

Empfehlungen für Planung und Bau von Verkehrswegen in karst- und erdfallgefährdeten Gebieten

Von Rudolf Pöttler und Peter Wegerer

Verkehrswegen in karst- und erdfallgefährdeten Gebieten stellen hohe Anforderungen an den Bauherrn, die Planer und die ausführenden Firmen. Bei der Projektierung ist davon auszugehen, dass die Karststrukturen im Voraus nicht im Detail erkundet werden können. Dies bedingt eine flexible Maßnahmenplanung für die Erstellung des Bauwerks, für die Ertüchtigung des Baugrunds und für Verstärkungen der Konstruktion, einen darauf aufbauenden Bauvertrag sowie eindeutig definierte Verantwortlichkeiten in der Planung.

Aufgrund der komplexen Fragestellung hat sich die Einrichtung eines Arbeitskreises Karst als zielführend erwiesen. Der Arbeitskreis setzt sich aus Vertretern des Bauherrn, des Planers und der Bauüberwachung, dem Sachverständigen Baugrund und dem Sachverständigen Feste Fahrbahn, sofern relevant, zusammen. In diesem Arbeitskreis werden die einzelnen karstbezogenen Aktivitäten koordiniert und die einzelnen Maßnahmen auf breiter Basis abgestimmt.

Erkundung des Baugrunds

Für die Erkundung des Baugrunds wird ein Stufenkonzept (Bild 1) vorgeschlagen (1), wobei zwischen der Erkundung vor Beginn der Baumaßnahme und während der Bauarbeiten (während und nach dem Vortrieb bei Tunnelbauwerken) zu unterscheiden ist.

Die Erkundung vor Beginn der Baumaßnahme soll den Verlauf der Felsoberfläche, Schwächezonen, Zonen starker Verkarstung und die mögliche Ausbildung der Karststrukturen erfassen. Die direkten Aufschlüsse der Felderkundungen (Bohrungen) können abhängig von den geologischen und topographischen Randbedingungen durch indirekte Verfahren (Geophysik) ergänzt werden. Zu berücksichtigen dabei ist, dass das Auflösungsvermögen der geophysikalischen Methoden mit zunehmender Tiefe stark abnimmt. Der Wissenszugewinn und die damit verbundenen Einsparungspotenziale infolge präziserer Planung müssen dem Aufwand für die Erkundung gegenübergestellt werden.

Recommendation for the Design and Construction of Traffic Routes in Karst-Geology

Traffic routes in karst- and sinkhole-prone areas make great demands on clients, designers and contractors. During project planning it is to be assumed that a detailed advance exploration of the karst structures is unrealistic. A satisfactory description of the ground conditions and subsequently a sufficient design hence will not be possible. This means that a precise time scheduling will be difficult and precautions will have to be taken for adaptive measures during construction. This is especially true for tunnel and open cut areas for which – due to the overburden – an in-depth exploration does not appear to be reasonable neither technically nor economically. Any such investigation would require the construction of a continuous pilot tunnel prior to the tendering of the main tunnel. This pilot tunnel would be subject to the same elements of uncertainty and a decision whether it would be economically justified could only be taken for every individual case. It mainly depends on the tunnel length, the size of the tunnel cross-section, and the level of uncertainty associated with the karst structures.

Already during the design stage, hazard scenarios are developed based upon which corresponding structural measures are designed to serve as standard strategy. This applies to both the excavation phase, for which a package of measures shall be elaborated to ensure a trouble-free tunnel advance, as well as the design of the inner lining, for which ground improvement measures such as

the filling of voids or the strengthening of rock pillars shall be planned for karst structures which may be of relevance to the project. By adopting this approach, the required measures may also be included in the respective bill of quantity items.

