

Baubegleitende Karsterkundung und -sanierung in den Fels-einschnitten des Bauloses Süd

Von Ralf J. Plinninger, Thomas Amadori und Wolfgang Eckstaller

In rund 16,5 km langen Teilbaulos Süd überwindet die Neubaustrecke Nürnberg-Ingolstadt den Abstieg aus der Hochebene der Fränkischen Alb in die so genannte „Ingolstädter Senke“, die von quartären und tertiären Lockergesteinen aufgebaut wird. Die hier angetroffenen geologischen Verhältnisse sind überaus komplex. Nach Ablagerung im mittleren und oberen Malm wurden die den Landschaftscharakter der Fränkischen Alb prägenden Kalk- und Dolomitgesteine sehr wechselhaften Verwitterungs- und Verkarstungsprozessen ausgesetzt, die in der Oberkreide vor rund 100 Mill. Jahren begannen.

Bestandteile des Bauloses Süd sind neben insgesamt vier Tunnelbauwerken in bergmännischer Bauweise (Tunnel Geisberg, 3 289 m; Tunnel Stammham, 1 320 m), in offener Bauweise (Tunnel Denkendorf, 1 925 m) beziehungsweise in Deckelbauweise (Verlängerung Tunnel Denkendorf, 1 265 m) die zwölf Einschnitte E 1 bis

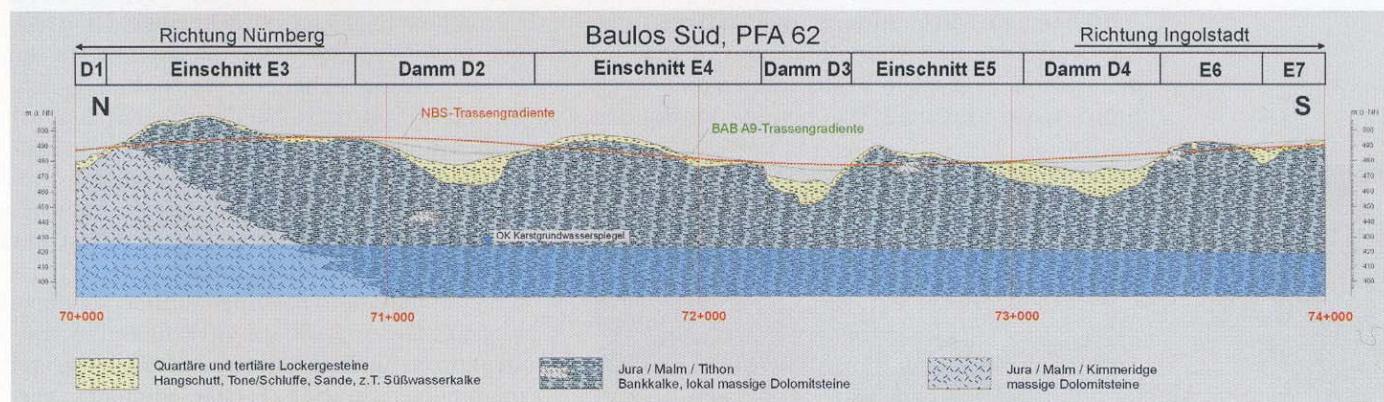
E 12, von denen die Einschnitte E 1 bis E 9 vollständig oder teilweise im aufgedeckten Karst zu erstellen waren (Bild 1).

Die im Baulos Süd anstehenden Weißjura-Gesteine sind zeitlich dem oberen Kimmeridge und Tithon zuzurechnen. Es handelt sich um massive Dolomite, die Riff-Komplexe bildeten sowie bankige Kalksteinfolgen, die in Flachwasserbereichen zwischen den Riffen abgelagert wurden. Die Bankkalkfazies ist dabei in den Felseinschnitten des Bauloses Süd anteilmäßig weit überwiegend.

Im Gegensatz zu den Gesteinen der Riff-Fazies, die nur andeutungsweise und unregelmäßig von Trennflächen durchzogen sind, ist in den Bankkalken ein relativ homogen ausgebildetes Trennflächengefüge mit mittelbankigen Schichtabständen und einem vorwiegend zweischarigen, orthogonalen Kluftsystem (Hauptstreichrichtungen NNE-SSW und WNW-SSE) mit variierenden Kluftabständen zu beobachten.

Bild 1 Schematischer geologischer Längsschnitt durch die Einschnitte E3 bis E6, Baulos Süd, fünffach überhöht.

Fig. 1 Geological cross section through open cuts E3 to E6, lot south, five times vertical exaggerated.



