

KARSTNOMENKLATUR FÜR INGENIEURGEOLOGEN UND BAUINGENIEURE

MARCO FILIPPONI
SVEN BAUER
GIORGIO HÖFER-ÖLLINGER
ULRICH JÖRIN

KARSTNOMENKLATUR FÜR INGENIEURGEOLOGEN UND BAUINGENIEURE

**MARCO FILIPPONI
SVEN BAUER
GIORGIO HÖFER-ÖLLINGER
ULRICH JÖRIN**



Autoren: Marco Filipponi, Sven Bauer, Giorgio Höfer-Öllinger, Ulrich Jörin

Redaktion: Marco Filipponi

Korrektorat: Beatrice Vögele

Layout & Satz: Francesca Petrucci, Antonella Troiani

Druck und Vertrieb im Auftrag der Autoren: Buchschmiede von Dataform Media GmbH, Wien

ISBN: 978-3-99139-366-5 (Paperback)

Zitiervorschlag: Filipponi M., Bauer S., Höfer-Öllinger G., Jörin U. (2022): Karstnomenklatur für Ingenieurgeologen und Bauingenieure. Buchschmiede, Wien. ISBN: 978-3-99139-366-5

©2022 Bauen im Karst

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages und des Hauptautors unzulässig. Dies gilt insbesondere für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung, Übersetzung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung.

«Nahezu alle technischen Probleme, Unfälle und Fehlkalkulationen im Umfeld eines Projektes können letztendlich auf geologische Verhältnisse zurückgeführt werden, über die der Ingenieur entweder gar nichts wusste oder über die er erst zu spät etwas gelernt hat.»

Karl von Terzaghi

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS

I. ZU DIESEM BUCH.....	10
II. KARSTGEFÄHRDUNGEN.....	15
III. INGENIEURGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM VERKARSTETEN BAUGRUND.....	21
IV. VORKOMMEN VON VERKARSTUNGSFÄHIGEN GESTEINSEINHEITEN.....	27
V. KARSTNOMENKLATUR FÜR INGENIEURGEOLOGEN UND BAUINGENIEURE.....	41
1. ÜBERGEORDNETE BEGRIFFE.....	41
Das Kapitel umfasst übergeordnete Begriffe, die im Zusammenhang mit der Planung von ingenieurgeologischen Untersuchungen in einem verkarsteten Gebirge stehen.	
2. RÄUMLICHE ABGRENZUNG VON KARSTEIGENSCHAFTEN.....	53
Das Untersuchungsgebiet zur Beurteilung der projektspezifischen Karstgefährdung überragt in vielen Fällen das eigentliche Projektgebiet.	
3. RELEVANTE PROZESSE IM ZUSAMMENHANG MIT DER VERKARSTUNG.....	69
Die Verkarstungsprozesse sind für die Ausbildung karstspezifischer morphologischer Besonderheiten sowie deren Eigenschaften ursächlich.	
4. GEOMORPHOLOGISCHE ELEMENTE EINER VERKARSTETEN LANDSCHAFT.....	87
Eine Karstlandschaft besitzt typische morphologische Eigenheiten, die ingenieurgeologische Gefährdungen darstellen können.	

5. BEZEICHNUNG VON HYDROGEOLOGISCHEN FUNKTIONSWEISEN VON KARSTERSCH EINUNGEN.....	109
Je nach ingenieurgeologischer Fragestellung werden Karsterscheinungen anhand ihrer hydrogeologischen Funktionsweise angesprochen.	
6. ARTEN VON HOHLRÄUMEN IN EINEM VERKARSTETEN UNTERGRUND.....	117
In einem verkarsteten Gebirge kommen neben Karsthohlräumen auch weitere Hohlraumarten vor.	
7. BAUTECHNISCHE EIGENSCHAFTEN VON KARSTHOHLRÄUMEN.....	127
Es sind nicht die Karsthohlräume, die eine Gefährdung darstellen, sondern deren Eigenschaften.	
8. KARSTHYDROGEOLOGIE.....	151
Die Karsthydrogeologie ist ein eigenes Fachgebiet. Für Ingenieurgeologen und Bauingenieure ist ein sicherer Umgang mit den wichtigsten Schlüsselbegriffen wesentlich.	
9. DAS KONZEPT DER INITIALFUGEN.....	177
Das Konzept der Initialfugen geht davon aus, dass sich Karsthohlräume bevorzugt entlang bestimmter Trennflächen entwickeln.	
10. DAS KONZEPT DER SPELÄOGENETISCHEN BEREICHE IN EINEM EPIGENEN KARSTAQUIFER.....	185
Das Konzept der speläogenetischen Bereiche unterteilt ein Gebirge anhand speläogenetischer Aspekte. Das Konzept findet implizit oder explizit in verschiedenen Methoden zur Karstprognose Anwendung.	
11. DAS KONZEPT DER SPELÄOLOGISCHEN STADIEN.....	193
Das Konzept der speläologischen Stadien erklärt, weshalb sich nicht jeder Lösungshohlraum zu einem Karsthohlraum entwickelt und wieso nicht jeder Karsthohlraum zu einer Höhle wird.	
12. DAS KONZEPT DER STADIEN EINER KARSTAQUIFERENTWICKLUNG.....	199
Das Konzept der Stadien einer Karstaquiferentwicklung erklärt, weshalb ein Karstaquifer sich nicht über die gesamte verkarstungsfähige Gesteinseinheit erstrecken muss.	
13. HÖHLENKUNDLICHE BEGRIFFE.....	205
Von einem Karströhrensystem sind, wenn überhaupt, meist nur die von Höhlenforschern erkundeten und dokumentierten Höhlen bekannt, weshalb höhlenkundliche Begriffe auch für den Praktiker von Bedeutung sind.	
VI. BILDQUELLEN.....	225
VII. SACHVERZEICHNIS.....	227

I. ZU DIESEM BUCH

INTENTION

Bei der Baugrundbeurteilung besteht das Hauptanliegen darin, den Baugrund ingenieurgeologisch zu beschreiben und Gefährdungen zu erkennen, die sich beim Bau oder der anschließenden Nutzung von Bauwerken ergeben können. Karbonatgesteine weisen im Allgemeinen gute bis ausgezeichnete felsmechanische Eigenschaften auf. Ist das Gebirge jedoch verkarstet, können Karsthohlräume eine wesentliche Gefährdung darstellen und damit verbundene Gefährdungsbilder außerordentliche Baumaßnahmen erfordern. Die Gefährdungsbilder im verkarsteten Baugrund können nicht nur das Bauprojekt sondern auch die Umwelt betreffen.

In der Ingenieurgeologie werden die Begriffe im Zusammenhang mit Karsterscheinungen sehr unterschiedlich und zum Teil irreführend verwendet. Zum einen führt diese Tatsache potenziell zu Missverständnissen unter den an einem Projekt beteiligten Parteien: Geologen, Geotechnikern, Bauingenieuren, Umweltingenieuren, Bauherren, Behörden etc. Zum anderen folgen – schlimmstenfalls – unangebrachte Gebirgsbeschreibungen, mangelhafte Untersuchungskonzepte, falsche Gefährdungseinschätzungen und daraus abgeleitet, ungeeignete organisatorische und bauliche Maßnahmen.

Das Anliegen der vorliegenden Nomenklatur ist es, auf etablierte Konzepte abgestützte, praxistaugliche Definitionen bereitzustellen. Mit einer einheitlichen projektübergreifenden Begriffsverwendung – so die Überzeugung der Autoren – wird der bautechnische Umgang mit Karstproblemen verbessert.

Die vorliegende «Karstnomenklatur für Ingenieurgeologen und Bauingenieure» verfolgt folgende Ziele:

- Es werden Grundlagen geschaffen für eine einheitliche Kommunikation zwischen allen am Bauvorhaben beteiligten Parteien.
- Das Verständnis der geologisch-hydrogeologischen Prozesse der angetroffenen Gebirgsverhältnisse in einem verkarsteten Gebirge wird gefördert.

- Es werden Grundlagen geschaffen für eine objektive, reproduzierbare und adäquate Beschreibungen der karstrelevanten Gebirgsverhältnisse.
- Die Formulierung adäquater Gebirgsmodelle für den verkarsteten Baugrund wird ermöglicht.
- Die systematische Ableitung nachvollziehbarer Gefährdungsbilder für den verkarsteten Baugrund wird gefördert.
- Die Formulierung und Ausarbeitung geeigneter Untersuchungs- und Erkundungsziele sowie entsprechender Methoden bezüglich karstbezogener Gefährdungen wird gefördert.
- Die Planung und Umsetzung geeigneter und nachhaltiger Bau- oder Schutzmaßnahmen bezüglich Karstgefährdungen wird gefördert.

Die vorliegende Karstnomenklatur soll als Empfehlung für einen einheitlichen Gebrauch karstbezogener Begriffe im Rahmen der ingenieurgeologischen Praxis verstanden werden.



Fig. I-1: Karstquelle des Réseau de Covatannaz (Schweiz).

V. KARSTNOMENKLATUR FÜR INGENIEURGEOLOGEN UND BAUINGENIEURE

1. ÜBERGEORDNETE BEGRIFFE

- KARST
- KARSTGEFÄHRDUNG
- KARSTRISIKO
- BAUTECHNISCH RELEVANTE KARSTERSCHEINUNG
- UNTERSUCHUNGSKONZEPT
- KARSTPROGNOSE
- PROGNOSESICHERHEIT
- KARSTERKUNDUNG
- HOHLRAUMDETEKTION
- DETEKTIONSSICHERHEIT

In diesem Kapitel werden übergeordnete Begriffe vorgestellt, die im Zusammenhang mit der Planung ingenieurgeologischer Untersuchungen in verkarstem Baugrund stehen. Die positiven und negativen Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass für eine nachhaltige Projektrealisierung ein interdisziplinäre Austausch nötig ist und nur gelingt, wenn die grundlegenden Begriffe unmissverständlich definiert sind und von allen Beteiligten verstanden, anerkannt und verwendet werden. Die Verwendung von mehrdeutigen oder falschen Begriffen kann zu Missverständnissen, Fehlentscheidungen bis hin zu einem Verfehlen des Projektziels führen.