Verkehrswegen in karst- und erdfallgefährdeten Gebieten stellen hohe Anforderungen an den Bauherrn, die Planer und die ausführenden Firmen. Bei der Projektierung ist davon auszugehen, dass die Karststrukturen im Voraus nicht im Detail erkundet werden können. Daher sind eine vollständige Beschreibung des Baugrunds und in der Folge eine detaillierte Planung nicht möglich. Dies bedeutet, dass eine Anpassung der Baumaßnahmen im Zuge der Ausführung vorgesehen werden muss. Dies gilt vor allem für Tunnel- und Einschnittsbereiche, in denen aufgrund der Überdeckung ein detaillierter Aufschluss technisch und wirtschaftlich nicht möglich ist.

Bereits während der Planung werden Gefährdungsbilder erstellt und daraus entsprechende bauliche Maßnahmen als Standardkonzepte abgeleitet. Dies gilt sowohl für die Vortriebsphase, für die ein Maßnahmenkatalog erarbeitet wird, der das problemlose Auffahren des Tunnels gewährleistet, als auch für die Ausführung der Innenschale, für die eine Verstärkung der Konstruktion oder Ertüchtigungsmaßnahmen wie Verfüllungen von Hohlräumen oder Verstärken von Gebirgspeilern bei bauwerksrelevanten Karststrukturen geplant werden. Somit ist eine Erfassung der Maßnahmen in den Positionen des Leistungsverzeichnisses möglich.

In Ausnahmefällen kann es bei Tunnelbauwerken wirtschaftlich und technisch sinnvoll sein, einen Erkundungsstollen vor Beginn der Baumaßnahme zur detaillierten Erkundung vorzutreiben. Die Entscheidung zur Anordnung eines Erkundungsstollens hängt insbesondere von der Tunnellänge, der Größe der Querschnitte, dem Ausmaß der erwarteten Unsicherheiten und den zeitlichen Randbedingungen zur Realisierung des Bauwerks ab. Für den Vortrieb des Erkundungsstollens bestehen dieselben Unsicherheiten wie für die Errichtung der Hauptbaumaßnahme, diese können jedoch in der Regel durch den vorhandenen kleineren Querschnitt leichter beherrscht werden. Ein wesentlicher Vorteil bei der Anordnung des Erkundungsstollens ist, dass bei optimaler Situierung die gesamte notwendige Karsterkundung nach Abschluss der Herstellung des Erkundungsstollens durchgeführt werden kann, sodass eine exakte Planung des endgültigen Bauwerks möglich ist und zwischen Fertigstellung der Außenschale und Einbau der Innenschale kein weiterer Erkundungsschritt einzuführen ist.

Basierend auf historischer Erkundung, karstmorphologischer Kartierung und Felderkundungen werden Szenarien möglicher Karststrukturen erarbeitet. Für diese im Vorfeld der Baumaßnahme definierten Szenarien sind Standardplannungen (Bild 2) zu erarbeiten, die in die Ausschreibung aufgenommen und mit den Prüfingenieuren und den Genehmigungsbehörden abgestimmt werden. Damit wird gewährleistet, dass bei Antreffen von Karststrukturen Maßnahmen definiert sind, die ohne aufwendige und lang andauernde Genehmigungsprozeduren umgesetzt werden können. Somit werden Stillstände auf der Baustelle vermieden.

Während des Vortriebs werden die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse und Karststrukturen im Hohlraumbereich dokumentiert. Die laufende Erkundung während des Tun-

