

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 131 (2005)
Heft: 18: Höhlen

Artikel: Bauen im Karst: für viele Baufachleute ist Kalkstein ein Baugrund mit sieben Siegeln
Autor: Blant, Denis / Eichenberger, Urs / Jeannin, Pierre-Yves
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-108568>

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.](#)

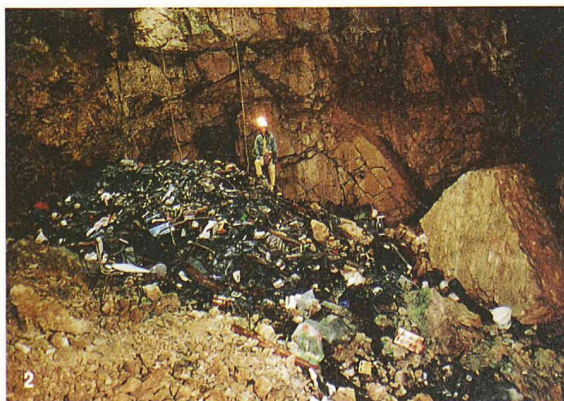
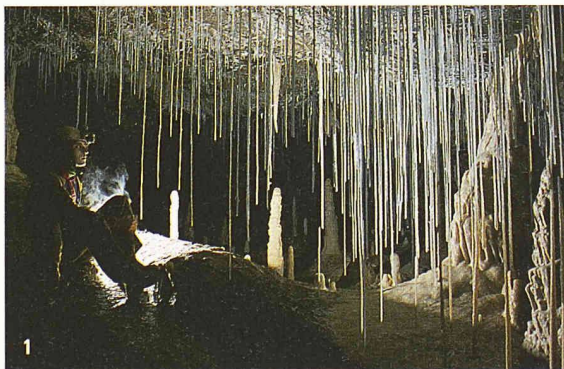
Download PDF: 17.03.2025

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

Bauen im Karst

Für viele Baufachleute ist Kalkstein ein Baugrund mit sieben Siegeln

Tiefbauarbeiten in Karstgebieten können voller Überraschungen sein, die meist als unerwartetes Öffnen von Karsthohlräumen oder als starker Wasseranfall eintreten. Mangelnde Kenntnisse über den Umgang mit Karstphänomenen führen in der Praxis zu Fehleinschätzungen und ungeeigneten Lösungen. Durch das wissenschaftliche Verständnis des Phänomens Karst werden die Risiken dieses anspruchsvollen Baugrundes beherrschbar.



Ursprünglich war Karst der Name einer Kalklandschaft unweit von Triest, im Grenzgebiet von Italien und Slowenien. Schon sehr früh wurde dort die Gesamtheit von teilweise spektakulären Phänomenen beschrieben, welche durch die Wasserlöslichkeit des Kalksteins entstanden sind. In der Folge wurde der Name Karstgebiete auf alle Regionen mit ähnlichem Charakter angewendet.

Das Karstmilieu ist relativ komplex und unbekannt. Charakteristisch für Karstgebiete sind geschlossene Einzugsgebiete, eine grosse Anzahl von Dolinen, Höhlen und Schlünden und das weitgehende Fehlen von oberirdischen Flussläufen. Das Wasser sickert sofort in das Kalkgestein und tritt normalerweise in Quellen im Talgrund wieder zu Tage. Etwa 20% der Oberfläche der Schweiz besteht aus Kalkstein und ist deshalb verkarstet. Im Jura sind es fast 100%, abgesehen von wenigen nicht verkarstungsfähigen Gesteinsvorkommen (Molasse, Moränen), die den Kalk schützend überlagern.

Das Regen- und Schmelzwasser findet immer einen Weg durch die kleinen, im Kalkgestein vorhandenen Spalten. Da dieses Wasser kalksteinlösend (untersättigt) ist, erweitert es die Spalten nach und nach und bildet ein weitverzweigtes Netz von Kanälen und Gängen von einigen Zentimetern bis zu mehreren Metern Durchmesser, die an einer Austrittsstelle zusammenlaufen. Bei einem bestimmten Entwicklungsgrad dieses Entwässerungsnetzes hört die Verkarstung praktisch auf, die Erosion wird dann durch die Ablagerung von feinsten Partikeln ausgeglichen, die als Verunreinigungen im Kalkgestein vorhanden sind oder von der Auslaugung der Böden an der Oberfläche stammen.