Die Untersuchungen der Karstproblematik sind meist ein Aspekt der ingenieurgeologischen Beurteilung und sollten entsprechend im Untersuchungsprogramm zu einem Projekt berücksichtigt werden. Sie können je nach Fragestellung und Kontext umfangreiche Erkundungsmaßnahmen mit sich führen. Es ist Ziel eines Untersuchungskonzeptes, den an einem Projekt beteiligten Parteien aufzuzeigen, zu welchem Zeitpunkt respektive Projektstand, welche karstbezogene Daten benötigen werden, wann welche Erkundungsmethoden zur Prognose und Detektion vorgesehen und welche Erkenntnisunsicherheiten in den einzelnen Projektphasen zu erwarten sind. Während die Karstprognose die zu

erwartende Bandbreite der Eigenschaften bautechnisch relevanter Karsterscheinungen (z. B. der Karsthohlräume) im Untersuchungsperimeter festlegt, hat die Detektion das Ziel, das Vorhandensein und die Eigenschaften der effektiv im Untersuchungsperimeter vorkommenden Karsterscheinung zu bestimmen.

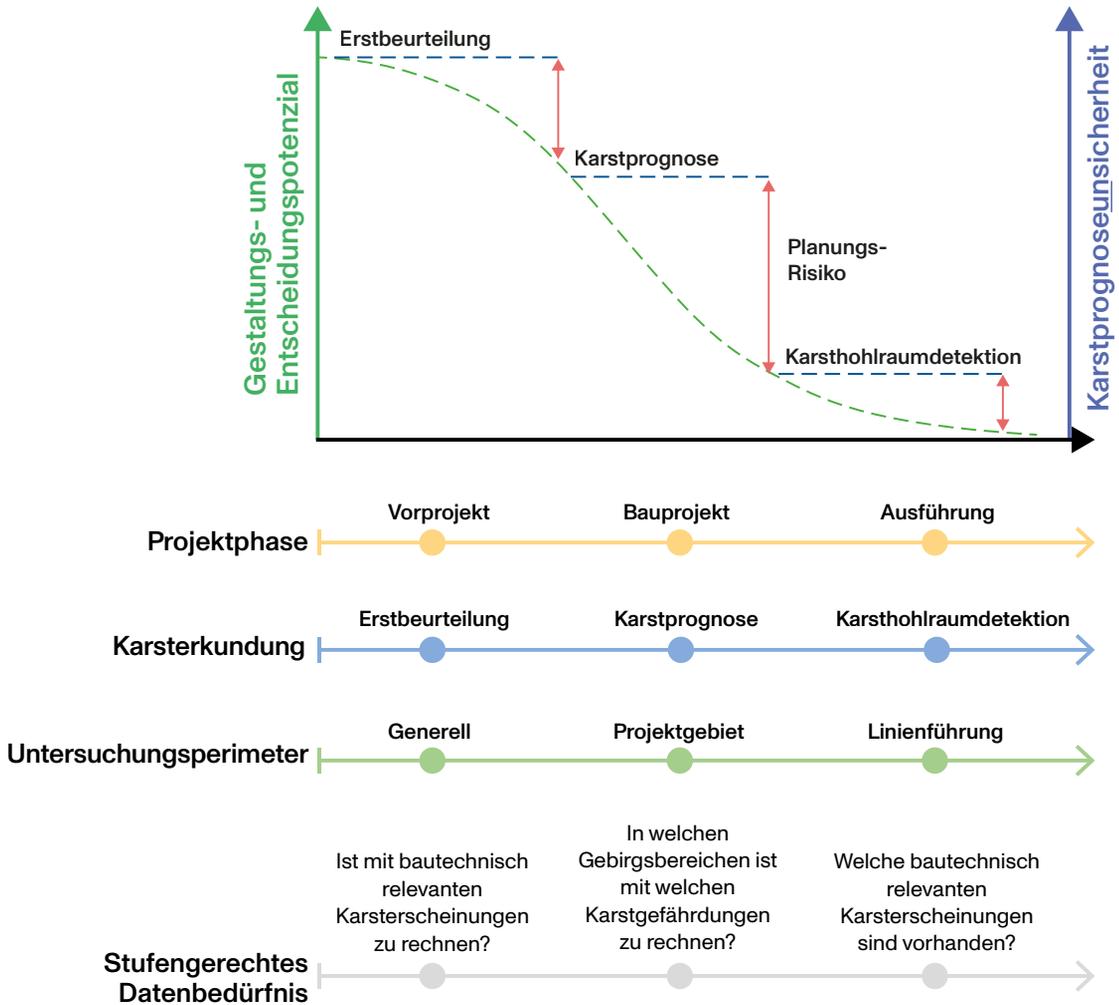


Fig. 1-1: Generelles Untersuchungskonzept und Auswirkungen auf die Karstprognoseunsicherheit sowie die planerischen Gestaltungs- und Entscheidungsmöglichkeiten während der Planung und Realisierung eines Bauprojektes.

1. ÜBERGEORDNETE BEGRIFFE

Literaturempfehlung

- Zupan Hajna N. (2021): **Karst, Caves and People**. Karst Research Institute. ISBN: 9789610504917
- Stevanović Z. (2015): **Karst Aquifers - Characterization and Engineering**. Springer International Publishing. ISBN: 9783319128504
- Ford D., Williams P. (2007): **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. Wiley. ISBN: 978-0470849972
- Palmer A. N. (2007): **Cave Geology**. Cave Books. ISBN: 9780939748662
- Benson R. C., Yuhr L. B. (2016): **Site Characterization in Karst and Pseudokarst Terraines - Practical Strategies and Technology for Practicing Engineers, Hydrologists and Geologists**. Springer International Publishing. ISBN: 9789401799249
- Waltham T., Bell F. G., Culshaw M. G. (2005): **Sinkholes and Subsidence - Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction**. Springer International Publishing. ISBN: 9783540207252
- Milanović P. (2000): **Geological engineering in karst. Dams, reservoirs, grouting, groundwater protection, water tapping, tunneling**. Zebra Publ. Ltd, Belgrade. ISBN: 9788674891254

KARST

Karst ist sensu stricto eine geographische Bezeichnung für ein aus Kalkstein aufgebautes Gebirge im Hinterland des Golfs von Triest.

- *Mit der Entwicklung der Karstkunde als interdisziplinäre Wissenschaft wurde der Begriff weltweit für vergleichbare Landschaften entlehnt. Die alleinstehende Verwendung des Begriffes «Karst» im Sinne eines Sammelbegriffes für die Beschreibung von Formen, Aquiferarten oder Prozessen ist üblich, wird jedoch nicht empfohlen, da dies oft zu Mehrdeutigkeiten führt. Es wird empfohlen die expliziten Bezeichnungen zu verwenden, wie «Karstlandschaften», «Karsterscheinungen», «Karstaquifer», «Karsthohlräume» usw.*

KARSTGEFÄHRDUNG

Eine Karstgefährdung beschreibt, in Abhängigkeit von den Eigenschaften einer oder mehrerer Karsterscheinungen, einen Zustand oder einen Vorgang, aus dem ohne Maßnahmen in absehbarer Zeit und mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ein Schaden an einem Schutzgut (Personen, Umwelt oder Sachwerte) entstehen kann (vgl. «bautechnisch relevante Karsterscheinung»).

- *Im Gegensatz zur Gefahr beschreibt ein Gefährdungsbild die Auswirkung im Baugrund aufgrund einer Gefährdung oder einer Kombination mehrerer Gefährdungen.*
- *Die Bautätigkeiten in einem verkarsteten Gebirge erzeugen Gefährdungen, die in anderen geologischen Formationen nicht oder nicht in diesem Ausmaß vorkommen (z. B. Hohlräume mit einer Profilfläche von mehreren Zehnerquadratmetern).*
- *Die karstbezogenen Gefährdungen sind oft nur ein Aspekt der Gesamtheit aller Gefährdungsbilder, die in einer verkarsteten Landschaft oder im verkarsteten Gebirge vorherrschen können.*
- *Die Beurteilung der ingenieurgeologischen Gefährdungen verlangt neben einem guten geologischen auch bautechnisches Verständnis, damit der Zusammenhang zwischen den geologischen Verhältnissen und den projektspezifischen bautechnischen Zusammenhängen erkannt, beurteilt und angemessen beschrieben werden kann.*
- *Verkarstetes Gebirge, das aus Sulfatgesteinen aufgebaut ist, weist grundsätzlich vergleichbare Karsterscheinungen und damit verbundene Karstgefährdungen auf wie Karstgebiete in verkarstungsfähigen Karbonatgesteinen. Die markant höhere Löslichkeit und Lösungskinetik von Gips und Anhydrit führt jedoch dazu, dass die zeitliche Veränderung der Karstgefährdung in Sulfatgesteinen akzentuierter ist als in Karbonatgesteinen.*

KARSTRISIKO

Als Risiko wird allgemein das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und dem Schadensausmaß als Konsequenz aus dem Ereignis definiert. Das gilt für karstbezogene Risiken gleichermaßen.

- Risikomindernde Maßnahmen sind Maßnahmen, die das Schadensausmaß oder die Eintrittshäufigkeit einer Gefahr verringern.
- Die Bewertung des Karstrisikos ist gekennzeichnet durch Gefährdungsbilder mit kleinem Schadensausmaß und einer größeren Eintrittswahrscheinlichkeit sowie seltenen Ereignissen mit sehr großem Schadensausmaß wie z. B. das Aufgeben eines Tunnelvortriebs wegen massivem Karstwasserzutritt.
- Die heterogene Verteilung der Verkarstungseigenschaften in einem verkarsteten Gebirge (vgl. «Konzept der Initialfugen» und «Konzept der speläogenetischen Bereiche») führt dazu, dass ein Baugrund in Bereiche unterschiedlicher Karstrisiken unterteilt werden kann.