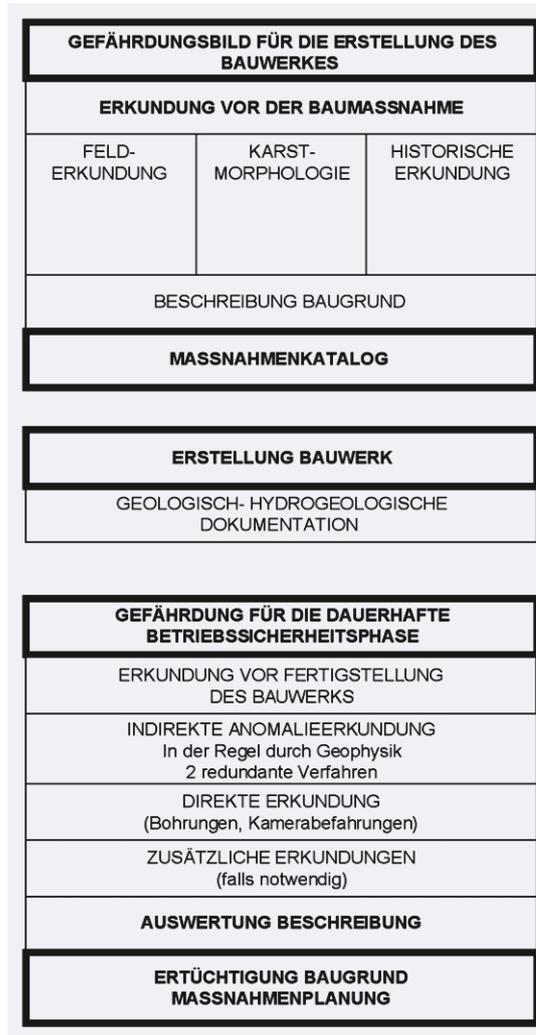
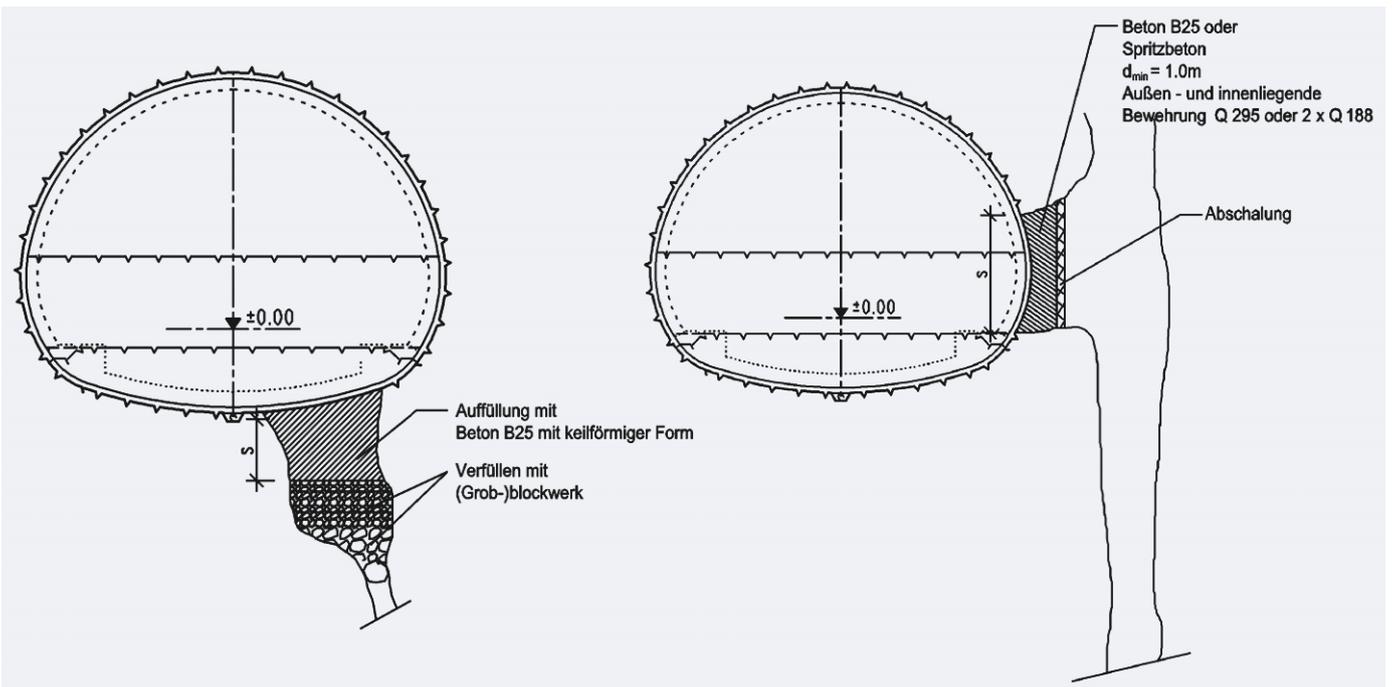