Karst und Tiefbau

Da sich Überraschungen nie gänzlich vermeiden lassen, kann man die technischen Schwierigkeiten nur durch eine bessere Kenntnis des Karstes verringern. Durch Voruntersuchungen wie geologische Oberflächenaufnahmen oder Bohrungen können Störungen in Karstgebieten nur selten örtlich genau erfasst werden. Daher muss auf andere Untersuchungsmethoden vor und insbesondere während der Bauphase zurückgegriffen werden.

Stösst man auf Karsthohlräume, wird dies meist als ein unglücklicher Zufall empfunden, gegen den man nichts machen kann. Die Anordnung und die Besonderheiten

1

**Salle des aiguilles (Nadelsaal), Grotte de Vallorbe
(Bild: Rémy Wenger, SSKA)**

2

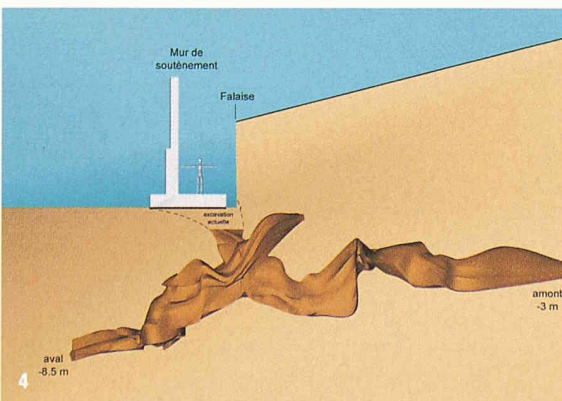
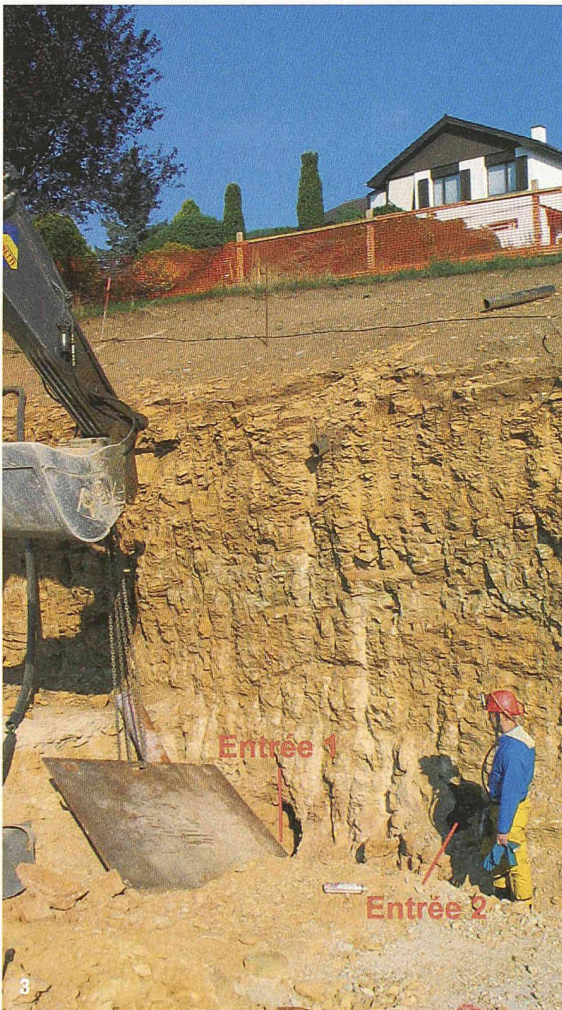
**Abfallberg im Gouffre de la Petite Joux (NE) vor der 2003
durchgeführten Reinigungsaktion (Bild: Rémy Wenger, SSKA)**