Detecting and Redeveloping Karst Structures in the Open Cuts of Lot South/Highspeed Railway Line Nuremberg-Ingolstadt

In its southernmost part – located between the Altmühl valley and the city of Ingolstadt – the new highspeed-railway line Nuremberg-Ingolstadt encounters jurassic limestone series. These limestones show various and inhomogeneously distributed karst phenomena. Due to the considerable impact of these structures on the long-time-reliability of the railway line, planning and construction works are strongly influenced by measures to investigate and improve the encountered rock mass. This paper deals with the problems and solutions for karst phenomena in the open cuts of the construction lot "south" of the Nuremberg-Ingolstadt highspeed railway line.

Die ICE-Neubaustrecke Nürnberg-Ingolstadt durchquert in ihrem Südabschnitt zwischen dem Altmühltal und Ingolstadt Malmkalk-Abfolgen der Fränkischen Alb. Die dieses Gebirge prägenden, sehr wechselhaft ausgebildeten Verkarstungerscheinungen sowie deren Auswirkungen auf die dauerhafte Gebrauchstauglichkeit des Fahrwegs der ICE-Strecke beeinflussen dabei die bautechnische Ausführung der Streckenbauwerke in vielfältiger und erheblicher Weise.

Der Beitrag beschäftigt sich am Beispiel der Felseinschnitte des Bauloses Süd mit den karstbezogenen Fragestellungen und den hier angewendeten praxisorientierten Lösungsansätzen, durch die die dauerhafte Stand- und Betriebssicherheit des Bauwerks auch in diesem geologisch anspruchsvollen Gebirge gewährleistet werden konnte.



Bild 2 Typische Ausbildung der Felsoberfläche im Bereich gebankter Malmkalke. Die Verkarstung folgt dem regelmäßigen Kluftsystem. Bildbreite etwa 6 m.

Fig. 2 Typical appearance of rock surface in bedded limestone series. The karst phenomena follow the regular joint system. Width of photo: approximately 6 m.

Diese generellen lithologischen Charakteristika sind auch für Umfang und Ausbildung der angetroffenen Karststrukturen von Bedeutung, da die Verkarstungsprozesse vorrangig von tektonisch vorgezeichneten Zonen besserer Wasserwegsamkeit (Klüfte, Störungen) aus in das Gebirge eingreifen. In den regelmäßig durchtrennten bankigen Kalken findet dabei vorwiegend eine korrosive Erweiterung von Klüften statt, die zur Entwicklung lang gestreckter, meterbreiter Spalten (Bild 2) und mehrere zehner Meter messender Einsturzstrukturen führen kann. In den massigen, dolomitischen Gesteinen sind die Karststrukturen dagegen unregelmäßig-schlauchförmig, sehr variabel in ihrer Größe und unsystematisch verteilt (Bild 3).

Höhenlage, Ausdehnung und Aktivität der Karstvorgänge sind in erheblichem Umfang von den hydrogeologischen Verhältnissen und deren Entwicklung abhängig: Das heutige Niveau des

in den Malmkalken anstehenden Karstwasserspiegels liegt in Tiefen von rund 50 bis 70 m unter den Einschnittsohlen (vgl. Bild 1). Die im Sohniveau der Einschnitte angetroffenen, umfangreichen Phänomene können also vorwiegend als heute inaktive Ergebnisse eines früheren, vermutlich tertiären Grundwasserstands interpretiert werden.

Gefährdungen durch Karst

Der im verkarstungsfähigen Untergrund ausgeführte Regelaufbau des Fahrbahnunterbaus ist in Bild 4 dargestellt. Aus den im Los Süd aufgetretenen Karstphänomenen ergeben sich zahlreiche potenzielle Probleme, die im Rahmen von Sicherheits- und Parameterstudien untersucht wurden. Die vor allem im Sohlbereich der Strecke sicher zu beherrschenden Risiken sind wie folgt zu konkretisieren :

- ▷ Plötzlicher Kollaps offener untätigter Strukturen: Bei diesem „worst case“-Szenario wird die Trasse durch plötzliches Versagen von im Untergrund vorhandenen, unverfüllten oder teilverfüllten Karststrukturen gefährdet. Derartige Erdfallereignisse an der Geländeoberfläche haben entsprechend schwerwiegende Konsequenzen für die Lagestabilität und Gebrauchstauglichkeit des Fahrwegs.
- ▷ Einsenkungen über offenen untätigten Strukturen: Bei diesem Gefährdungsbild treten an der Geländeoberfläche Einsenkungen durch Materialabtransport in tiefer gelegene, unverfüllte Hohlräume auf. Dieser Vorgang kann mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, die von den jeweiligen Randbedingungen wie Wassereintrag abhängen, vonstatten gehen. Die hierdurch entstehenden Oberflächenformen können von weitläufigen Senkungsmulden bis zu relativ scharf abgegrenzten Einbruchstrukturen reichen, die wiederum negative Auswirkungen auf die Lagestabilität der Festen Fahrbahn haben können.
- ▷ Lang anhaltende Setzungen über bindigen Karstfüllungen: Neben unverfüllten Karststrukturen sind im Untergrund überwiegend mit bindigen Quartär-/Tertiärsedimenten verfüllte Klüfte und Spalten unterschiedlicher Abmessungen vorhanden. Hierbei treten vorwiegend weitgestufte, meist bindige Lockergesteine (T,u*-T,u*,g,x) als Füllmaterial auf. Je nach Lage, Ausdehnung und Mächtigkeit dieser gefüllten Karststrukturen besteht die Gefahr von lang anhaltenden, für die Feste Fahrbahn unverträglichen Setzungen über diesem Material.
- ▷ Problematische Steifigkeitsdifferenzen bei lokal rasch wechselnden Gebirgseigenschaften: Infolge der dynamischen Kompression, denen Fahrbahn, Unterbau und Untergrund während des Hochgeschwindigkeitsverkehrs ausgesetzt sind, sind Steifigkeitssprünge im Baugrund als problematisch für die Langzeitinte-