Bild 1 Stufenkonzept zur Beherrschung der Karst- und Erdfallproblematik (ohne Anordnung eines Erkundungsstollens). **Fig. 1** Step-by-step concept aimed at solving karst and sinkhole problems.

nelvortriebs oder der Herstellung des Einschnitts (Vorauserkundungsbohrungen, Geophysik von der Ortsbrust oder aktuellen Einschnittsohle aus) ermöglicht das rechtzeitige Erkennen größerer Karststrukturen und trägt damit bei, die geplanten Maßnahmen auf die Örtlichkeit abzustimmen, und gewährleistet einen sicheren Bauablauf (2).

Bild 2 Beispiele für konzeptionelle Maßnahmen bei Antreffen einer Karststruktur im Tunnelvortrieb.

Fig. 2 Examples of conceptual support measures during tunnel excavation in karst structures.



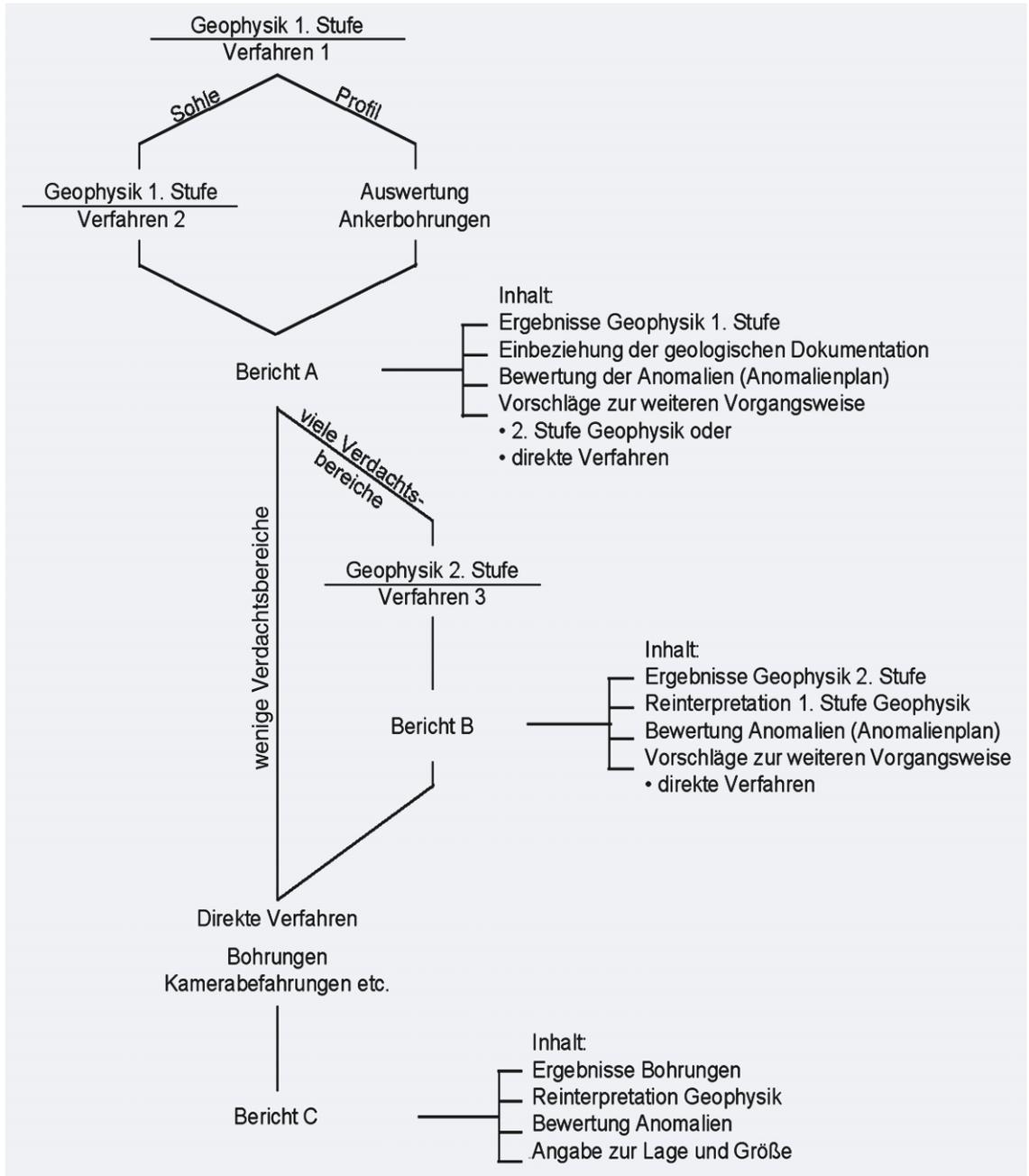


Bild 3 Beispielhaftes Flussdiagramm für den Ablauf indirekte und direkte Erkundung.

Fig. 3 Flowchart for exploration using indirect and direct methods.

Für die Betriebssicherheit des Bauwerks sind die außerhalb des aufgefahrenen Bauwerksbereichs vorhandenen Karststrukturen maßgebend. Mit numerischen Parameterstudien wird festgestellt, welche Karststrukturen in welchem Abstand zur Tunnelröhre, zur Dammaufstandsfläche beziehungsweise zur Einschnittsohle für die Bauwerkssicherheit relevant sind (3, 4). Auf dieses Ergebnis sind die detaillierten weiteren Erkundungen abzustimmen, die ausreichend rechtzeitig vor Errichtung des endgültigen Bauwerks abzuwickeln sind.

