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: 21 (2016)

Heft: 2

Artikel: Gefährdungsbilder im Untertagbau

Autor: Ramoni, Marco

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-658195

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

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

Swiss Bull. angew. Geol. Vol. 21/2, 2016 S. 29-34

Gefährdungsbilder im Untertagbau

Marco Ramoni[1]

Zusammenfassung
Das Denken in Gefährdungsbildern gehört zur schweizerischen Art der Projektierung und der Ausführung von unterirdischen Bauwerken. Der vorliegende Beitrag diskutiert einige Aspekte des Denkens in Gefährdungsbildern im Untertagbau und des diesbezüglichen unabdingbaren Zusammenspiels zwischen Ingenieurgeologe und Bauingenieur.

[1] Dr. sc. dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Basler & Hofmann AG, Esslingen

1 Einleitung

Die Projektierung und die Ausführung von sicher und wirtschaftlich realisierbaren unterirdischen Bauwerken bedingen das Denken in Gefährdungsbildern als wesentlicher Bestandteil einer material-, bauwerks- und verfahrensübergreifenden Projektierungssystematik, welche eine auf der methodischen Ebene einheitliche Bearbeitung von Projektierungsaufgaben des Untertagbaus erlaubt [1].

Der vorliegende Beitrag diskutiert – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – einige Aspekte des Denkens in Gefährdungsbildern im Untertagbau. Der Schwerpunkt liegt auf dem diesbezüglich unabdingbaren Zusammenspiel zwischen Ingenieurgeologe und Bauingenieur.

2 Gefährdungsbilder

Ein Gefährdungsbild ist die «Beschreibung einer möglichen kritischen Situation oder eines unerwünschten Ereignisses für ein Bauwerk und / oder seine Umgebung in der Bau- und Nutzungsphase» [2] [3].

Die Norm SIA 197 [2] unterscheidet zwischen Gefährdungen, die mit dem Gebirgsverhalten und der Ausführung verbunden sind; Gefährdungen, die durch eine ungenügende Zuverlässigkeit der Infrastruktur während der Bewirtschaftung entstehen; und Gefährdungen, die durch Ereignisse bedingt sind [1].

Im Untertagbau ist das Gebirge gleichzeitig Bestandteil des Tragwerks, Träger des Berg-

oder Grundwassers und auszubrechendes Material. Daraus ergeben sich die grundsätzlichen Gefährdungsbilder, die bei der Ausführung von unterirdischen Bauwerken zu berücksichtigen sind: Instabilitäten (Fig. 1, Abb. links, z.B. Niederbruch), unzulässige Verformungen (Fig. 1, Abb. Mitte, z.B. zu grosse Konvergenzen des Hohlraums), unzulässiger Wasseranfall (Fig. 1, Abb. rechts, z.B. zu hohe Arbeitserschwernisse), Schwierigkeiten mit dem Abbau des Gebirges (z.B. zu hoher Verschleiss) und unzulässige Arbeitsverhältnisse (z.B. Vorhandensein von Asbest).
Die unerwünschten Ereignisse können nur das unterirdische Bauwerk (z.B. Instabilität der Ortsbrust), aber auch seine Umgebung (z.B. Tagbruch) interessieren. Die «Reichweite» eines unerwünschten Ereignisses beeinflusst massgebend die entsprechende Risikoakzeptanz: Beispielsweise sind die akzeptierbaren Verformungen eines Hohlraums in der Regel deutlich grösser als die zulässigen Setzungen an der Oberfläche.

Vor dem Ausbruch eines unterirdischen Bauwerks ist das Gebirge im Gleichgewicht (Fig. 2, Abb. 2a). Die Ausbrucharbeiten – die eigentliche Einwirkung im Untertagbau – stören dieses Gleichgewicht (Fig. 2, Abb. 2b). Falls aufgrund der Gebirgseigenschaften (Festigkeit, Steifigkeit und Durchlässigkeit) ein neues Gleichgewicht nicht möglich ist, ereignen sich unerwünschte Ereignisse (Fig. 2, Abb. 2c). Um diese zu vermeiden, sind geeignete konstruktive Massnahmen rechtzeitig einzubauen (Fig. 2, Abb. 2d).

3 Projektierung

3.1 Vorgehen

Die Projektierung eines unterirdischen Bauwerks erfolgt in mehreren, ineinander übergreifenden Schritten [2]: Entwurf, Tragwerksanalyse und Bemessung. Während die Tragwerksanalyse und die Bemessung vom Bauingenieur durchgeführt werden, respektive durchzuführen sind, ist in der ersten Phase des Entwurfs eine enge Zusammenarbeit zwischen Bauingenieur und Ingenieurgeologe gefragt.