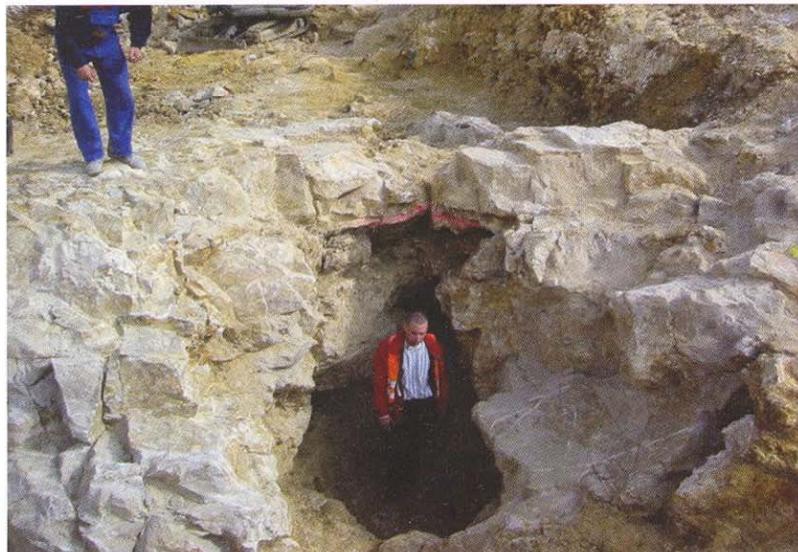
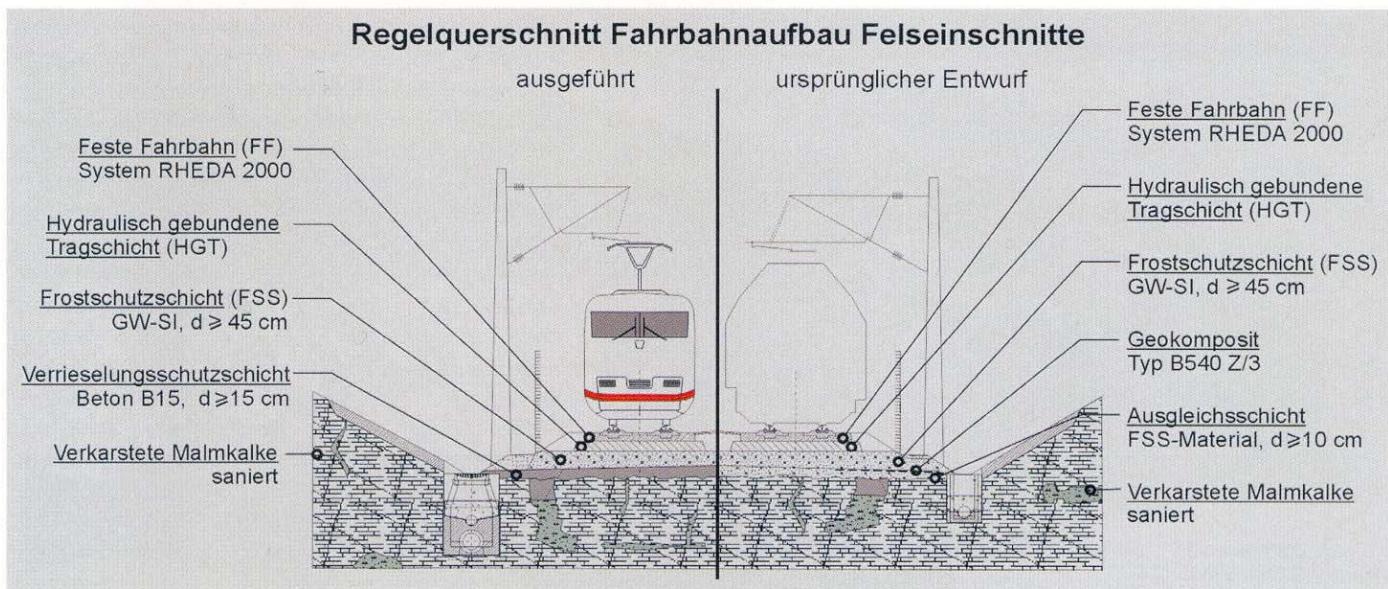