Die Erkundung erfolgt vorzugsweise durch eine Kombination von indirekten und direkten Verfahren. Mit vergleichsweise preiswerten indirekten (geophysikalischen) Verfahren werden der Bauwerksbereich gesamthaft untersucht und Verdachtsflächen ausgewiesen. Diese werden zielgenau mit den aufwendigeren direkten Aufschlüssen (Bohrungen, Kamerabefahrungen) ve-

rifiziert und ihre geometrischen und geomechanischen Eigenschaften bestimmt.

Die Auswahl der geophysikalischen Verfahren richtet sich nach den geologisch-hydrogeologischen Verhältnissen und baubedingten Randbedingungen, zum Beispiel Ausbildung einer bewehrten Außenschale, und dem Bauablauf sowie nach dem Erkundungsziel (5). Um das bestehende Spezialwissen der Fachfirmen auf dem Gebiet der Geophysik zu nutzen, wird zweckmäßigerweise frühzeitig eine Auswahl der dafür infrage kommenden Unternehmen durchgeführt. Dazu eignet sich eine funktionale Leistungsanfrage mit der Forderung, dass der Bieter das geforderte Leistungsbild in einer repräsentativen Teststrecke nachweisen muss.

Um eine in sich geschlossene Aussage über die bauwerksrelevanten Karststrukturen zu erhalten, werden vorzugsweise die Ausführung der indirekten Methoden (Geophysik) und die direk-

ten Aufschlüsse (Bohrungen mit Kamerabefahrungen) an dieselbe Unternehmensgruppe vergeben. Zur Interpretation der Ergebnisse der direkten und indirekten Methoden müssen die Ergebnisse aller vorhergehenden Erkundungen (historische Erkundung, Luftbilder) und geologisch-hydrogeologische Bauwerksdokumentationen mit einbezogen werden.

Nach Auswertung der Erkundungen mit Definition der Karststrukturen in Größe und Lage werden Ertüchtigungsmaßnahmen am Bauwerk oder am Baugrund durchgeführt (1, 3, 4).