Der Entwurf im Untertagbau beginnt mit dem Erkennen und Beurteilen der möglichen Gefährdungen für jeden Streckenabschnitt und jede Bauphase bis zum Endzustand (Fig. 3). Grundlage dafür stellt das Erfassen des Gebirges dar. Sind die Grundlagen nicht ausreichend, ist das Erfassen des Gebirges zu ergänzen, respektive zu vertiefen. Wird eine bestimmte Gefährdung als relevant beurteilt, sind geeignete tragwerkserhaltenden Massnahmen (stützende, baugrundverbessernde oder geometrische Massnahmen)

Instabilität | Unzulässige Verformungen | Unzulässiger Wasseranfall

Fig. 1: Unerwünschte Ereignisse [4] [5] [6].

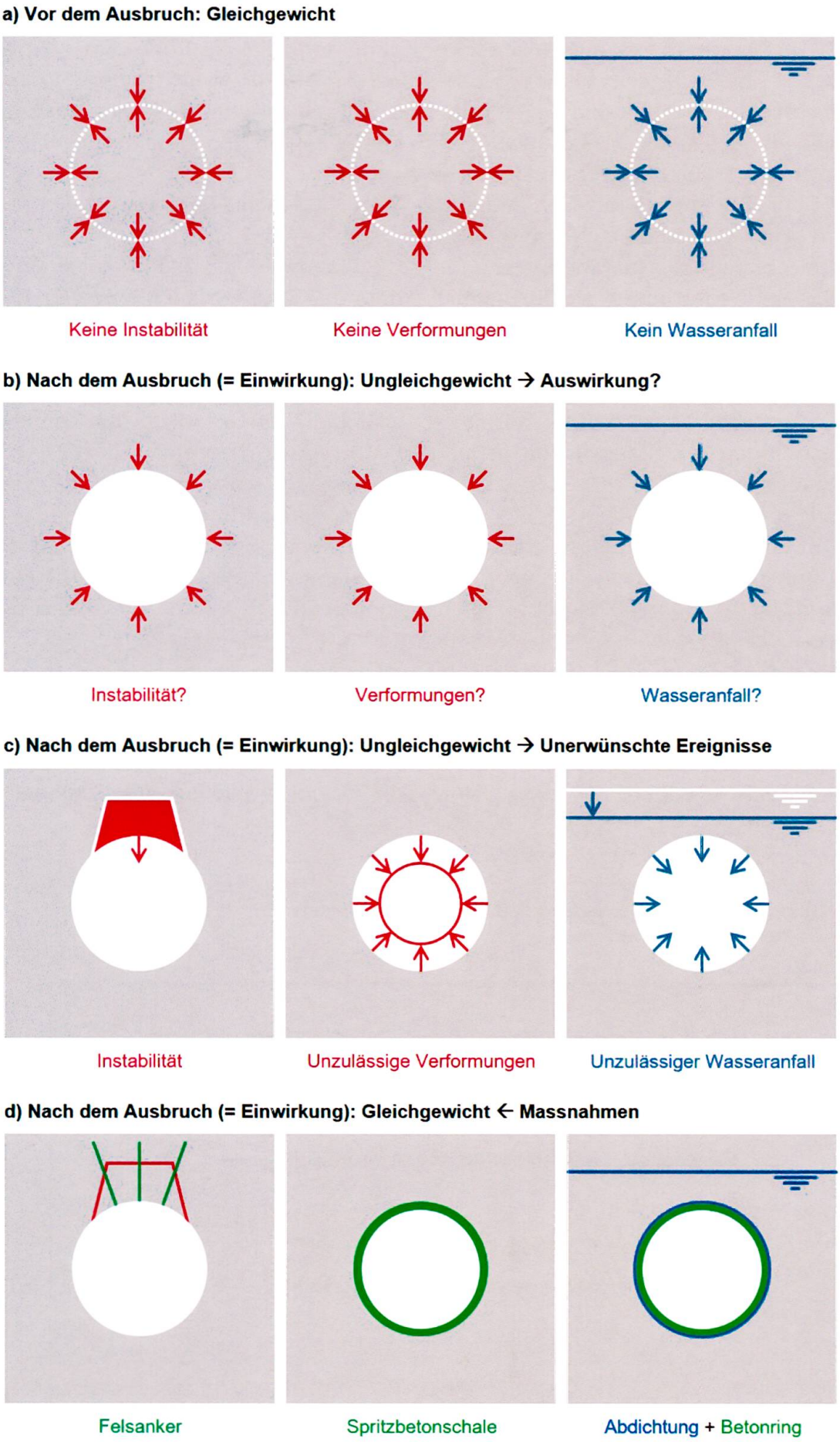

Fig. 2: Einwirkung und Auswirkung im Untertagbau.