Bild 3 Typische Ausbildung der Felsoberfläche im Bereich massiger, dolomitischer Kalke. Die unregelmäßig brechenden Dolomitsteine sind zum Teil metertief von unregelmäßigen schlauchförmigen Karstspalten und Hohlräumen durchzogen. Bildbreite etwa 6 m.

Fig. 3 Typical appearance of rock surface in unstratified dolomitic limestone series. The irregularly broken rock shows irregular, pipe-shaped karst structures that reach some metres in depth. Width of photo: approximately 6 m.



grität des Streckenbauwerks einzustufen. Dies kann zum Beispiel bei kleinräumigem Wechsel von Fest- zu Lockergestein auftreten, wie es bei größeren oberflächennahen bindig verfüllten Karststrukturen im anstehenden Karbonatgestein der Fall ist.

- ⇒ Abrieseln von Material aus dem Gleisunterbau in offene Klüfte und Spalten: Dieses Gefährdungsbild gilt für Streckenabschnitte, in

denen der Unterbau der Festen Fahrbahn auf anstehendem, verkarstungsfähigem Kalkstein aufgebaut wird. Hier besteht die Gefahr, dass im Rahmen des Schienenbetriebs Frostschutzmaterial aus der Frostschutzschicht (vgl. Bild 4) in unverfüllte, oberflächennahe Klüfte und Hohlräume abrieselt. Aufgrund des so entstehenden Massendefizits unterhalb der Festen Fahrbahn können für den Fahr-

Bild 4 Aufbau des Fahrbahnunterbaus im Bereich verkarstungsfähiger Felseinschnitte.

Fig. 4 Construction features of highspeed railway foundations as built in open cuts with karstic limestone.