Bauvertrag

Art des Bauvertrags

Die Karststrukturen können in den meisten Fällen vor Abschluss des Bauvertrags nicht derart ausreichend definiert werden, dass eine detaillierte Planung und damit verbunden eine unveränderliche Terminplanung und Leistungsbeschreibung möglich ist. Dies liegt daran, dass die Karststrukturen äußerst komplex in Geometrie und Füllung ausgebildet sind und dass eine Erkundung im Vorfeld mit ausreichender Sicherheit wirtschaftlich nicht oder nur mit einem Erkundungsstollen möglich ist. Neben der qualitativen Ausbildung der Karststrukturen ist auch deren Häufigkeit nicht a priori festlegbar. Daher ist es erforderlich, den Bauvertrag derart zu gestalten, dass eine Anpassung der Mengen und Maßnahmen möglich ist (2, 6). Dies bedingt das Aufstellen eines Leistungskatalogs, der die Grundlage des Bauvertrags und die spätere Durchführung der Arbeiten bildet.

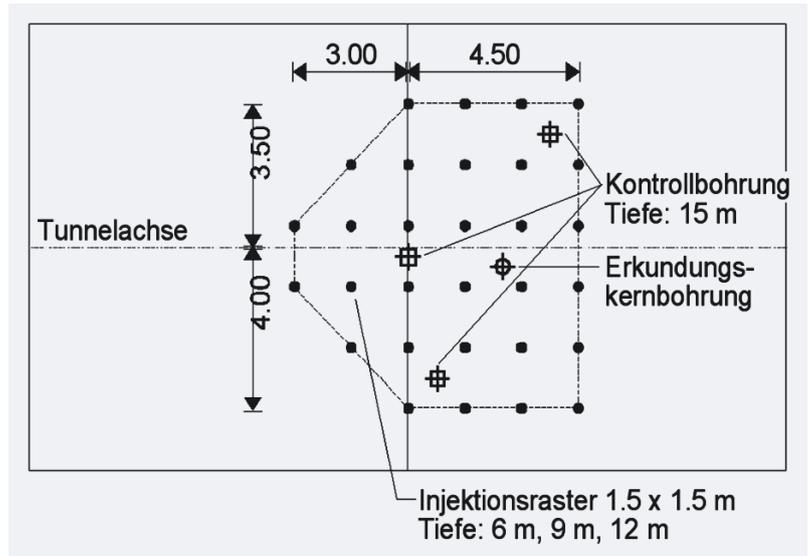
Planungsverantwortung

Aufgrund der Verantwortung des Bauherrn für den Baugrund ist es aus wirtschaftlichen Gründen vorzuziehen, die Vortriebsplanung durch einen Planer im Auftrag des Bauherrn abzuwickeln. Da der endgültige Ausbau, der die dauerhafte Betriebssicherheit garantiert, auf die Lasten abzustimmen ist, die der vorläufige Ausbau aufgenommen hat, ist es zweckmäßig, auch diese Planung von Seiten des Bauherrn erstellen zu lassen.

Bei dieser Vorgehensweise übernimmt der Bauherr nicht mehr Verantwortung, als er ohnehin im Sinn der zur Verfügungstellung des Baugrunds bei jeder anderen Aufteilung der Planungsverantwortung auch übernimmt. Zudem hat diese Vorgehensweise den Vorteil, dass die durch den Bauherrn von Projektbeginn an eingeschalteten Planer und Gutachter in der Regel den Baugrund besser als jeder andere kennen und damit technisch und wirtschaftlich die optimalen Lösungsansätze für die jeweilige Problemstellung zu erwarten sind.

Bauausführung

Bei der Terminplanung der Bauausführung ist auf den Zeitbedarf für die Erkundungs- und Ertüchti-



gungsmaßnahmen während der Bauabwicklung Rücksicht zu nehmen. In Bild 3 ist beispielhaft der Ablauf der indirekten Erkundung mit direkten Aufschlüssen in einem Flussdiagramm dargestellt. Aus diesem Ablauf ist ersichtlich, dass ein erheblicher Zeitbedarf für die Erkundung, Auswertung und Berichterstattung erforderlich ist. Erschwerend kann bei der Durchführung der Erkundung der Umstand wirken, dass bestimmte geophysikalische Verfahren absolute Ruhe erfordern, das heißt keinen Baubetrieb in unmittelbarer Nähe der Messungen zulassen.