zu wählen und deren Wirksamkeit zu beurteilen. Jede Massnahme kann zusätzliche spezifische Gefährdungen bedingen, die ebenfalls erkannt, beurteilt und denen gegebenenfalls mit geeigneten Massnahmen entgegengewirkt werden muss. Diese iterative Prozedur aus Erkennen, Beurteilen und Entschärfen von Gefährdungen wird solange wiederholt, bis ein Massnahmenpaket vorliegt, das alle relevanten Gefährdungen abdeckt sowie genügend zuverlässig und robust ist. Das Vortriebs- und Sicherungskonzept entsteht schlussendlich aus dem Vergleich (Bauzeit, Wirtschaftlichkeit, ausführungstechnische Aspekte) von gleichwertigen Alternativen [1].

Die Norm SIA 199 [3] hält fest, dass «die Beurteilung [des Gebirges] in enger Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Fachleuten erfolgt». Somit kann das Erkennen und Beurteilen von Gefährdungen – die Erarbeitung von Gefährdungsbildern – als «Schnittstelle» zwischen dem Ingenieurgeologen und dem Bauingenieur bezeichnet werden (Fig. 3). Die klare Zuordnung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten spielt dabei eine grosse Rolle. Ein offener fachlicher «Dialog» zwischen Ingenieurgeologe und Bauingenieur stellt eine unabdingbare Bedingung für den Projekterfolg dar.

3.2 Erfassen des Gebirges

Die PDie Norm SIA 199 [3] weist darauf hin, dass das Erfassen des Gebirges («Beschreibung und Darstellung der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse») – die Kernaufgabe des Ingenieurgeologen – die Grundlage für den Entwurf im Untertagbau darstellt. Aus diesem Grund soll eine phasengerechte Gebirgserkundung und -untersuchung frühzeitig in der Projektierung stattfinden. Die Mitwirkung des Bauingenieurs empfiehlt sich für die Formulierung der durch die Erkundung und Versuche zu beantwortenden Fragen.

Wie in der Norm SIA 197 [2] festgehalten, «legt die Norm SIA 199 [3] die wesentlichen Begriffe fest und beschreibt die Unterlagen, die für eine zweckdienliche Dokumentation