BAUTECHNISCH RELEVANTE KARSTERSCHEINUNG

Eine Karsterscheinung ist bautechnisch relevant, wenn sie ein Gefährdungsbild hervorruft, das zu bautechnischen Schwierigkeiten führen kann.

- Die Eigenschaften, die dazu führen, dass eine Karsterscheinung bautechnisch relevant ist, sind projektspezifisch festzulegen. Dies bedeutet, dass z. B. nicht jede Karsterscheinung eine Gefährdung darstellt. Diese hängt neben den Eigenschaften des Karsthohlraumes (wie z. B. Hohlraumgröße, Wasserführung, Sedimentfüllung) auch von den Projektparametern ab, wie der Geometrie des Bauvorhabens und der Baumethode.

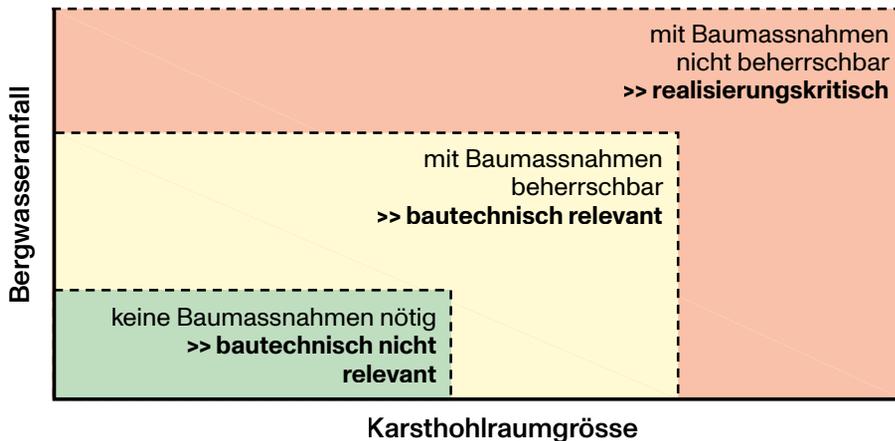


Fig. 1-2: Schematische Darstellung der Beurteilung der bautechnischen Relevanz einer Karsterscheinung.

UNTERSUCHUNGSKONZEPT

Das Untersuchungskonzept hat zur Aufgabe, den an einem Projekt beteiligten Parteien aufzuzeigen, zu welchem Projektstand welche Daten benötigt werden, wann welche Erkundungsmethoden zur Prognose und Detektion vorgesehen und welche Erkenntnissicherheiten in den einzelnen Projektphasen zu erwarten sind.

- *Das Untersuchungskonzept soll als dynamisches Werkzeug verwendet werden, das sich in den verschiedenen Projektphasen bezüglich der Fragestellungen und des Detaillierungsgrades der zu erhebenden Eigenschaften anpasst.*
- *Zur Erarbeitung eines adäquaten Untersuchungskonzeptes ist es erforderlich, neben einem guten Verständnis der geologischen Situation auch ein ausreichendes Verständnis der spezifischen bautechnischen und umweltrelevanten Erfordernisse zu haben.*
- *Die Erstabklärung bezüglich Karstgefährdung erfolgt idealerweise in einem frühen Stadium der Projektplanung, da die Beurteilung der Karstgefährdung im Rahmen einer Karstprognose häufig eine Anpassung des generellen Untersuchungsprogramms verlangt.*

KARSTPROGNOSE

Die Karstprognose ist eine probabilistische Vorhersage der Karstgefährdungen für den Bau- und den Betrieb eines Bauobjektes.

Die Karstprognose stellt die relevanten Daten für die Einschätzung von Karstgefährdungen und die Planung adäquater und nachhaltiger risikomindernder Maßnahmen sicher. Damit werden Bauabläufe und Baukosten bezüglich dieser Risiken besser planbar.

- *Aufgrund der zahlreichen Faktoren, die eine Gebirgsverkarstung beeinflussen, können mögliche verkarstete Bereiche prognostiziert, die exakte Raumlage und Eigenschaften von Karsthohlräumen wie Art, Dimension, Wasserführung etc., allerdings a priori nicht detailliert vorhergesagt werden. Eine Karstprognose ist daher eine probabilistische Vorhersage.*
- *In der Praxis sind verschiedene Ansätze und Methoden zur Karstprognose in Anwendung. Diese unterscheiden sich unter anderem*
 - *in ihrem Anwendungsbereich (z. B. Karstprognose für Fundationen/Gründungen oder Untertagebau),*
 - *im erwarteten geologischen, hydrogeologischen und karstgenetischen Kontext (z. B. alpine, vadose, epigene Verkarstung),*
 - *in den methodischen Ansätzen (z. B. Modellierung, statistisch)*
 - *in der Art der Berücksichtigung speläogenetischer Konzepte (z. B. Konzept der speläogenetischen Bereiche),*
 - *in der benötigten Datengrundlage (z. B. speläologische Daten),*
 - *in der Aussage (z. B. qualitativ oder quantitativ).*
- *Bei komplexen Projekten können für spezifische Fragestellungen oder verschiedene Projektphasen unterschiedliche Prognosemethoden mit anderen Ansätzen und Datengrundlagen zur Anwendung kommen.*

1. ÜBERGEORDNETE BEGRIFFE

PROGNOSESICHERHEIT

Die Prognosesicherheit ist ein qualitatives oder quantitatives Mass für das Zutreffen der prognostizierten Karstgefährdungen im Rahmen einer Karstprognose.

- Je nach Betrachtungsweise wird anstatt «Karstprognosesicherheit» auch «Karstprognoseunsicherheit» verwendet.
- Die Karstprognose folgt in der Regel den Projektphasen oder Projektstufen der Planung, der Realisierung und des Betriebs. Das Baugrundmodell wird dabei stufengerecht, iterativ verbessert, in der Absicht, eine adäquate Datengrundlage und ein Verständnis als Grundlage für die Projektierung, die Realisierung und den Betrieb zu erreichen. Dabei nimmt in der Regel die Prognosesicherheit zu.
- Obschon die Prognosesicherheit durch iterative Baugrunduntersuchungen erhöht wird, können auch gegen Planungsende oder nach der Realisierung Unsicherheiten bezüglich Karstgefährdung vorhanden bleiben. Es liegt in der Natur der Karstprognose, dass die «absolute» Prognosesicherheit nicht erreicht werden kann.
- Die Prognosesicherheit hängt ab:
 - vom Untersuchungsprogramm (Design und/oder Ausführung),
 - von der Datengrundlage (Qualität und/oder Quantität),
 - von der Dateninterpretation (Verständnis, siehe Fig. 1-3),
 - von der Beurteilung (Ableitung der Gefährdung).

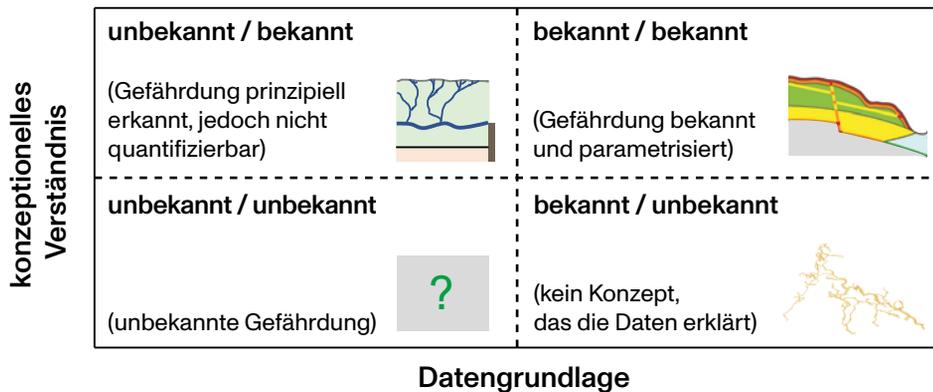


Fig. 1-3: Illustrierter Zusammenhang der Prognosesicherheit bezüglich Datengrundlage und Verständnis. Es gibt Baugrundeigenschaften, die weder quantitativ noch qualitativ bekannt sind, d. h. sie stellen eine unbekannte Gefährdung dar. Dem gegenüber steht die Situation, wenn alle Gefährdungen bekannt und parametrisiert sind, weil alle relevanten Baugrundeigenschaften bekannt sind und das System verstanden wird. Ein Problem entsteht, wenn aus Unkenntnis keine sachgerechte Datenerhebung durchgeführt wird. Dann werden auch die Datensätze in fortgeschrittenen Projektstufen keinen Hinweis auf die noch unbekanntes Gefährdungen geben.

KARSTERKUNDUNG

Die Karsterkundung ist das Untersuchungsprogramm zur Charakterisierung der bautechnisch relevanten Eigenschaften von Karsterscheinungen zur Bestimmung der Karstgefährdung und Planung der risikomindernden Maßnahmen für die Bau- und Betriebsphasen. Sie liefert die Datengrundlage für ein kongruentes Verständnis des verkarsteten Baugrundes für alle an einem Projekt Beteiligten.

- *Die ingenieurgeologischen Untersuchungen in einem verkarsteten Baugrund unterscheiden sich zu normalen Baugrunduntersuchungen dadurch, dass:*
 - *die verkarstungsbezogenen Eigenschaften eines Gebirges zusätzliche Eigenschaften zu den «üblichen» ingenieurgeologischen Gebirgseigenschaften darstellen,*
 - *die Untersuchungen in Karstgebieten in der Regel umfangreicher sind als in anderen Baugründen und eine Vielzahl von Untersuchungsmethoden beinhalten können,*
 - *die räumliche Heterogenität und zeitliche Variabilität der Verkarstungseigenschaften eine angepasste Beobachtungs-,*
- Beprobungs- und Messstrategie erfordern,*
 - *häufig die Daten nicht nur für das engere Projektgebiet, sondern für das ganze Karstsystem erfasst werden,*
 - *häufig nur die Bandbreite der Eigenschaften der möglichen Karsterscheinungen und nicht die Eigenschaften einer spezifischen Struktur beschrieben werden kann,*
 - *es in der Natur eines verkarsteten Baugrunds liegt, dass die verbleibende Unsicherheit nach der Erkundung - verglichen mit anderen Gefährdungen - meist noch relativ groß ist.*

HOHLRAUMDETEKTION

Die Hohlraumdetektion stellt eine Maßnahme zur Erkundung dar. Sie hat zum Ziel, die bautechnisch relevanten Hohlräume in einem Gebirgsbereich zu erkennen und deren exakte Lage und Eigenschaften zu beschreiben.