3

**Eingangsspalte der Höhle bei der Baustelle der Umfahrung
Corcelles (NE) der Kantonsstrasse H 10 (Bilder: SSKA)**

4

3 D-Ansicht der Höhle mit Strassenführung der H 10



der vorhandenen Hohlräume folgen aber den Regeln der Verkarstung, die von Spezialisten jetzt nach und nach entschlüsselt werden. In der Vorbereitungsphase ermöglicht eine detaillierte dreidimensionale Analyse des geologischen und hydrogeologischen Umfeldes, ergänzt durch Erfahrungen und Beobachtungen der regionalen Verkarstung, die Identifikation der schwierigsten Bereiche mit grosser Genauigkeit. Dadurch wird es möglich, die schwierigsten Gebiete mit grosser Genauigkeit zu identifizieren. Eine gegenwärtig in Zusammenarbeit mit der ETH Lausanne (Geolep) durchgeführte Studie soll noch genauere Vorhersagen ermöglichen. Zur Ortung allfälliger Hohlräume werden verschiedene geophysikalische Untersuchungsmethoden wie Georadar, Elektromagnetismus, Geoelektrik, Seismik und Mikrogravimetrie angewendet. Der Karst kann auch direkt durch unterirdisch zugängliche Systeme erforscht werden (Speläologie) oder indirekt durch hydrogeologische Beobachtungen, insbesondere durch die Überwachung der Quellen.