Neben den Zeiträumen für die Durchführung der Erkundungen sind auch Zeiten für die Planung, Prüfung und Genehmigung einzurechnen. Die Maßnahmen können von einfachen Injektionen des Baugrunds (Bild 4) über aufwändige

Bild 4 Ertüchtigung des Baugrunds durch ein Raster von Injektionen.

Fig. 4 Ground improvement by systematic grouting.

INGENIEURBÜRO LAABMAYR & PARTNER ZT GmbH

FELSBAU • TUNNELBAU
GRUNDBAU • BAUSTATIK

DIPL.-ING. FRANZ LAABMAYR DIPL.-ING. MANFRED EDER

Preishartweg 4
A - 5020 Salzburg
Austria

Telefon (+43/662) 43 07 03 - 0
Telefax (+43/662) 43 07 03 - 33
e-mail laabmayr-sbg@aon.at

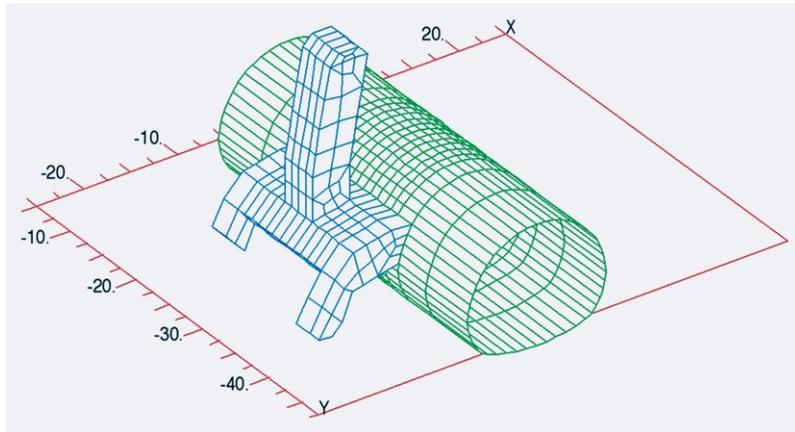


Bild 5 Numerisches Modell zur Festlegung der Ertüchtigung Bauwerk/Baugrund.

Fig. 5 Numerical model for decision on ground and lining improvement.

dreidimensionale Nachweise von Bauwerk und Gebirge (Bild 5) bis hin zu Maßnahmen reichen, die nur von Spezialfirmen ausgeführt werden können. Beispiele dafür sind Injektionsverfahren zur Harmonisierung von großflächigen Karststrukturen.

Besonderes Augenmerk ist auf Ertüchtigungsmaßnahmen zu legen, für die keine zugelassenen Baustoffe eingesetzt werden können oder für die spezielle Maßnahmen, zum Beispiel in Zusammenhang mit Einschränkungen und Veränderungen von Wasserwegsamkeiten, notwendig sind. In diesem Fall sind umfangreiche Zeiten für die Erlangung der notwendigen Genehmigungen einzuplanen. In logischer Konsequenz sollten daher solche Maßnahmen auf das absolute Minimum beschränkt und ihre Planung frühzeitig in Angriff genommen werden.