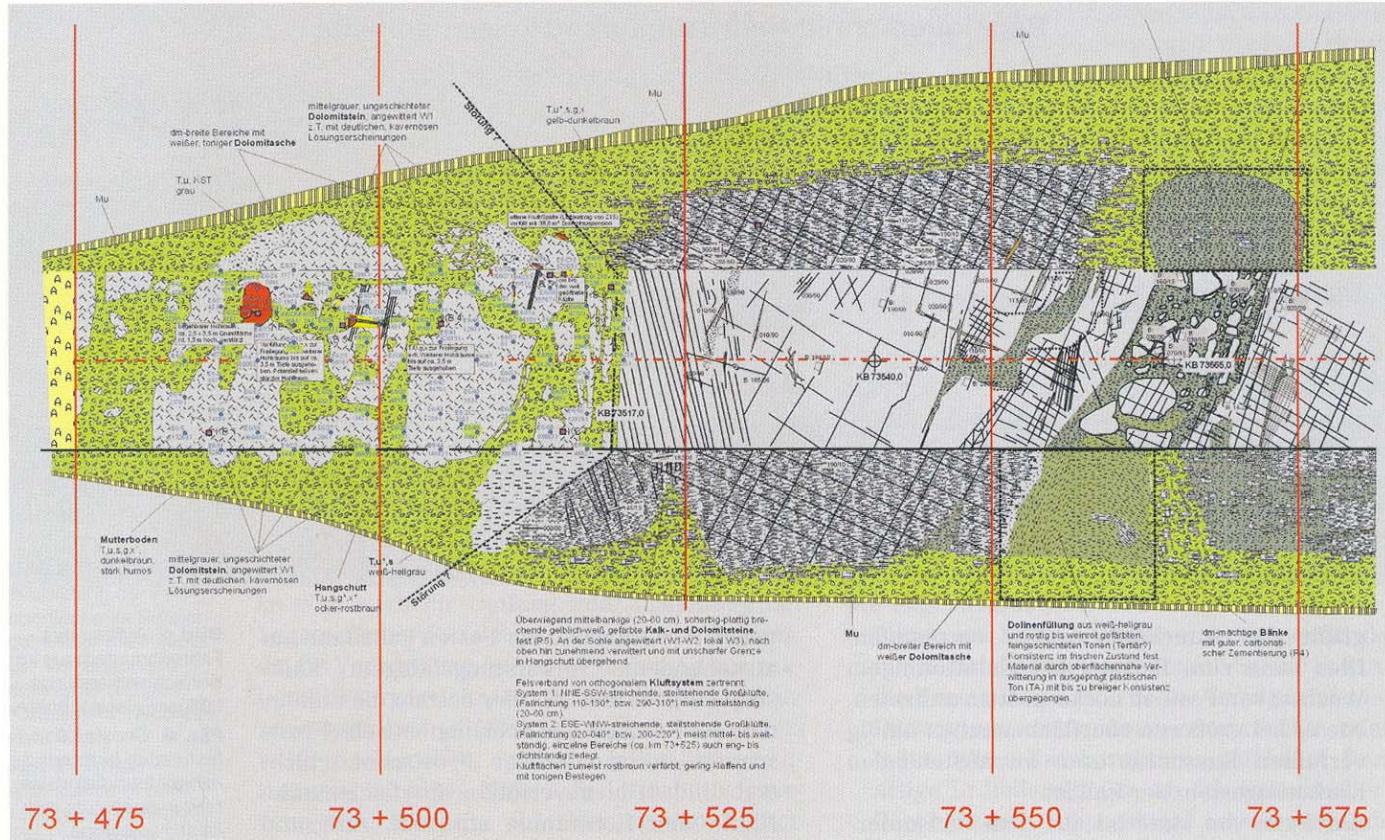


Bild 5 Beispiel für die geologisch-geotechnische Detaildokumentation 1 : 200 der Einschnitte. Dargestellt sind neben der im Maßstab 1 : 100 kartierten Einschnittsohle die abgeklappten Böschungen des Nordteils des Einschnitts E6.

Fig. 5 Example for detailed geological-geotechnical map, scale 1 : 200 of the open cuts (here: E6, northern part). The map shows the floor of the open cut (originally mapped in 1 : 100 scale) and both side slopes which are tilted into horizontal position for illustration purpose.

weg Setzungen in unverträglichen Größenordnungen eintreten.

Karsterkundung

Ziel aller Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen ist die Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit der fertig gestellten ICE-Strecke für einen Nutzungszeitraum von mindestens 100 Jahren. Die Baugrunderkundung folgt dabei einem mehrstufigen Erkundungsprogramm, dessen Grundzüge in (2, 4, 5, 6) vorgestellt worden sind. Die Hand in Hand mit der Bauausführung zur Erkundung relevanter Karststrukturen eingesetzten Methoden umfassen eine umfangreiche Kombination indirekter und direkter geotechnischer Verfahren, die nachstehend kurz charakterisiert werden.

Geophysikalische Erkundung

Vorrangige Aufgabenstellung der kombinierten geophysikalischen Untersuchung ist die Erkennung großeräumiger Problemzonen und oberflächennaher Hohlräume. Hierzu wurden im Bereich der freien Strecke der NBS Nürnberg-Ingolstadt seismische und gravimetrische sowie Georadarverfahren unter Einbeziehung von Kernbohrungen in Verdachtsbereichen durchgeführt (3, 7).

Im Bereich der Festgesteinseinschnitte kamen vorrangig die Verfahren der Reflexions- und Refraktionsseismik sowie Georadar zum Einsatz. Bei genereller Verwendung zweier ver-

schiedener Verfahren konnten folgende Erkundungsziele erreicht werden:

- ▷ Detektion von offenen Hohlräumen $\geq 1,0$ m Durchmesser in einem Bereich bis 2 m unter Untersuchungsebene,
- ▷ Detektion von offenen Hohlräumen $\geq 2,5$ m Durchmesser in einem Bereich bis 6 m unter Untersuchungsebene,
- ▷ Detektion von offenen Hohlräumen ≥ 5 m Durchmesser in einem Bereich bis 10 m unter Untersuchungsebene,
- ▷ Detektion von „Megahohlräumen“ unterhalb der Trasse.

Bohraufschlüsse und Kamerabefahrungen

In Bereichen, in denen aufgrund der geophysikalischen Erkundung ein Verdacht auf offene Hohlräume in relevanter Ausdehnung und Tieflage bestand, wurden Rotationskernbohrungen abgeteuft. Als zusätzliche Interpretationshilfe der Bohrergebnisse dienten die während der Bohrarbeiten dokumentierten Bohrparameter wie Bohr-anpressdruck, Bohrfortschritt und Spülverlust.

Baubegleitende Detailkartierung

Die letzte Stufe der Karsterkundung stellte die baubegleitend durchgeführte ingenieurgeologische Detailkartierung dar. Sie diente der Identifizierung und Quantifizierung oberflächennaher Verkarstungsstrukturen – insbesondere kleinräumige,

durch die geophysikalische Erkundung nicht erfassbare unverfüllte Strukturen – und der Beurteilung der generellen lithologischen, tektonischen sowie Verwitterungs- und Verkarstungssituation. Anhand der hierbei gewonnenen Ergebnisse konnte zudem die vorangegangene geophysikalische Erkundung überprüft und gegebenenfalls reinterpretiert werden.