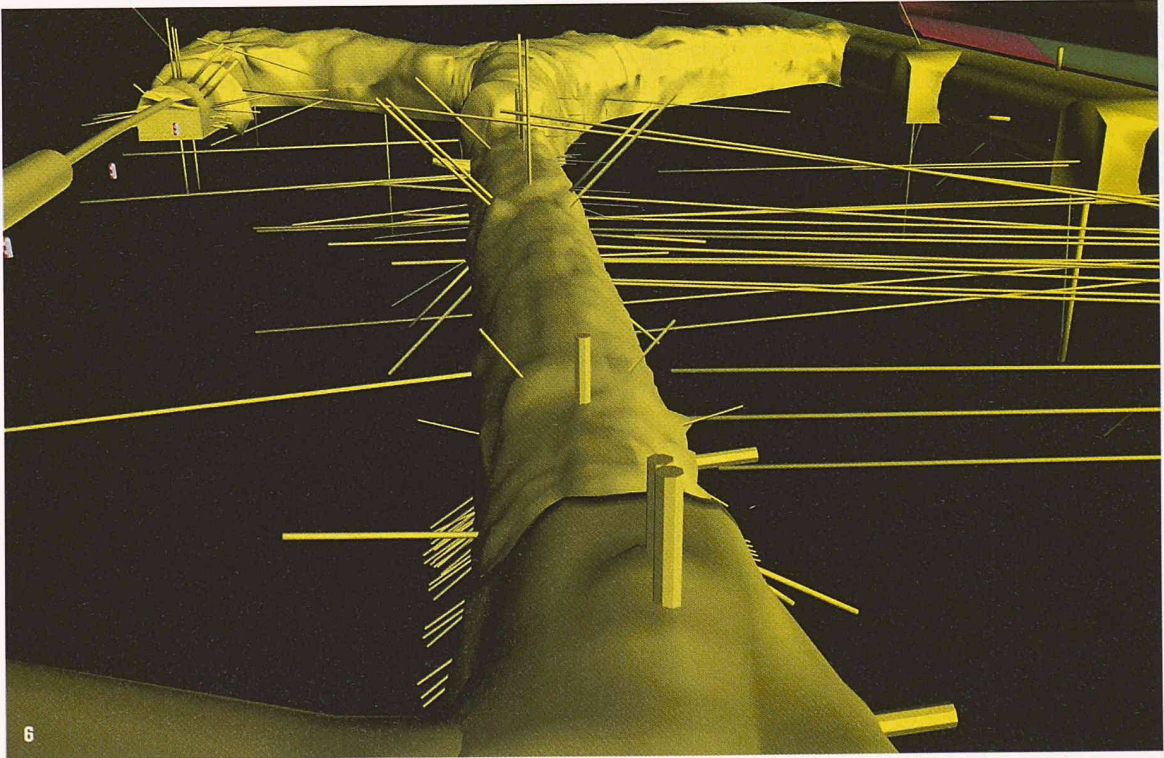
Versickerung in Karsthöhlen

Durch Karsthöhlen kann Wasser gut abgeleitet werden, wenn zwei Voraussetzungen erfüllt sind. Erstens muss eine natürlicherweise zugängliche oder durch Baumassnahmen freigelegte Höhle in Bezug auf den allgemeinen Wasserabfluss günstig liegen. Zweitens muss ein Sickersversuch in der Höhle bestätigen, dass die Durchflussmenge die Kapazität der Höhle nicht übersteigt. Dabei ist zu beachten, dass der Wasserdurchfluss in Karstgängen sehr turbulent ist. Auch die Auswirkungen des versickerten Wassers auf das Höhlensystem und das Karstwasser müssen abgeschätzt werden.

Die Baustelle der Umfahrung von Corcelles (NE) der Kantonsstrasse H10 ist ein gutes Beispiel für die Versickerung. Nachdem auf der bergwärtigen Seite des Trassees eine Höhle entdeckt worden war (Bild 3), ordnete die Bauleitung deren Vermessung und eine Schätzung ihres Versickerungsvermögens an. Ein Versickerungsversuch im Massstab 1:1 am Fuss der Spalte zeigte, dass 20 l/sec problemlos versickern konnten. Durch hydraulische Berechnungen wurden die Versickerung und das Rückhaltevermögen modelliert und nachgewiesen, dass Spitzen (Gewitter) von bis zu 100 l/sec absorbiert werden können (Bild 4).



5



6

Das Siska in Kürze

Das Siska (Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung) ist eine öffentliche, nicht gewinnorientierte Stiftung, die auf Initiative der Schweizerischen Gesellschaft für Höhlenforschung im Februar 2000 gegründet wurde. Es entstand aus dem Bedarf nach einem Kompetenzzentrum für Karststudien. Es steht offen für Höhlenforscher, öffentliche Verwaltungen, Ingenieur- und Geologiebüros, Wasserwirtschaftsämter, Bildungsinstitutionen usw.

Das Siska wird unterstützt vom Bundesamt für Wasserwirtschaft und Geologie, der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften, verschiedenen Kantonen und der Stadt La Chaux-de-Fonds, dem Sitz des Institutes. Das Siska arbeitet mit der ETH und den Universitäten Neuenburg, Zürich, Bern und Freiburg zusammen.

Die Tätigkeiten erstrecken sich über verschiedene Bereiche: Wissenschaftliche Grundlagenforschung und angewandte Forschung, Schulung, Höhlen- und Karstschutz, Sicherheit, Bibliografie und nationale Höhlendokumentation.

Inventar und Sanierung von Abfalldeponien

Schon seit langer Zeit werden Karstspalten und Dolinen von den Bewohnern der Umgebung als Abfallgruben benutzt (Bild 2). Diese «aller Abfall ins Loch»-Mentalität erreichte in den 1960er- und 70er-Jahren ihren Höhepunkt, als Strassen auf die Alpen gebaut wurden und das Herbeischaffen einer Vielzahl von Materialien ermöglichten, die dann nach Gebrauch oft in den «Löchern» landeten. Die Zunahme dieser Abfallmenge ging leider Hand in Hand mit der chemischen Vielfaltigkeit der deponierten Stoffe, die je länger, je weniger natürlich abbaubar waren. In den 1980er-Jahren schlugen die meisten Kantone endlich Alarm, doch der Schaden war bereits angerichtet. Diese Art der wilden Entsorgung ist heute zwar fast gänzlich verschwunden, doch die Einführung von kostenpflichtigen Abfallsäcken hat sie lokal wieder aufleben lassen. In der Schweiz existieren noch Hunderte solcher Abfallhöhlen und mehrere Tausend verunreinigte Dolinen. Im September 2003 wurde im Gebiet von Ponts-de-Martel (NE) mit der Unterstützung der Gemeinde Neuenburg als Grundeigentümerin eine beispielhafte Höhlenreinigung durchgeführt. Dabei wurden nicht weniger als 40 m³ Abfälle aller Art aus einem ca. 15 m tiefen Schacht geborgen. Dank freiwilligen Helfern konnte diese Höhle mit geringen Kosten saniert werden.