- *Die Verwendung der Bezeichnung «Karstdetektion» als Synonym für «Hohlraumdetektion» wird nicht empfohlen, da sie mehrdeutig sein kann.*
- *Mit den Ergebnissen der Hohlraumdetektion lassen sich allfällige Baugrundverbesserungsmaßnahmen einleiten oder bautechnische Maßnahmen vorbereiten, um die Karsterscheinungen sicher, wirtschaftlich und nachhaltig zu durchhörern.*
- *Der Hohlraumdetektion kommt bei der Erkundung im verkarsteten Baugrund eine besondere Rolle zu, da die räumliche Verteilung und Eigenschaften der Karsterscheinungen, insbesondere der Karsthohlräume, sehr heterogen ist.*
- *Typische Hohlraumdetektionsmethoden sind:*
 - *geophysikalische Methoden, wie z. B. Georadar, Seismik, Gravimetrie,*

- Aufschluss-Methoden, wie z. B. Sondierungen, Bohrungen.
- Zur bautechnischen Beherrschung der Karstgefährdungen reicht es nicht aus zu wissen, dass und wie das Gebirge verkarstet ist, es ist

auch nötig, die relevanten Karsthohlräume zu detektieren, da bautechnische Maßnahmen zum Teil direkt in den Karsthohlräumen angewendet werden müssen, um erfolgreich zu sein.

DETEKTIONSSICHERHEIT

Die Detektionssicherheit ist ein qualitatives oder quantitatives Maß dafür, dass eine bestimmte Detektionsmethode eine gewisse Eigenschaft detektiert.

- Eine «absolute» Detektionssicherheit ist nur mit extrem großem Aufwand möglich.
- Die Detektionssicherheit ist dem Erkundungsaufwand und dem Ereignisrisiko gegenüberzustellen.
- Bei der Detektionssicherheit kann zwischen Fehlern 1. Art und 2. Art unterschieden werden (Fig. 1-4). Die Detektionssicherheit der beiden Fehlerarten muss nicht gleich sein.

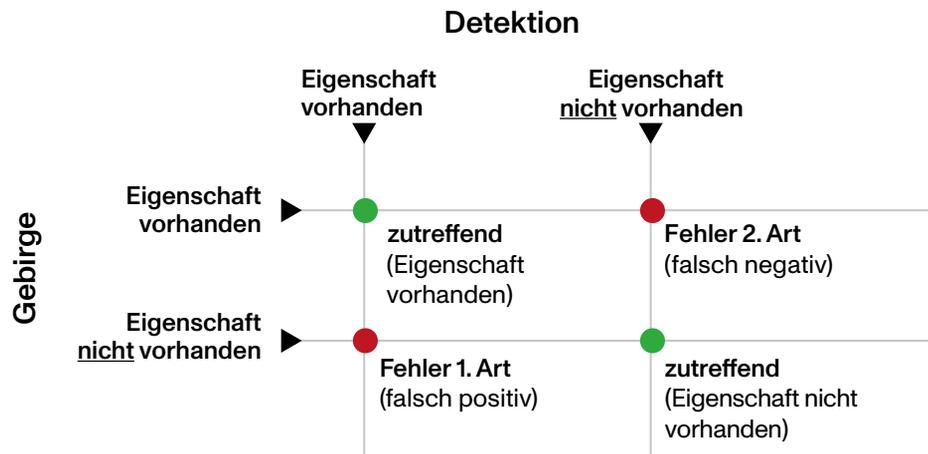


Fig. 1-4: Bei der Detektionssicherheit ist es oft sinnvoll zwischen Fehlern 1. Art und 2. Art zu unterscheiden.

PRAXISTIPP

BEURTEILUNG DER KARSTGEFÄHRDUNG MIT DER KarstALEA-METHODE

Die KarstALEA-Methode ist eine Untersuchungsmethode für die Karst-Risikobeurteilung im Untertagebau. Die Methode stellt eine Ergänzung zu den üblichen geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen im Rahmen einer Tunnelprojektierung dar. Sie ermöglicht eine stufen- und projektgerechte Charakterisierung des verkarsteten Gebirges und der karstspezifischen Gefahren.

Das Ziel der Methode ist es nicht die "wahre" Geometrie eines Karströhrensystems zu prognostizieren (d. h. die genaue Lage und Eigenschaften der Karströhren), sondern die Unterteilung eines Gebirges in bautechnisch sinnvolle Gebirgsbereiche mit unterschiedlichen Karstgefährdungsbildern und Auftretenswahrscheinlichkeiten.

Die KarstALEA-Methode wird als iteratives Verfahren angewendet zur stufen- und projektgerechten Charakterisierung eines verkarsteten Gebirgsbereichs. Die Methode ermöglicht die karstspezifischen Gefahren zu bestimmen, die Termin- und Kostenfolgen besser zu beurteilen sowie Maßnahmen zur Reduktion der Planungs-, Ausführungs- und Betriebsrisiken zu planen.

Die KarstALEA-Methode basiert hauptsächlich auf den folgenden Konzepten:

- Karstaquifere entwickeln sich nur in verkarstungsfähigen Gesteinseinheiten mit einer Mindestmächtigkeit.
- Konzept der karsthydrologischen Zonen (ein verkarstetes Gebirge kann in hydrogeologische Zonen unterteilt werden).
- Konzept der Initialfugen (Karsthohlräume entwickeln sich bevorzugt entlang weniger Trennflächen mit spezifischen Eigenschaften).
- Konzept der speläogenetischen Bereiche (ein verkarstetes Gebirge kann in Homogenbereiche mit spezifischen Eigenschaften des Karströhrennetzes unterteilt werden).

Die KarstALEA-Methode beinhaltet sieben Bearbeitungsschritte, wobei der Untersuchungsmaßstab der Methode nicht nur das Projektgebiet, sondern das ganze Karstgebiet umschließt. Die Arbeitsschritte werden als « Modelle» bezeichnet.

- 1) Das geologische Modell basiert auf den geologischen Rahmenuntersuchungen und dient als Basis für die folgenden Bearbeitungsschritte. Dabei handelt es sich mindestens um ein vereinfachtes geologisches Modell, das die Gesteinseinheiten in verkarstungsfähige und nicht verkarstungsfähige gliedert und die wichtigsten tektonischen Störungen beinhaltet.
- 2) Das hydrogeologische Modell unterteilt das Gebirge in hydrogeologische Zonen (vados, epiphreatisch und phreatisch) und beschreibt die räumliche und zeitliche Verteilung und Variation der hydraulischen Druckhöhen und hydraulischen Eigenschaften. Das Modell weist die bekannten und möglichen Einzugs- und Quellgebiete aus.
- 3) Das speläogenetische Modell unterteilt das Gebirge in speläogenetische Bereiche und beschreibt die Eigenschaften der Karsthohlräume in den einzelnen

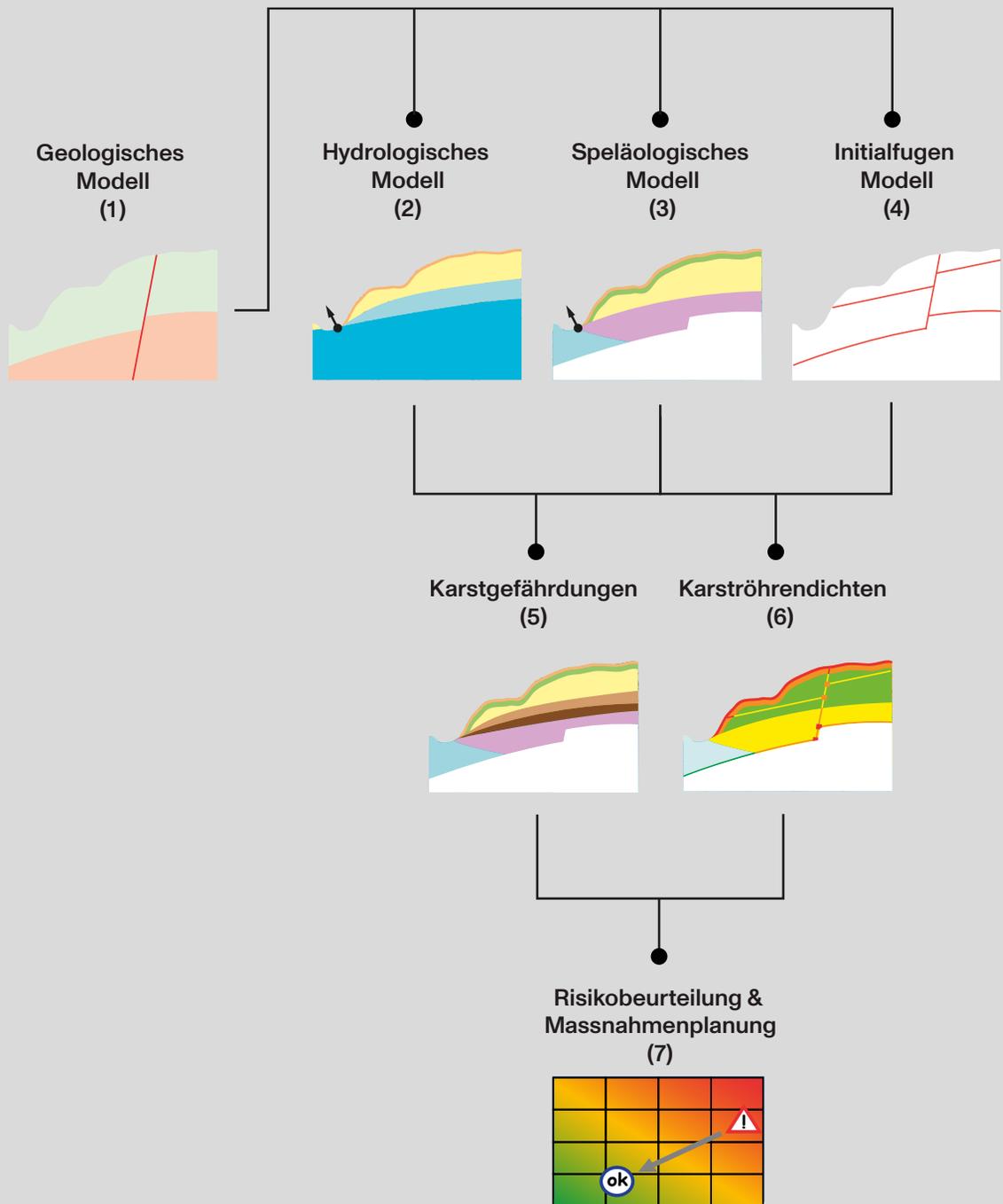


Fig. 1-5: Das Prinzip der KarstALEA-Methode: Die Karstprognose basiert auf einer Kombination karst-hydrologischer Aspekte und speläogenetischer Konzepte.