Die Detaildokumentation basiert im besonders sensiblen Bereich der Einschnittsohle auf einer ingenieurgeologischen Kartierung im Maßstab 1 : 100. Zusammen mit den im Maßstab 1 : 200 aufgenommenen Einschnittsböschungen und den Ergebnissen der vorangegangenen Erkundung wurden die Daten in einem Grundrissplan 1 : 200 mit heruntergeklappten Böschungen dargestellt. Diese Dokumentation stellt die Grundlage für die Planung und Ausführung der Sanierungsmaßnahmen dar (Bild 5).

Die Kartierung erfolgte nach Abschluss der Aushubarbeiten, die zunächst bis auf das Niveau der Unterkante Frostschutzschicht (FSS) geführt wurden. Danach wurde die auf diesem Niveau anstehende Felsfläche mit Minibaggern, hän-disch sowie durch abschließendes Abkehren oder Abblasen mit Pressluft freigelegt (Bild 6).

Nach den Erfordernissen des Bauablaufs wurde ganz- oder halbseitig in 25- bis 50-m-Blöcken kartiert. Für die lagetreue Darstellung des geologischen Inventars diente ein auf die Sohle aufgesprühtes Koordinatennetz.

Neben der Aufnahme des Trennflächengefüges sowie lithologischer Charakteristika lag ein besonderes Augenmerk auf der Identifizierung von Hinweisen auf tiefer liegende, potenziell unverfüllte Strukturen.

Bei den bereits im Rahmen der geologischen Detailkartierung an oberflächlich zugänglichen Karststrukturen durchgeführten Verfüllmaßnahmen mit dünnflüssigem Beton konnten anhand der eingebrachten Betonmengen erste Rückschlüsse auf die im Untergrund vorhandene Verkarstung des Gebirges gewonnen werden. Zusätzlich zu den von der Felsoberfläche aus gewinnbaren Informationen wurden bei größeren unverfüllten Karststrukturen auch Kamera-befahrungen von der Oberfläche aus durchgeführt, die weitere Hinweise auf Ausbildung und Erstreckung dieser Strukturen erbrachten.

Maßnahmen zur Baugrundertüchtigung

Die durchzuführenden Baugrundertüchtigungsmaßnahmen wurden anhand der erstellten Dokumentation und der erkannten Verdachtsbereiche mit der Arbeitsgemeinschaft Streckenbau und dem Arbeitskreis Karst abgestimmt. Als Leitfaden für die generelle Vorgehensweise bei den Sanierungsarbeiten diente dabei ein vom Arbeitskreis Karst erarbeiteter Maßnahmenkatalog (1), der in Abhängigkeit der Ausbildung der Karststruktur (laterale Erstreckung, Durchmesser und Tiefenlage) die jeweils zu ergreifenden



Maßnahmen vorgibt. Die im Lauf der Bauausführung ergriffenen Maßnahmen umfassen dabei das nachfolgend näher erläuterte Spektrum.

Beherrschung von Erdfällen und Senkungsstrukturen

Voraussetzung für die „worst case“-Szenarien eines plötzlichen Erdfalls beziehungsweise langsam ablaufender Einstellungen im Bereich der Trasse ist das Vorhandensein entsprechend großer, unverfüllter und relativ nahe der Erdoberfläche gelegener Hohlräume. Da entsprechende Hohlräume durch die kombinierte Karsterkundung für alle Felseinschnitte des Bauloses Süd ausgeschlossen beziehungsweise detektierte Strukturen durch Injektionsmaßnahmen saniert werden konnten, sind für diese Bereiche keine weiteren bautechnischen Maßnahmen ausgeführt worden.

Vergießen offener Strukturen

Offene Strukturen mit einer Öffnungsweite von über 10 cm wurden mit flüssigem Beton der Körnung 0/8 oder Zementsuspension verfüllt. Diese Maßnahme diente primär der sicheren Verhinderung von Materialabrieselung aus der FSS. Zudem werden eventuell mit der Struktur in Verbindung stehende Hohlräume, die außerhalb des Leistungsbilds der Geophysik liegen, hierbei ebenfalls versiegelt. Im Nachgang werden diese

Bild 6 Halbseitig freigelegte Einschnittsohle in bankigen Kalken mit ausgeräumten, ehemals bindig verfüllten Karststrukturen.

Fig. 6 Floor of open cut in bedded limestone series. One half of the floor is excavated, cleaned and ready for mapping and redevelopment.