Bauarbeiten über einer Tropfsteinhöhle

Karst ist ein sehr empfindlicher Lebensraum, daher müssen häufig Massnahmen zum Schutz der Umwelt, insbesondere der unterirdischen Gewässer, getroffen werden. Das Südportal des künftigen A16-Tunnels von Neu-Bois befindet sich direkt oberhalb der längsten und schönsten Tropfsteinhöhle des Schweizer Jura. Die Gänge liegen in einer Tiefe von 35–50 m, einige Schlotte reichen allerdings bis 9 m unter die Oberfläche hinauf. Auf Grund der topografischen Vermessungen dieser Schlotte wurde die Hauptachse des Tunnelprojektes verschoben. Der Höhlenfluss ist ein wichtiger Zubringer für das Grundwasservorkommen, aus dem die Gemeinde Boncourt ihr Trinkwasser bezieht. Die Gesamtheit der Höhle wird als Geotop (geschütztes geologisches Objekt) von nationaler Bedeutung betrachtet.

Ohne geeignete Schutzmassnahmen könnten beim Aushub des Tunnelportals Erschütterungen erzeugt werden, die die jahrtausendealten Tropfsteine gefährden. Der Unternehmer muss deshalb darauf achten, dass bestimmte Erschütterungsgrenzwerte nicht überschritten werden, und falls erforderlich mit unkonventionellen Aushubmethoden arbeiten. Um die zulässige Erschütterungsstärke festzulegen, wurden Laborversuche mit einigen aus der Höhle gewonnenen Stalaktiten (herabhängende Tropfsteine) durchgeführt und ihre Bruchfestigkeit bestimmt. Ausserdem wurde die Abschwächung der Erschütterungen zwischen der Baustelle und der Höhle durch Sprengversuche mit kleinen Ladungen an der Oberfläche bestimmt. Aus den an der Höhlendecke durchgeführten Vibrationsmessungen konnten die zulässigen Grenzwerte der Beschleunigungen ermittelt werden. Daraus folgte, dass der Einsatz von Sprengstoffen zum Schutz der Höhle ausgeschlossen werden musste.

3 D-Topografie von Höhlen

Die Realisierung von unterirdischen Bauvorhaben setzt eine genaue Kenntnis des Untergrundes und damit die genaue Lokalisierung von existierenden unterirdischen Objekten voraus. Unter unseren Füssen erstrecken sich etliche Kilometer natürlicher Höhlen, die von Höhlenforschern erst nach und nach entdeckt und anschliessend genau erfasst werden, aber auch Bergwerksstollen, die noch nie vermessen wurden.

Grundrisse und Schnitte reichen jedoch nicht aus, um eine Höhle innerhalb der räumlichen Geometrie eines Projektes darzustellen. Zur Verwaltung der Karstlandschaften und ihrer Darstellung in 3 D sind Methoden entwickelt worden, die allgemein für die Bewirtschaftung des unterirdischen Raumes angewandt werden (Bergwerke, Galerien, Tunnels usw.). Die dreidimensionale Darstellung der topografischen Oberfläche des Baugeländes in Verbindung mit der unterirdischen Struktur (Bilder 5 und 6) verfolgt mehrere Ziele:

- Lageüberprüfung von verschiedenen Projektteilen und ihren Ausmassen in Bezug auf bestehende Elemente
- Erleichterte Kommunikation (bzw. Allgemeinverständlichkeit) der vielfältigen Aspekte eines Projektes unter den Partnern aus verschiedenen Fachgebieten
- Vereinfachte Entscheidungsfindung, da Problemzonen sofort identifiziert werden können.

