SWITZERLAND
www.gyro-services.com