Ihr Partner beim Bauen in Boden und Fels



IFB Eigenschenk GmbH
Mettener Str. 33
94469 Deggendorf

Telefon +49 (0)991 / 3 70 15-0
Telefax +49 (0)991 / 3 39 18

mail@eigenschenk.de
www.eigenschenk.de



Baugrunduntersuchung



Deponietechnik



Fels- und Tunnelbau



Hydrogeologie und Altlasten



Erschütterung



Lärm



Beweissicherung



Bild 7 Betonverfüllung einer ausgedehnten, ursprünglich mit bindigem Lockermaterial gefüllten Karststruktur im Einschnitt E7.

Fig. 7 An extensive karst structure – originally filled with clayey, silty and blocky sediments – is refilled with concrete in the course of rock redevelopment.

Strukturen durch punktuelle Manschettenrohrinjektionen nachverpresst, um eine vollständige Verfüllung sicherzustellen (Bild 7).

Strukturen mit Öffnungsweiten von unter 10 cm wurden nicht speziell behandelt, da sie durch die in verkarstungsfähigem Untergrund flächig ausgeführte, mindestens 15 cm starke, unbewehrte Beton-Verrieselungsschutzschicht (vgl. Bild 4) überbrückt werden können, die eventuell offene Klüfte und Spalten zur überlagernden Frostschutzschicht hin zuverlässig versiegelt.

Aushub und Betonverfüllung

Mit bindigen Lockergesteinen (meist T,u*, T,u*,g,x) verfüllte Karststrukturen, die im Zuge der Aushubarbeiten erkannt wurden, wurden ab einer Breite von über 30 cm ausgehoben und mit Beton B25 verfüllt. Diese Maßnahme diente der Sicherstellung einer gleichmäßigen Steifigkeit des Untergrunds im Bereich der Tragschicht. Die jeweils erforderliche Austauschtiefe wurde in Abhängigkeit der Abmessungen der Karststruktur gewählt. Überwiegend wurde die Austauschtiefe bei Strukturen mit bis zu 3,0 m Breite mit etwa der halben Breite festgelegt.

Injektionsmaßnahmen

In Bereichen mit ausgedehnten offenen oder potenziell teilverfüllten oberflächennahen Hohlräumen wurden punktuelle Niederdruckinjektionen durch Manschettenrohre Ø 50 mm mit Suspension auf Zementbasis (erosionsstabil; Druckfestigkeit > 10 N/mm² nach 28 d) zur Anwendung bis in Tiefen von 5 m ausgeführt. Durch die Verfüllung vorhandener Hohlräume sowie Verfestigung und Stabilisierung eventuell vorhandener Lockergesteinsfüllungen konnten Setzungs-, Nachsack- oder Ausspülungserscheinungen in Karststrukturen ausgeschlossen werden. Es wurden fallbezogen Manschettenabstände zwischen 0,33 und 0,5 m ausgeführt. Als Abbruchkriterium für die jeweiligen Injektionen wurde das Erreichen von 8 bar Injektionsdruck gewählt (Bild 8).

In Bereichen mit großräumigen, unverfüllten Karststrukturen in oberflächennaher Lage wurden Rasterinjektionsmaßnahmen mit Niederdruckinjektionen durch Manschettenrohre Ø 50 mm mit Füllbinder bis in Tiefen zwischen 5 und 15 m ausgeführt. Der Rasterabstand der Injektionsbohrungen wurde individuell in Abhängigkeit der jeweiligen Ausbildung der Karststruktur beziehungsweise der Ausbildung des Karsträgergebirges gewählt. Hier kamen Rasterabstände von 1,5, 2,5 und 3 m zur Anwendung.

Der Sanierungserfolg der Injektionsmaßnahmen wurde nach ausreichendem Erhärten der Suspension durch Kontrollkernbohrungen mit einer Nominaltiefe von 10 m überprüft.

Bodenaustauschmaßnahmen

Neben dm bis mehrere m messenden Strukturen wie Spalten, Hohlräumen oder Dolinen wurden in einigen Einschnitten auch großräumige Bereiche angetroffen, in denen die Sohle über mehrere zehner Meter aus heterogen zusammengesetzten, bindigen Lockergesteinen (überwiegend T,u,g,x,y) gebildet wurde. Diese Lockergesteine werden als Versturzmaterial oder Verwitterungsmaterial des

Felsbau

Rock and Soil Engineering

Fachzeitschrift für Ingenieurgeologie, Geomechanik und Tunnelbau

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

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

Jahresabonnement: 65,00 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 65,00 EUR.

zum Studentenpreis von 32,50 EUR (Immatrikulationsbescheinigung ist beigelegt).

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

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

anstehenden Felsen gedeutet. In Abstimmung zwischen der Arbeitsgemeinschaft Streckenbau, der BÜZ Süd und unter Einbeziehung numerischer Modellierungen am Zentrum Geotechnik der TU München wurden für diese Bereiche individuelle Bodenaustauschmaßnahmen geplant und durchgeführt. Nach Aushub der nicht tragfähigen Lockergesteine auf ein individuell ermitteltes Niveau wurde die Tragschicht aus lagenweise verdichten, weit gestuften Kies-Steingemischen (überwiegend Brechkorn 0/63) beziehungsweise bereichsweise auch mit Magerbeton aufgebaut.