Durch Eingabe in das 3 D-Modell lassen sich Planänderungen und während der Arbeiten gemachte Beobachtungen relativ schnell in das Projekt einbinden. Das ermöglicht eine laufende Neubeurteilung der Probleme, sodass unliebsame Überraschungen während der Arbeiten vermieden werden können.

Für schematische Modelle sind zylindrische Darstellungen des Untergrundes meist ausreichend. Sie basieren in der Regel auf polygonalen Messungen eines Typenprofils, welche in regelmässigen Abständen vorgenommen werden. Für genauere Schätzungen können Aufnahmen im Abstand von 30 cm bis 1 m notwendig sein, um die unterirdischen Volumen richtig darzustellen. Daraus wird ein Laserprofil erstellt und so ein virtueller Raum geschaffen, in dem verschiedene Objekte platziert werden können.

Denis Blant, Hydrogeologe CHYN
Urs Eichenberger, Dr. sc. nat., Geologe EPFL
Pierre-Yves Jeannin, Dr. sc. nat., Hydrogeologe CHYN

SISKA, Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstforschung, La Chaux-de-Fonds
www.isska.ch

Die Autoren danken den Strassenbauämtern der Kantone Neuenburg und Jura für die Genehmigung des Artikels und die zusätzlichen Informationen. Eine erste Fassung dieses Beitrags ist in «tracés» Nr.19, 6. Oktober 2004, erschienen.
Übersetzung: Autoren / Richard Squire

5 + 6

Beispiel der 3 D-Darstellung eines unterirdischen Ganges, Aussen- und Innenansicht. Dank diesen virtuellen Darstellungen kann man sich innerhalb und ausserhalb der Gänge interaktiv bewegen. Informationen (Bilder, Berichte, Texte) können jedem Objekt (z. B. Bohrungen) zugeordnet werden

Wozu Höhlen schützen?

In den letzten Jahren ist die Schweizerische Gesellschaft für Höhlenforschung erstmals seit ihrer Gründung 1930 an die Öffentlichkeit gelangt, um auf die Gefahren aufmerksam zu machen, die von der zunehmenden touristischen Nutzung der Schweizer Höhlen ausgehen. Offensichtlich hat der Nutzungsdruck durch die gnadenlose Freizeit- und Spassgesellschaft als Höhlen-Massentourismus und Höhlen-Trecking ein alarmierendes Ausmass angenommen. Auch bei vergleichsweise bescheidenen Teilnehmerzahlen ist ihr Zerstörungspotenzial gross. Leider findet ein ungeschickter oder gleichgültiger Mensch in einer Höhle die besten Voraussetzungen, während Jahrtausenden gewachsene Strukturen und Ökosysteme, die noch nicht durch menschliche Aktivitäten und deren Auswirkungen beeinflusst oder verändert worden sind, mit minimalem Aufwand unwiederbringlich zu zerstören.

Der Zeitpunkt, den Schutz der Höhlen in der Schweiz zu thematisieren, erscheint ungünstig. Die aktuellen Möglichkeiten reichen kaum aus, die an der Erdoberfläche sichtbare Landschaft vor weiterer Zerstörung zu bewahren. Wozu sollen dann finstere Hohlräume, die die breite Öffentlichkeit nur am Rand interessieren und deren wirtschaftlicher Nutzen marginal ist, auch noch geschützt werden?