Bereichen wie (z. B. Verteilung von Karsthohlraumgrößen, Sediment-, Wasserführung, Karströhrendichte).

- 4) Im Modell der Initialfugen werden die lithologischen und tektonischen Diskontinuitäten bestimmt, beschrieben und dargestellt, die den Verlauf der Karsthohlräume im regionalen Maßstab beeinflussen.
- 5) Basierend auf der Kombination der Modelle der speläogenetischen Bereiche und der Initialfugen wird die räumliche Verteilung der Karströhrendichten im Untersuchungsgebiet bestimmt.
- 6) Durch die Kombination der speläogenetischen Bereiche mit den hydrogeologischen Zonen werden die Karstgefährdungen beschrieben und räumlich abgegrenzt.
- 7) Aus der Kombination der Karströhrendichte (Modell 5) und den Karstgefährdungen (Modell 6) wird das Karstrisiko bestimmt.

Die grundlegenden Konzepte der KarstALEA-Methoden wurden vorwiegend an epigenen Karstsystemen in Kalkgesteinen untersucht. Dort ist die Methode meist uneingeschränkt anwendbar. In anderen Lithologien (z. B. Sulfatgesteinen) und speläogenetischen Verhältnissen (z. B. hypogene Speläogenese) muss die KarstALEA-Methode angepasst werden.

Literaturempfehlung

- Filipponi M., Parriaux A., Schmassmann S., Jeannin P.-Y. (2012): **KarstALEA - Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau**. Forschung im Strassenwesen Bericht 1395. UVEK, ASTRA, Bern.
www.mobilityplatform.ch

2. RÄUMLICHE ABGRENZUNG VON VERKARSTUNGSEIGENSCHAFTEN

- VERKARSTUNGSFÄHIGE GESTEINSEINHEIT
- VERKARSTUNGSPOTENZIAL
- KARSTLANDSCHAFT
- PALÄO-KARSTLANDSCHAFT
- KARSTGEBIET
- KARSTSYSTEM
- VERKARSTETES GEBIRGE
- VERKARSTETER BAUGRUND
- GEBIRGSBEREICH MIT UND OHNE KARSTERSCHEINUNGEN
- VERKARSTETE HOMOGENBEREICHE
- VERKARSTUNGSBASIS
 - SPELÄOGENETISCHE VERKARSTUNGSBASIS
 - LITHOLOGISCHE VERKARSTUNGSBASIS
- ANHYDRIT- UND GIPSSPIEGEL

Die Charakterisierung des Baugrunds ist die Grundlage der meisten ingenieur-geologischen, hydrogeologischen, geo- und umwelttechnischen Projekte.

Das Ziel der Standortcharakterisierung ist eine räumlich abgegrenzte Beschreibung der Baugrundverhältnisse und eine Minimierung der geologischen Unsicherheiten bis zu einem Niveau, von dem aus die geologischen Gefährdungen abgeleitet und räumlich zugewiesen werden können. Anhand der Gefährdungsbilder lassen sich angemessene Bau-, Schutz- oder Sanierungsmaßnahmen planen und in der Ausführung anwenden. Dies erfordert das standortbezogene Verständnis der geologischen, hydrologischen und ingenieurtechnischen Eigenschaften sowie der räumlichen und zeitlichen Variabilität dieser Eigenschaften.

Hinsichtlich der Karstgefährdung unterscheidet sich die Standortcharakterisierung gegenüber anderen geologischen Gefährdungen darin, dass der erforderliche

Untersuchungsperimeter den Projektperimeter häufig bei Weitem überragt und die Karstgefährdungen räumlich und zeitlich stark variieren können. So bedeutet beispielsweise das Vorhandensein von verkarstungsfähigen Gesteinseinheiten nicht zwangsläufig, dass der Baugrund verkarstet ist. Ferner weisen in einem verkarsteten Baugrund nicht alle Gebirgsbereiche die gleichen Verkarstungseigenschaften auf. So gibt es Gebirgsbereiche mit und ohne Karsterscheinungen, wobei eine Karsterscheinung nicht in allen Fällen bautechnisch relevant sein muss (Fig. 2-1). Erschwerend kommt hinzu, dass die Verkarstungseigenschaften räumlich heterogen verteilt vorkommen. Dies erklärt unter anderem, wieso die Standortcharakterisierung bezüglich Karstgefährdung oft eine besondere Herausforderung darstellt und meist umfangreiche Erkundungsmaßnahmen verlangt.

Literaturempfehlung

- Benson R. C., Yuhr L. B. (2016): **Site Characterization in Karst and Pseudokarst Terraines - Practical Strategies and Technology for Practicing Engineers, Hydrologists and Geologists**. Springer International Publishing.
ISBN: 9789401799249
- Bošak, P., Ford D. C., Glazek J., Horáček I. (2015): **Paleokarst – a systematic and regional review**. Elsevier Science.
ISBN: 9780444988744

2. RÄUMLICHE ABGRENZUNG VON VERKARSTUNGSEIGENSCHAFTEN

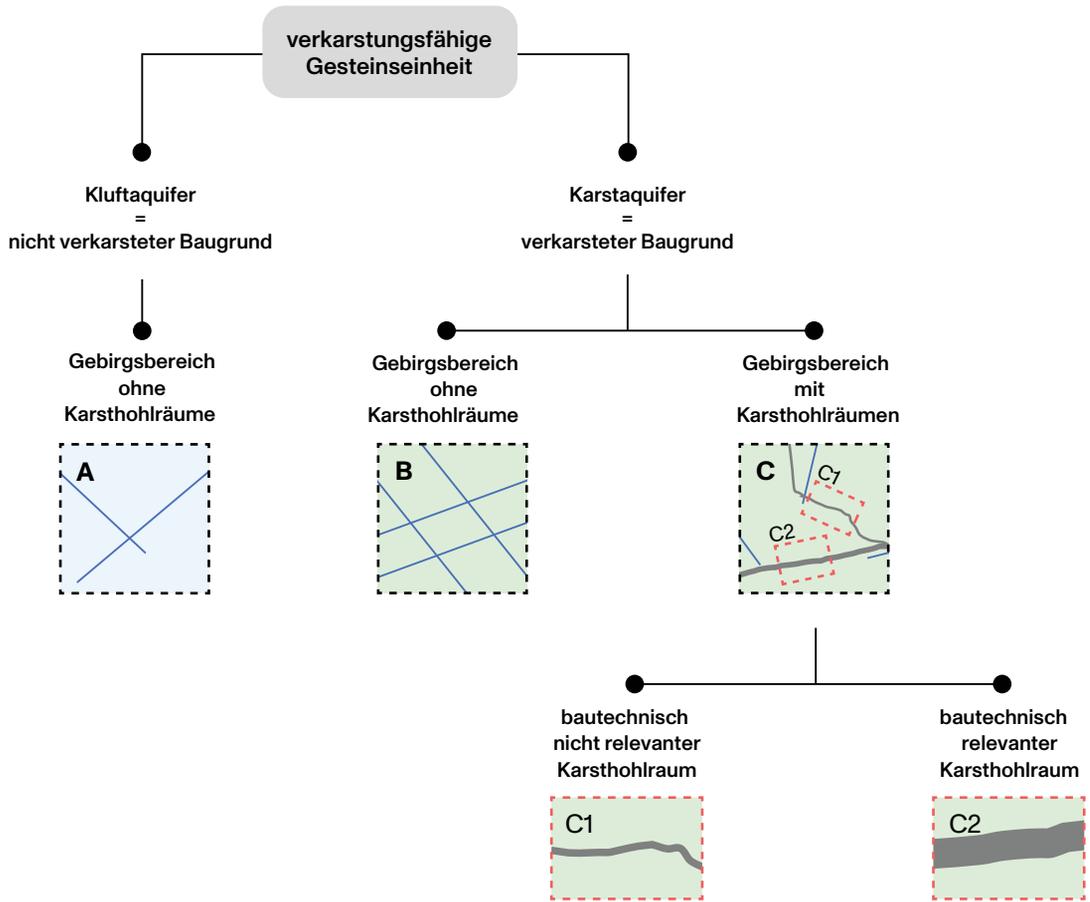
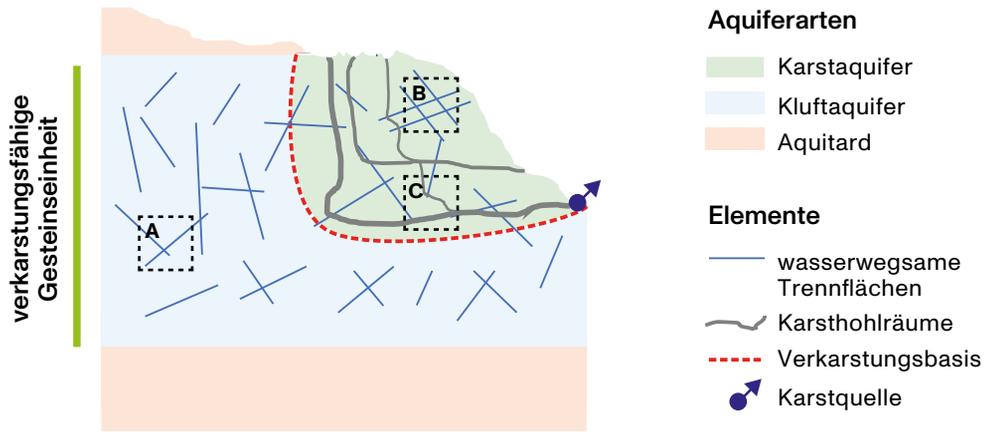


Fig. 2-1: Ein Gebirge aus verkarstungsfähigen Gesteinseinheiten ist nicht zwingend ein verkarsteter Baugrund und in einem verkarsteten Baugrund weisen nicht alle Gebirgsbereiche Karsterscheinungen respektive Verkarstungseigenschaften auf und vorhandene Karsterscheinungen sind nicht per se bautechnisch relevant.