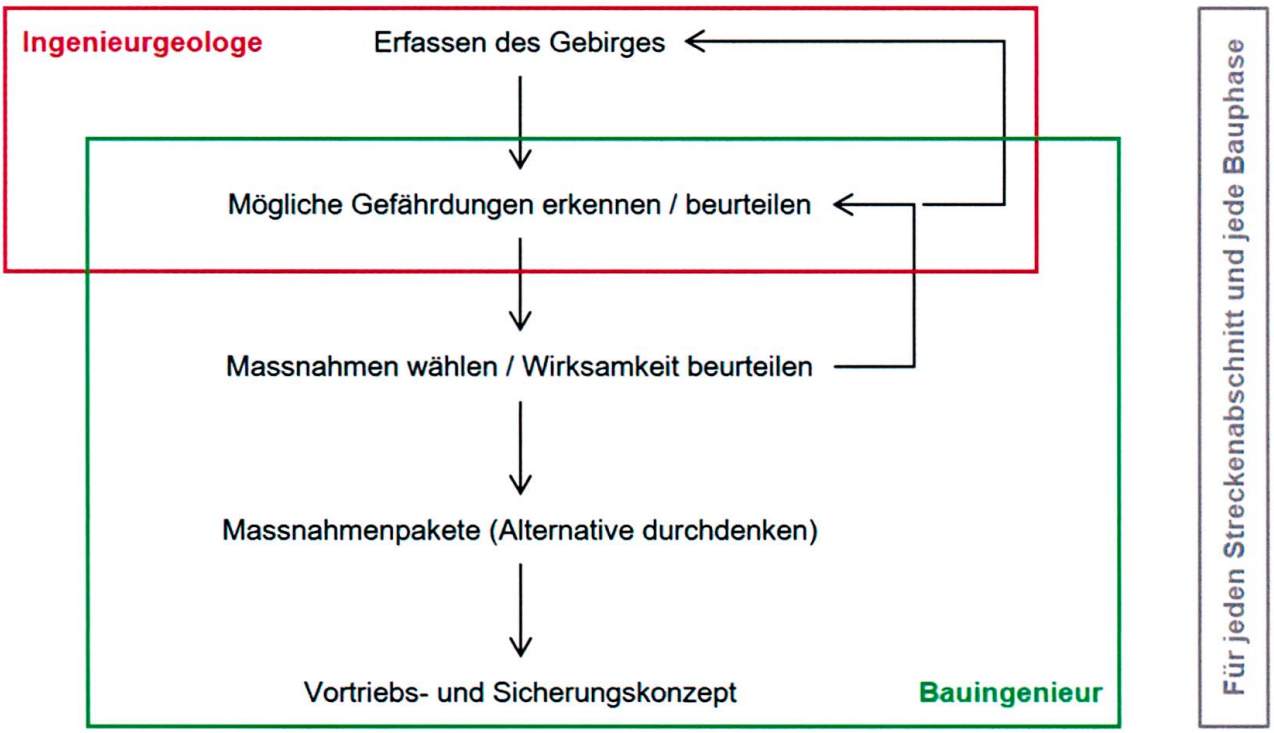

Fig. 3: Vorgehen bei der Projektierung von unterirdischen Bauwerken und Rollenzuteilung.

notwendig sind.» Die Erfahrungen im Berufsalltag bestätigen, dass eine einheitliche Darstellung des Erfassens des Gebirges nach der Norm SIA 199 [3] eine klare und einfache Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten begünstigt.

Eine klare Unterscheidung zwischen Eigenschaften des Gesteins und der Trennflächen – wie ebenfalls von der Norm SIA 199 [3] vorgesehen – ist von grosser Bedeutung für die Beurteilung der Gefährdungen, da je nach Gefährdungsbild das Gestein (z.B. unzulässige Sohlhebung aufgrund der Quellfähigkeit des Gesteins) oder die Trennflächen (z.B. Niederbruch aufgrund ungünstiger Raumstellung, Abstand und Erstreckung der Trennflächen) massgebend sein können.

Die Norm SIA 199 [3] verlangt zudem eine klare Unterscheidung zwischen Fakten und Interpretation: «Es ist klar zu unterscheiden zwischen Beschreibung und Beurteilung des Gebirges. (…) Die Herkunft sämtlicher Daten ist nachvollziehbar zu dokumentieren. Es ist dabei klar zu unterscheiden, ob es sich bei den Angaben um Feld- oder Laboruntersuchungen, um Literaturangaben oder Angaben aus vorhandenen geologischen Unterlagen, um Erfahrungswerte von vergleichbaren Untersuchungen oder um Schatzungen oder Vermutungen handelt.» Diese Unterscheidung ist sehr wichtig für die Projektierung, da nur unter Berücksichtigung der Prognoseunsicherheit robuste Lösungen gewählt werden können. Diesbezüglich ist auch zu vermerken, dass die Anwendung von Klassifikationssystemen aufgrund von Indexwerten für die Beschreibung oder sogar die Beurteilung des Gebirges (z.B. GSI, Q, RMR) nicht geeignet ist, da solche Klassifikationssysteme eine nicht-existente Prognosesicherheit vortäuschen [1]. Sie finden daher keine Berücksichtigung in den SIA-Normen.

Die Prognoseunsicherheit stellt ein wichtiger Projektierungsparameter dar. Aus diesem Grund ist «in den Berichten auf erkannte Lücken in den zur Verfügung stehenden Informationen und auf eine allfällige Unvollständigkeit der Daten hinzuweisen» [3]. In Fig. 4 ist die ganze Bandbreite der Geologie der Schweiz mit einem schwarzen Balken visualisiert. Innerhalb dieser Bandbreite prognostiziert der Ingenieurgeologe die für ein bestimmtes Projekt zu erwartende Geologie (grüne Fläche) und die dazugehörige Unsicherheit der Prognose (orange Flächen). In diesem Zusammenhang soll der Dialog zwischen Ingenieurgeologe und Bauingenieur vermeiden, dass infolge Kommunikationsproblemen Sicherheitszuschläge (rote Flächen) unbegründet oder kumuliert eingebaut werden, welche die Geologie dermassen verschlechtern und von der Realität entfernen, dass sogar die technische oder die finanzielle Machbarkeit eines Projektes in Frage gestellt werden.