Die Statistik vermittelt einen Eindruck der Ausdehnung und Vielfalt des Phänomens Höhlen in der Schweiz und lässt die Schutzwürdigkeit dieser Ökosysteme erkennen. Vorwiegend in dem Fünftel der Landesoberfläche, das aus Kalkgesteinen besteht, haben Höhlenforscher bis heute über 8000 Höhlen mit einigen Tausend Kilometern Gesamtlänge entdeckt und inventarisiert, gut 100 neue Höhlen kommen jährlich dazu. Über 100 Höhlen sind länger als 1 km, die grösste bisher vermessene Länge weist mit fast 190 km das Hölloch im Muotathal SZ auf. Auch die Höhendifferenzen in Höhlensystemen sind beachtlich und betragen bis zu 1340 m (Siebenhengste-Hohgant-Höhle BE). Es geht beim aktuellen Höhlenschutz nicht um die acht allgemein bekannten und erschlossenen Schauhöhlen in der Schweiz, sondern um weit verbreitete und verzweigte Erscheinungsformen des Gebirges, die im Prinzip allgemein zugänglich und damit auch unsachgemässer Behandlung oder mutwilliger Beschädigung ausgeliefert sind.

Es geht beim Höhlenschutz aber auch darum, dass etwa ein Fünftel der Schweizer Bevölkerung das Trinkwasser aus Karstgebieten bezieht. Da Kalkgesteine nur eine geringe Filterwirkung aufweisen, wirken sich Kontaminationen beim Eintritt unmittelbar auf die Wasserqualität am Austritt aus dem Karst aus. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die zahlreichen Abfalldeponien in Höhlen und Dolinen ein nicht zu unterschätzendes Gefährdungspotenzial.

Der Einsatz der Höhlenfachleute für einen Schutz der Höhlen und Karstgebiete ist notwendig und verdient Anerkennung und Unterstützung. Als erste Massnahme sind in den letzten Jahren fast 40 Höhlen-Geotope von nationaler Bedeutung definiert worden, für die ein möglichst vollständiger Schutz angestrebt wird. Zudem soll ein Ehrenkodex die Höhlenbesucher zum respektvollen Umgang mit dem Karst anhalten. Hoffentlich gelingt es damit, die fragile Unterwelt vor der Degradierung zum Sportgerät, aber auch vor der schleichenden Vergiftung durch Abfälle zu bewahren.

Aldo Rota, rota@tec21.ch

www.speleo.ch, www.isska.ch



4 Bauen im Karst

| Denis Blant, Urs Eichenberger, Pierre-Yves Jeannin | Die Unterwelt der Höhlen und Dolinen kann bei Bauvorhaben im Kalkgestein mit Überraschungen aufwarten. Am Schweizerischen Institut für Speläologie und Karstforschung werden die Phänomene im Untergrund wissenschaftlich erfasst.

10 Die Höhle als Bild und Vorstellung

| Christian Holl, Luc Merx (Text), Michael Heinrich (Fotos) | Das «Sculpture House» erweitert die Potenziale einer Betonschalenkonstruktion zu einer skulptural-künstlerischen Kreation, die in der Assoziation mit Höhle, Grotte, Ruine und Erdroccaille auf kunst- und architekturgeschichtliche Topoi verweist.

16 Brandschutz: Erleichterungen für den Holzbau

| Josef Kolb, Reinhard Wiederkehr, Bernhard Furrer | Die seit Anfang des Jahres geltenden neuen Brandschutzvorschriften bieten für den Baustoff Holz ein beträchtlich erweitertes Einsatzfeld – insbesondere sind nun auch mehrgeschossige Holzbauten realisierbar geworden.

20 Wettbewerbe

| Neue Ausschreibungen und Preise | Kernzone Opfikon: Die Gemeinde besitzt ein grosses Stück Land und möchte es nun nach dem Wettbewerb von einem Investor überbauen lassen |

24 Magazin

| Leserbrief: Raumplanung in den Unterricht! | Baselbieter Richtplan in Vernehmlassung | In Kürze |

26 Aus dem SIA

| Direktion: Firmenmitglieder, Frau im SIA, Berufsgruppen, Bauschäden | Qualifikation für Stahlbaubetriebe | Entwurfsatlas Industriebau |

30 Produkte

| Sedorama Transit | Ein Kabel für alles | Neue Badkollektion von Bodenschatz | Zumtobelstaff: Planungstool online |

38 Veranstaltungen