13. HÖHLENKUNDLICHE BEGRIFFE

- SPELÄOLOGIE
- SPELÄOLOGISCHE DATEN
- HÖHLENKATASTER / HÖHLENARCHIV
- HÖHLENVERMESSUNG
- HÖHLENPLAN
- HÖHLENVERMESSUNGSDATEN
- HÖHLENBESCHREIBUNG
 - LÄNGE / TIEFE EINER HÖHLE
 - HÖHLENTYP
 - PROFILFORM EINES HÖHLENGANGES
 - HÖHLENGANGVERLAUF
 - ANLAGE EINES HÖHLENGANGES
 - HÖHLENNIVEAU
- HÖHLESEDIMENT
 - SPELÄOTHEME
 - HÖHLENSINTER
 - TROPFSTEINE
- HÖHLENFORSCHUNG
- HÖHLENKLIMATOLOGIE
- BIOSPELÄOLOGIE
- HÖHLEN- UND KARSTSCHUTZ
- HÖHLENFORSCHENDE GESELLSCHAFT

Speläologische Daten stellen für ingenieurgeologische Betrachtungen im verkarsteten Baugrund eine wichtige Datenquelle dar. Häufig sind von einem Karströhrensystem, wenn überhaupt, nur die von Höhlenforschern erkundeten und vermessenen Höhlen bekannt. Diese Beobachtungen und Daten werden meist als «graue Literatur» veröffentlicht und in Höhlenkatastern gesammelt. Um diese höhlenkundliche Literatur und Daten besser zu finden, verstehen und für ingenieurgeologische oder hydrogeologische Fragestellungen einordnen

zu können, ist es nützlich sich mit einige speläologische Begriffe vertraut zu machen.

Die Höhlenkunde, respektive Speläologie, besitzt ein spezifisches Vokabular. Populär und auffällig ist dies im Zusammenhang mit der Benennung von Speläothemen (Tropfsteinen) und höhlenmorphologischen Kleinstrukturen, beispielsweise der Fließfacetten an Höhlenwänden. Auf diese Bezeichnungen wird in diesem Kapitel nicht eingegangen. Vielmehr wird das Augenmerk auf Begriffe gelegt, die dem Wissens- und Erfahrungstransfer von der (meist ehrenamtlich praktizierten) Höhlenforschung in die ingenieurgeologische Praxis dienlich sind.



Fig. 13-1: Die Tätigkeiten eines Höhlenforschers sind facettenreich. Links: Einrichten von Seilen für die Befahrung eines Schachtes. Rechts oben: Die Begehrbarkeit eines Höhlenganges wird manchmal durch die Größe des Höhlenforschers bestimmt. Rechts unten: Ein Höhlenforscher nimmt eine Wasserprobe für weitere Untersuchungen im Labor.

Literaturempfehlung

- Zaenker S., Bogon K., Weigand, A. (2020): **Die Höhlentiere Deutschlands**. – Quelle & Meyer Verlag; Wiebelsheim.
ISBN: 978-3-494-01831-7
- Palmer A. N. (2007): **Cave Geology**. Cave Books.
ISBN: 978-0939748662
- Hill C. A., Forti P. (1997): **Cave Minerals of the World**. National Speleological Society NSS.
ISBN: 978-1879961074
- Trimmel H. (1982): **Höhlenkunde**. Vieweg.
ISBN 3528071265
- Bögli A. (1978): **Karsthydrographie und physische Speläologie**. Springer.
ISBN: 978-3-662-08052-8
- **Speläo-Merkblätter**. Verband Österreichischer Höhlenforscher.
www.hoehle.org
- **Safe Speleo – Sicheres Höhlenforschen**. Schweizerische Gesellschaft für Höhlenforschung.
www.speleo.ch

SPELÄOLOGIE

Die Speläologie ist der Fachbegriff für «Höhlenkunde». Ziel ist die Erforschung von Höhlen (und Karstlandschaften). Es ist eine explizit interdisziplinäre Wissenschaft, die viele Teilbereiche zusammenführt, unter anderem die Geomorphologie, Geologie, Hydrologie, Biologie, Archäologie, Klimatologie, Kartographie.

- *Speläologie und Höhlenkunde können als Synonyme verwendet werden*
- *Die Speläologie befasst sich nicht ausschließlich mit Höhlen in Karstgebieten.*
- *Neben der universitären Forschung erfolgt ein großer Teil der speläologischen Forschungsaktivitäten ehrenamtlich organisiert in höhlenforschenden Gesellschaften.*

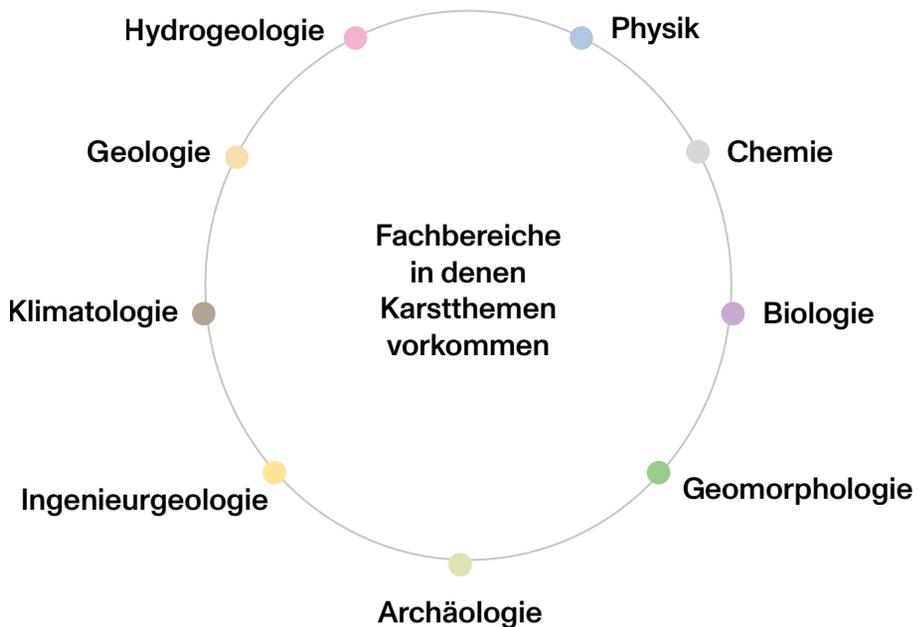


Fig. 13-2: Die Speläologie ist eine interdisziplinäre Wissenschaft, die viele Teilbereiche zusammenführt. In der Grafik sind wesentliche Themenbereiche aufgeführt.

SPELÄOLOGISCHE DATEN

Unter speläologischen Daten werden höhlenspezifische Daten verstanden, wie zum Beispiel:

- Lage von Höhleneingängen,
- Höhlenpläne,
- Höhlenbeschreibungen,
- Höhlenvermessungsdaten,
- biologische, klimatische, geologische und hydrogeologische Beobachtungen,
- Bildmaterial.

- *Als Synonym für «speläologische Daten» wird je nach Kontext auch «speläologische Dokumentation» verwendet.*
- *Die speläologischen Daten werden oft als «graue Literatur» veröffentlicht. Kopien der Daten werden meist in Höhlenarchiven aufbewahrt und bedarfsweise zugänglich gemacht.*
- *Die speläologischen Daten werden*

HÖHLENKATASTER / HÖHLENARCHIV

Das Höhlenkataster ist die zentrale Sammelstelle für speläologische Daten.

- *Die Archive werden in der Regel regional und ehrenamtlich von den höhlenforschenden Gesellschaften geführt. Die Daten stammen weitgehend von den ehrenamtlichen Forschungstätigkeiten der Höhlenforscher.*
- *Die Zugänglichkeit zu den Archivdaten erfolgt meist über die höhlenforschenden Gesellschaften.*
- *Welche Daten aufgenommen werden, wird von den Archiven unterschiedlich gehandhabt. So wird meist eine Minimallänge einer Höhle vorausgesetzt (>5 m oder >10 m) oder es werden nur definierte Daten angenommen (z. B. nur digitale Daten).*
- *Neben Höhlenkatastern existieren in größeren Karstgebieten z. B. auch Dolinenkataster, Subrosionskataster o. ä.*

HÖHLENVERMESSUNG

Unter Höhlenvermessung wird der Prozess der Herstellung eines Höhlenplanes verstanden.

HÖHLENPLAN

Der Höhlenplan ist eine kartografische Repräsentation einer Höhle in verschiedenen Ansichten (Grundriss, Aufriss abgewickelt und Querschnitte).