Folgerungen

Nur wenn von vornherein die Karst- und Erdfallproblematik richtig eingeschätzt wird, werden die entsprechenden Instrumentarien im Planungs- und Ausführungsprozess rechtzeitig und

fachlich richtig erfasst sein, damit Infrastrukturprojekte bei derartig schwierigen geologischen Verhältnissen wirtschaftlich abgewickelt werden können. „Rechtzeitig“ bedeutet, dass die notwendigen Abläufe, deren Qualität und Bauzeiten im Bauvertrag geregelt sind. „Fachlich richtig“ bedeutet, dass der Bauvertrag und die darin enthaltene Risikoteilung, Planungsverantwortung und Abrechnungsmodalitäten den schwierigen geologischen Verhältnissen angepasst sind, sodass er ohne kontraproduktive Diskussionen abgewickelt werden kann. Es ist dabei dem Umstand Rechnung zu tragen, dass der Bauherr den Baugrund zur Verfügung stellt, der in der notwendigen Tiefenschärfe vor Inangriffnahme des Bauwerks nicht ausreichend erkundet werden kann.

Quellennachweis

1. Pöttler, R.; Schneider, V.; Rehfeld, E.; Quick, H.: *Grundkonzept zur Lösung der Karst- und Erdfallproblematik für den Bau von Verkehrswegen*. In: Felsbau 20 (2002), Nr. 3, S. 10-21.
2. John, M.; Strappler, G.: *Maßnahmen für den Tunnelvortrieb im verkarsteten Gebirge der NBS Nürnberg-Ingolstadt*. In: Felsbau 21 (2003), Nr. 1, S. 22-27.
3. Mattle, B.; John, M.; Spiegl, A.: *Numerische Untersuchungen für den Tunnelbau im verkarsteten Gebirge*. In: Felsbau 21 (2003), Nr. 1, S. 29-34.
4. Rehfeld, E.; Mattle, B.: *Sicherung von Eisenbahnfahrwegen in verkarsteten und erdfallgefährdeten Gebieten*. In: Felsbau 21 (2003), Nr. 1, S. 35-41.
5. Radinger, A.; Scheibe, R.; Lehmann, B.; Kaus, A.: *Die Geophysik im Einsatz zur Karst- und Erdfallerkundung im Zuge von Hochleistungstrecken*. In: Felsbau 21 (2003), Nr. 1, S. 42-49.
6. John, M.: *Sharing of risks under changed ground conditions in design/build contracts*. Tunnels for People. World Tunnel Congress '97, S. 763-768. Rotterdam: Balkema, 1997.

Autoren

Dr. Rudolf Pöttler (E-Mail rudolf.poettler@ibk.ilf.com), ILF – Beratende Ingenieure ZT GmbH, Innsbruck, Framsweg 16, A-6020 Innsbruck, Österreich, Dipl.-Ing. Peter Wegerer (E-Mail peter.wegerer@db-pvb.de), DB Projekt Verkehrsbau GmbH, Nürnberg, Oedenberger Straße 55, D-90491 Nürnberg, Deutschland

Felsbau

Rock and Soil Engineering

Fachzeitschrift für Ingenieur-geologie, Geomechanik und Tunnelbau

Erscheint sechsmal jährlich, davon je dreimal in deutscher und englischer Sprache

Herausgeber:
Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG) und Verlag Glückauf

Jahresabonnement:
62,80 EUR (empfohlen) einschließlich Versandkosten

Die führende österreichisch-deutsche Fachzeitschrift enthält Fachbeiträge aus dem internationalen Fels- und Lockergesteinsbau und berichtet über aktuelle Tunnelbauprojekte von der Erkundung über die Planung bis zur Bauausführung.

Ich möchte Felsbau abonnieren. Bitte senden Sie mir die Fachzeitschrift regelmäßig ab nächster Ausgabe zum Abopreis von 62,80 EUR.

zum Studentenpreis von 31,40 EUR (Immatrikulationsbescheinigung ist beigefügt).

Ich bin an Anzeigenwerbung in Felsbau interessiert. Bitte senden Sie mir Ihre Medieninformationen.

Bitte faxen an
(02054) 924129

Postfach 18 56 20 D-45206 Essen
Tel. +49 (0) 20 54/92 41 21
Fax +49 (0) 20 54/92 41 29
E-Mail vertrieb@vge.de
Internet www.vge.de

VGE

Verlag Glückauf Essen

Meine Anschrift _____
Datum, Unterschrift _____

im Abonnement