Um plötzliche Steifigkeitssprünge zwischen Bereichen mit Bodenaustausch und benachbarten Bereichen mit auf Unterkante FSS anstehendem Fels zu verhindern, wurden an den Übergängen durchgängige Betonrampen mit einem Längsgefälle von $\leq 6\%$ ausgeführt.

Schlussbetrachtung

Das Bauen in oberflächennahen Karbonatgesteinen wird in vielerlei Hinsicht durch die vielfältigen und sehr wechselhaften Karsterscheinungen in diesem Gebirge geprägt. Die Beherrschung der umfangreichen Probleme und Gefährdungen, denen eine moderne Hochleistungs-Bahnstrecke unter diesen Umständen ausgesetzt ist, wird auch bei zukünftigen Projekten in vergleichbaren geologischen Verhältnissen im Mittelpunkt des Interesses stehen.

Die in diesem Beitrag vorgestellten Verfahren haben sich im Zuge der Bauausführung der Streckenbauwerke im Baulos Süd der Neubaustrecke Nürnberg-Ingolstadt bewährt. Den hohen Ansprüchen, die dabei an die ingenieurgeologische Betreuung vor Ort und die Abstimmung aller Beteiligten gestellt werden, steht eine Vorgehensweise gegenüber, die eine kostenoptimierte und den individuellen Baugrundverhältnissen effektiv angepasste Bauausführung ermöglicht.

Quellennachweis

1. Arbeitskreis Karst: *Dokument 123 Ref. 0.4. Unveröffentlicht, 2003.*
2. Höwing, K.-D. ; Eder, S. ; Plank, M.: *Baugrundkundung für Verkehrswägen in Karstgebieten. Felsbau 21* (2003), Nr. 1, S. 13-21.
3. Lehmann, B. ; Radinger, A. ; Scheibe, R. ; Pöttler, R. ; Michael, J.: *Erkundung von Karsthohlräumen/Erdfällen durch Kombination von Bohrungen und Geophysik im Zuge der Errichtung von Hochgeschwindigkeitsstrecken*. In: Feeser, V. (Hrsg.): *Berichte von der 14. Tagung für Ingenieurgeologie* Kiel, 26. bis 29. März 2003.
4. Pöttler, R. ; Maidl, R. (2004): *Behandlung der Karstproblematik bei den Tunneln der Neubaustrecken der DB AG*. Taschenbuch für den Tunnelbau 2004, S. 173-194. Essen: Verlag Glückauf GmbH, 2003.
5. Pöttler, R. ; Schneider, V. ; Rehfeld, E. ; Quick, H.: *Grundkonzept zur Lösung der Karst- und Erdfallproblematik für den Bau von Verkehrswegen*. Felsbau 20 (2002), Nr. 3, S. 10-21.
6. Rehfeld, E. ; Mattle, B.: *Sicherung von Eisenbahnfahrwegen in verkarsteten und erdfallgefährdeten Gebieten*. Felsbau 21 (2003), Nr. 1, S. 35-41.
7. Radinger, A. ; Scheibe, R. ; Lehmann, B. ; Kaus, A.: *Die Geophysik im Einsatz zur Karst- und Erdfallerkundung im Zuge von Hochleistungsstrecken*. Felsbau 21 (2003), Nr. 1, S. 42-49.



Autoren

Dipl.-Geol. Dr.rer.nat. Ralf J. Plinninger, vormals Dipl.-Ing. Bernd Gebauer Ingenieur GmbH, München, Deutschland, Dipl.-Geol. Thomas Amadori und Dipl.-Geol. Wolfgang Eckstaller, Dipl.-Ing. Bernd Gebauer Ingenieur GmbH, München, Nymphenburger Straße 136, D-80636 München, Deutschland

Danksagung

Wir bedanken uns bei der DB ProjektBau GmbH für ihr Einverständnis zur Publikation der vorliegenden Ergebnisse.

Bild 8 Injektionsbohrgerät beim Abbohren eines 2,5-m-Injektionsrasters in verkarsteten, massigen Gesteinen im Einschnitt E6.

Fig. 8 Rock drill, drilling a 2.5 m x 2.5 m net of injection holes in unstratified dolomitic limestones of open cut E6.

HERVORRAGEND anders

DAS STRABAG HAUS

A-1220 Wien, Donaustadt,
Donau-City-Straße 9

STRABAG

STRABAG AG

A-1220 Wien, Donaustadt, Donau-City-Straße 9
Telefon +43 / 1 22 4 22 - 0
Telefax +43 / 1 22 4 22 - 1708