- *In der Regel wird der Höhlenplan detailgetreu im Maßstab zwischen 1:100 und 1:500 gezeichnet. Im Höhlenplan werden neben der Morphologie des Hohlraums auch Beobachtungen über Höhlensedimente, Hydrogeologie, Geologie, Höhlenklima, Knochenfunde und weitere Besonderheiten eingetragen. Der Höhlenplan ist die Grundlage für die fachwissenschaftliche Beurteilung einer Höhle.*

PRAXISTIPP

WIE WIRD EINE HÖHLE VERMESSEN?

Die Vermessung einer Höhle beginnt in der Regel bei einem Höhleneingang. Ein Messpunkt am Eingang der Höhle, dessen Koordinaten bekannt sind, bildet den Referenzpunkt der Höhlenvermessung. Von diesem Punkt aus werden Distanz, Richtung und Neigung zum ersten Messpunkt in der Höhle gemessen (Sichtkontakt). Zudem werden die Raumdimensionen an den Messpunkten (links, rechts, oben, unten) aufgenommen und eine Skizze des Höhlengangs im Bereich der Messstrecke im Grund- und Aufriss sowie charakteristischer Profile gezeichnet. Danach wird von diesem Messpunkt aus auf dieselbe Weise die Messstrecke zum nächsten Messpunkt gemessen. Die Aneinanderreihung der Messstrecken ergibt einen Polygonzug (Streckenzug). Basierend auf dem Polygonzug und den Raumdimensionen kann die Höhle auch als 3D-Modell dargestellt werden, was insbesondere bei längeren oder komplexeren Höhlensystemen sehr hilfreich ist.

Bis in die 2010er Jahren wurden Höhlen "konventionell" vermessen. Die Distanz zwischen zwei Messpunkten wurde mit einem Maßband gemessen; die Neigung mit dem Klinometer und das Azimut mit dem Kompass. Auf Basis dieser Messungen wurde der Polygonzug vom Höhlenplanzeichner auf Millimeterpapier übertragen. Dieser diente als Grundgerüst für das freihändige Zeichnen des Höhlenplans. Inzwischen hat sich die digitale Vermessung etabliert: Dazu wird ein Laser-Entfernungsmesser mit eingebautem Kompass und Neigungsmesser benützt. Mittels drahtloser Übertragung werden die Daten in der Höhle an einen Taschencomputer übertragen. Auf diesem wird der Polygonzug dargestellt und der Höhlenplan direkt digital gezeichnet.

Ein guter Höhlenplan stellt nicht nur den Verlauf und Geometrie der Höhlengänge dar, sondern enthält unter anderem auch Informationen zur Geologie, der Wasserführung, dem Vorkommen von Sedimenten, höhlenklimatischen Beobachtungen oder Knochenfunden.

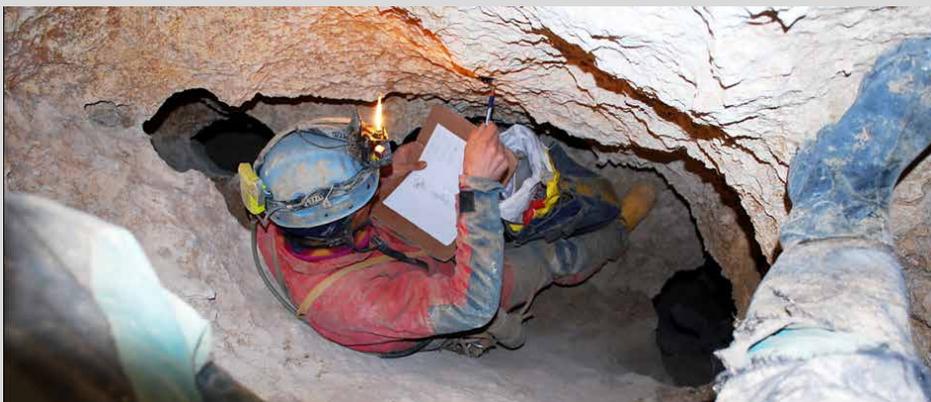
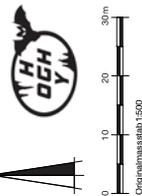
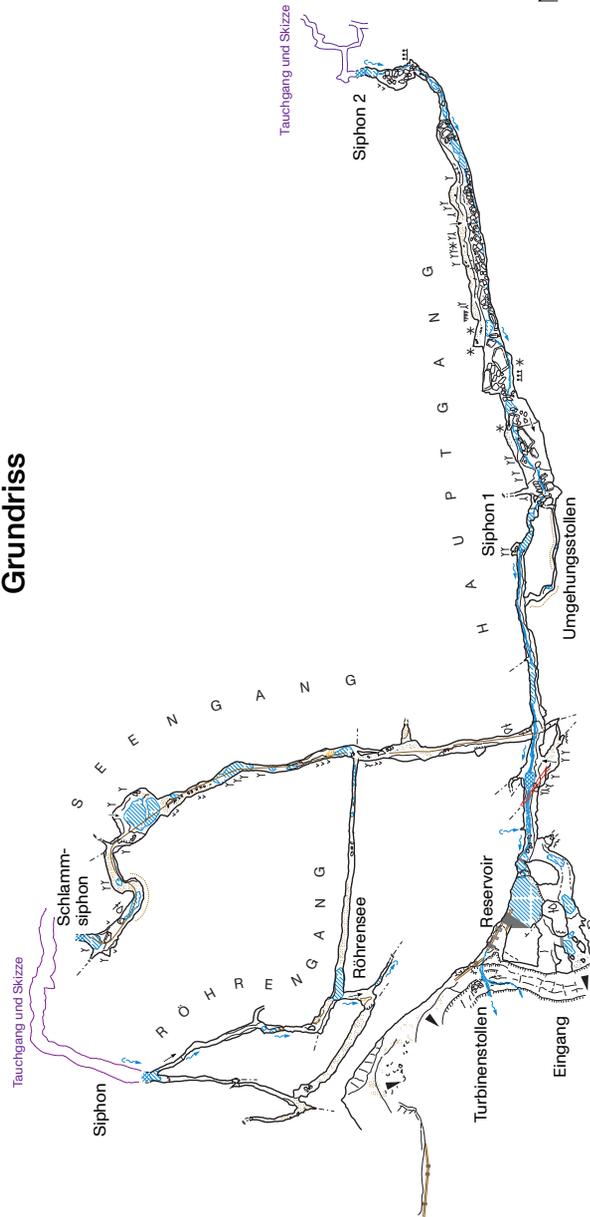


Fig. 13-3: Höhlenforscher beim Zeichnen eines Höhlenplans.

Furliwasserhöhle

Kataster-Nr. SZ 30/18, 30/22
 Gmde./Kt. Unteriberg / SZ
 Höhe ü.M. 1'255 m
 Länge 512 m
 Tiefe 16 m (-2, +14 m)
 Vermessung HGJ / OGH - 2010 + 2016

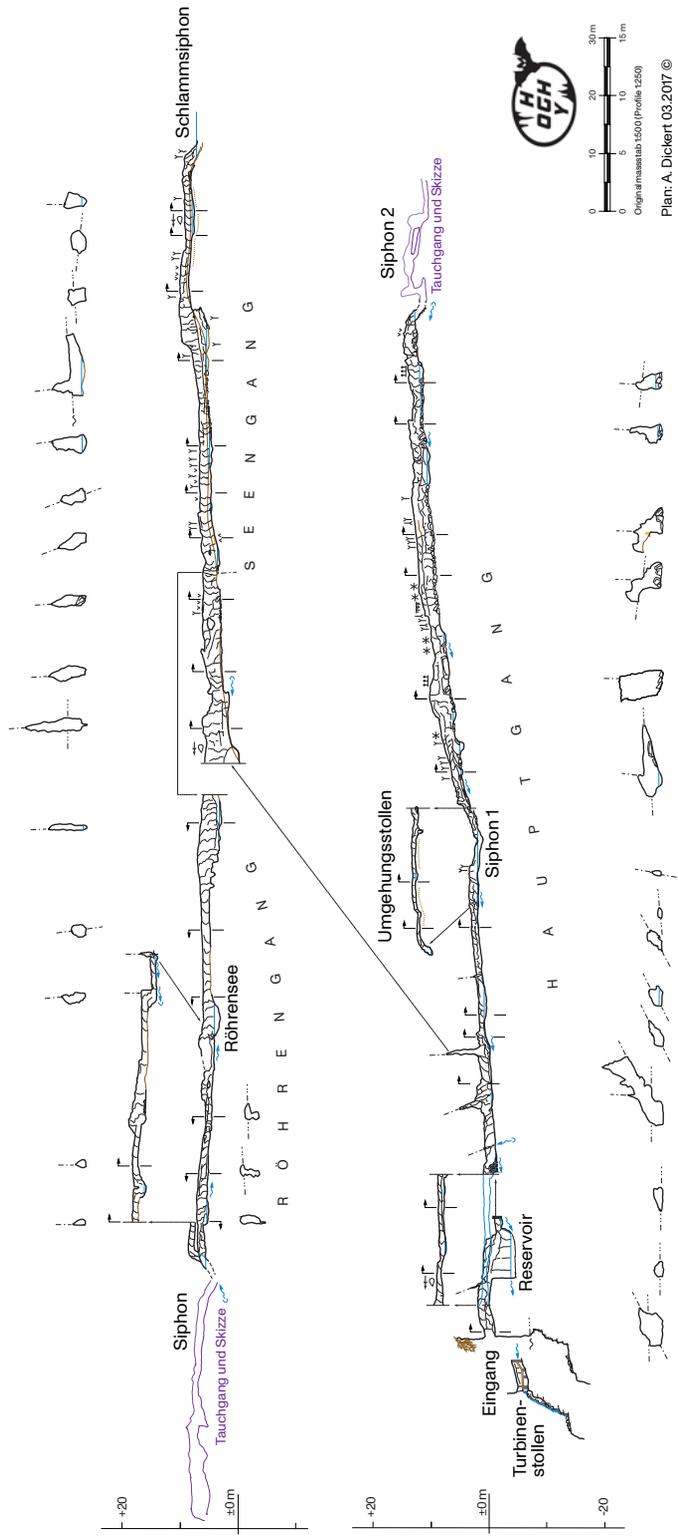
Grundriss



Plan: A. Dickert 03.2017 ©

Fig. 13-4: Beispiel eines Höhlenplans (Furliwasserhöhle, Schweiz). (Daten: Ostschweizerische Gesellschaft für Höhlenforschung, OGH).