4 Ausführung

Das Wissen über den Aufbau, die Beschaffenheit, die Eigenschaften und das Verhalten des Gebirges wird oft nur während der

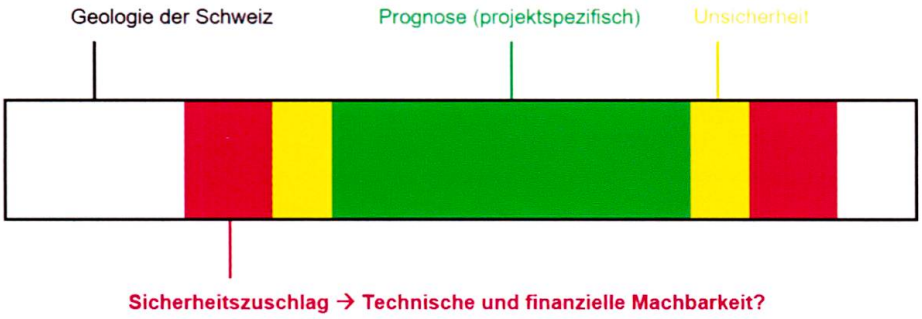

Fig. 4: Genauigkeit der geologischen Prognose.

Vortriebsarbeiten vervollständigt. Somit ist die Weiterführung der Projektierung während der Ausführung erforderlich, um das Bauwerk an die effektiv angetroffenen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse anzupassen. Dies ist insbesondere wichtig, falls in der Projektierungsphase keine technische Lösung gefunden werden konnte, die unempfindlich auf innerhalb der erwarteten Bandbreite sich ändernden Gebirgsbedingungen reagiert und somit trotz wechselhafter Geologie und Hydrogeologie sicher und wirtschaftlich ist.

Aus dem obigen Grund soll der offene fachliche Dialog zwischen Ingenieurgeologe und Bauingenieur auch während der Ausführung weitergeführt werden. Einerseits gilt das effektiv angetroffene Gebirge zu erfassen (gegebenenfalls sind Vorauserkundungen während des Vortriebs erforderlich [7]) und zu beurteilen, ob die in der Projektierung getroffenen Annahmen zutreffend sind. Auf dieser Basis werden aus dem projektierten Massnahmenkatalog die einzubauenden Massnahmen gewählt. Andrerseits geht es darum, im Rahmen des Risiko- und Ereignismanagements unter klarer Zuordnung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten mit allen anderen Projektbeteiligten (Bauherr, Unternehmer, Behörde) zusammenzuarbeiten, um im Ereignisfall möglichst schnell und richtig zu reagieren.

5 Schlussbemerkungen

Das Denken in Gefährdungsbildern gehört zur schweizerischen Untertagbau-Kultur und ist systematisch im schweizerischen Normenwerk für die Projektierung und die Ausführung von unterirdischen Bauwerken verankert. Diese Denkweise hat sich im Laufe der Jahre ausserordentlich bewährt und wurde bereits von anderen Ländern übernommen [1]. Es ist zudem nicht zu bezweifeln, dass auch dank dieser systematischen Denkweise die Sicherheit auf den Untertagbaustellen in der Schweiz deutlich erhöht werden konnte, so dass immer wenige gebirgsbedingte Unfälle zu verzeichnen sind.

Die Zusammenarbeit – der offene fachliche «Dialog» – zwischen Ingenieurgeologe und Bauingenieur spielt dabei eine zentrale Rolle, zumal die Gefährdungsbilder die «Schnittstelle» in der Planungsarbeit beider Berufsgattungen darstellen.

Literatur

[1] Anagnostou, G. & Ehrbar H. 2013: Das Bauen unter Tage in der Schweiz und die Tunnelnormen. Tunnelling Switzerland, 10–41, vdf Hochschulverlag AG Zürich.

[2] Schweizer Norm SN 505 197 / SIA 197, 2004: Projektierung Tunnel – Grundlagen.

[3] Schweizer Norm SN 531 199 / SIA 199, 2015: Erfassen des Gebirges im Untertagbau.

[4] Amberg, F. 2007: Risiken beim Bau von Kavernen – Beispiele von Beles und Ponte de Pedra. ETH-Kolloquium "Bergmännisches Auffahren von grossen Querschnitten", Zürich, 13.12.2007.

[5] Kovári, K., Amberg, F., & Ehrbar, H. 2001: Maitrise du rocher poussant dans le tunnel de base du Gotthard. Tunnels et ouvrages souterrains 2001 (164), 55–60.

[6] Holter, K. G. 2008: Vorinjektionen für Wasserabdichtung und Gebirgsverfestigung im Tunnelbau – Neue Erfahrungen mit Mikrozementen und kolloidalem Silika. ETH-Kolloquium «Bauhilfsmassnahmen im Tunnelbau», Zürich, 11.12.2008.

[7] Schweizer Norm SN 531 198 / SIA 198, 2004: Untertagbau – Ausführung.