Längsschnitt



HÖHLENVERMESSUNGSDATEN

Als Höhlenvermessungsdaten werden die gemessenen Daten bezeichnet, die zur Anfertigung eines Höhlenplans erhoben werden. Dabei handelt es sich in der Regel um Länge, Richtung (Azimut) und Neigung der Polygonzüge sowie die Gangdimensionen (vgl. «Höhlenvermessung»).

HÖHLENBESCHREIBUNG

In einer Höhlenbeschreibung werden die morphologischen Eigenheiten einer Höhle und alle wesentlichen Beobachtungen zur Morphologie, Geologie, Hydrogeologie, Höhlensedimenten, Höhlenklimatologie, Biologie, Archäologie und Weitere dokumentiert.

LÄNGE / TIEFE EINER HÖHLE

Die Länge einer Höhle ist die Summe der Längen aller begehbaren Höhlengänge (oder genauer der Summe aller Polygonzüge, die bei der Höhlenvermessung gelegt wurden, vgl. «Höhlenvermessung»). Die Tiefe einer Höhle ist die Höhendifferenz des höchsten und des tiefsten vermessenen Punktes einer Höhle.

- Die Höhlenlänge widerspiegelt nur den Teil der Karsthohlräume, die befahrbar und zugänglich sind. Karsthohlräume, die zu klein sind, um befahren zu werden (in der Regel $<0.25 \text{ m}^2$) können nicht vermessen werden.
- Meist sind nicht alle Hohlräume, die

gross genug sind, um als Höhle angesprochen zu werden, befahrbar. Höhlen können keine befahrbaren Tagesöffnungen haben oder einzelne Höhlenpartien können durch nicht begehbare Passagen (Engstellen) nicht zugänglich sein.

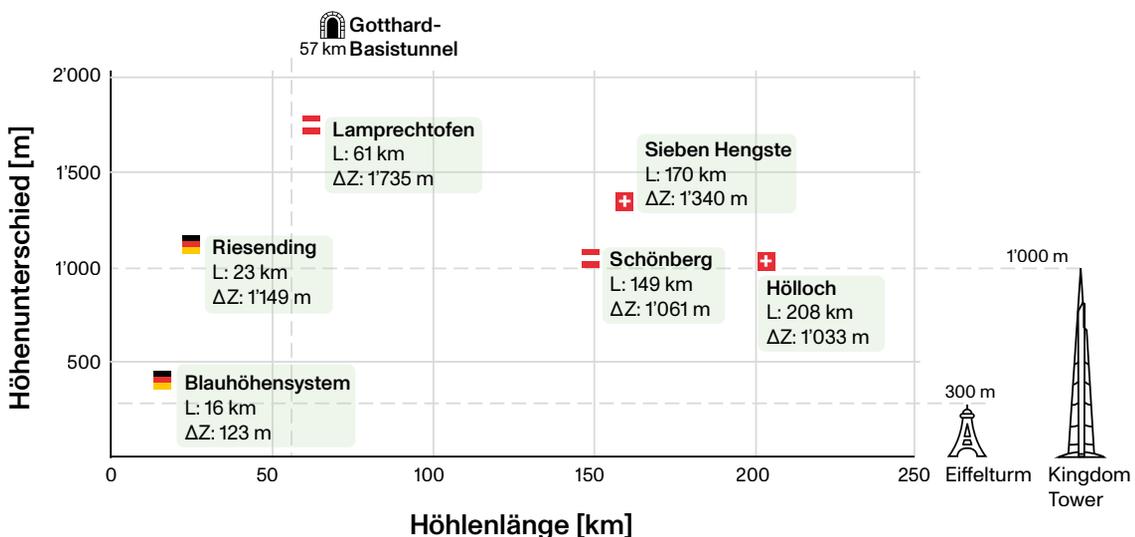


Fig. 13-5: Gegenüberstellung Höhlenlänge und Höhendifferenz ausgewählter Höhlen. Es wurden jeweils pro Land die zwei längsten und tiefsten Höhlensysteme dargestellt. (Stand 2021).

HÖHLENTYP

Über den Höhlentyp erfolgt eine beschreibende Klassifikation von Höhlen anhand ihrer Eigenschaften. In der Höhlenforschung sind verschiedene Klassifikationssysteme in Gebrauch (Fig. 13-6).

- *Im Rahmen der ingenieurgeologischen Beurteilungen finden diese Klassifikationssysteme nur bedingt Anwendung.*



Höhle

- **Klassifikation der Höhlen nach der Gesteinsart**
 - Kalksteinhöhlen
 - Marmorhöhlen
 - Sandsteinhöhlen
 - Gipshöhlen
 - Salzhöhlen
 - Lavahöhlen
 - Eishöhlen
 - Tuffhöhlen
- **Klassifikation der Höhlen nach der Wasserführung**
 - Trockene Höhlen
 - Wasserhöhlen
- **Klassifikation der Höhlen nach der Erstreckung**
 - Kleinsthöhlen
 - Kleinhöhlen
 - Höhlen
 - Grosshöhlen
- **Klassifikation der Höhlen nach der Zeitpunkt der Entstehung**
 - Primärhöhlen
 - Sekundärhöhlen
 - Tertiärhöhlen
- **Klassifikation der Höhlen nach der Entstehungsart**
 - Karsthöhlen
 - Erosionshöhlen
 - Tektonische Höhlen
 - Quellungshöhlen
 - Tuffhöhle
 - Lavahöhlen
 - Eishöhlen
- **Klassifikation der Höhlen nach der Morphologie**
 - Horizontalhöhlen
 - Schachthöhlen
 - Tropfsteinhöhlen

Fig. 13-6: Zusammenstellung verschiedener in der Höhlenkunde gebräuchlicher Klassifikationen von Höhlentypen.

PROFILFORM EINES HÖHLENGANGES

Die Profilform eines Höhlenganges beschreibt die Form des Querschnitts eines Höhlenganges.

- *Höhlengänge können eine vielphasige Entstehungsgeschichte aufweisen, wobei die Profilformen meist mehrmals überprägt werden. Deshalb ist die Entschlüsselung der einzelnen Phasen zum Teil schwierig. Außerdem können Inkasion oder Sedimentfüllung die genetische Interpretation erschweren oder verhindern.*
- *In der Höhlenkunde werden oft fünf Grundformen für die Profilform eines Höhlenganges unterschieden (Fig. 13-7).*

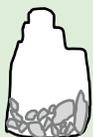
▼ Profilform	▼ Beschreibung
 <p data-bbox="307 235 406 264">elliptisch</p> <p data-bbox="235 411 292 450">2 m</p>	<p data-bbox="514 235 1213 343">Die charakteristische elliptische Form entsteht durch eine in alle Richtungen gleichmässige Hohlraumerweiterung entlang einer Trennfläche, wobei der Hohlraum vollständig mit Wasser gefüllt ist. Das Profil kann stehend oder liegend vorkommen.</p> <p data-bbox="514 372 1178 431">Die Profilform ist typisch für Hohlräume, die unter phreatischen Bedingungen entstanden sind.</p>
 <p data-bbox="307 480 435 568">spalten-/ schlucht-/ canyonartig</p>	<p data-bbox="514 480 1199 588">Schluchtartiger Gangquerschnitt mit geringer Breite und bedeutender Höhe. Die Breite kann in einem Profil stark variieren. Das Profil ist oft entlang steilstehenden Trennflächen angelegt. Das Profil kommt nur stehend vor.</p> <p data-bbox="514 617 1128 676">Die Profilform ist typisch für Hohlräume, die unter vadosen Bedingungen entstanden sind.</p>
 <p data-bbox="307 735 499 764">schlüssellochartig</p>	<p data-bbox="514 735 1220 813">Schneidet sich an der Sohle eines Höhlenganges mit elliptischem Gangprofil eine schluchtartige Vertiefung ein, kann von einem Schlüssellochprofil gesprochen werden.</p> <p data-bbox="514 823 1220 901">Das Schlüssellochprofil kann ein oder mehrphasig entstehen, zum Beispiel elliptisches Profil unter phreatischen und der Canyon unter vadosen Bedingungen.</p> <p data-bbox="514 931 1242 1009">Die Profilform ist typisch für Hohlräume, die zuerst unter phreatischen Bedingungen entstanden sind und sich später unter vadosen Bedingungen weiterentwickelten.</p>
 <p data-bbox="307 1048 428 1078">kastenartig</p>	<p data-bbox="514 1048 1235 1127">Rechteckiger Gangquerschnitt. Meist entspricht die Decke einer Schichtfläche. Die Sohle kann mit Verbruchblöcken bedeckt sein, die eine Raumentwicklung durch Inkasion nahelegen.</p> <p data-bbox="514 1166 1206 1215">Die Profilform kann sich sowohl unter phreatischen als auch unter vadosen Bedingungen entwickeln.</p>
 <p data-bbox="307 1254 406 1303">hallen-/ domartig</p>	<p data-bbox="514 1254 1235 1411">Grosser Hohlraum mit flacher oder kuppelartiger Decke. Bei einer flachen Decke folgt diese oft einer mechanisch markanten Schichtfläche. Der Verlauf der Paramente ist oft durch Verbruch entlang von Trennflächen geprägt. Die Sohle ist oft mit Verbruchblöcken bedeckt, die eine Raumentwicklung durch Inkasion nahelegen.</p> <p data-bbox="514 1450 1206 1499">Die Profilform kann sich sowohl unter phreatischen als auch unter vadosen Bedingungen entwickeln.</p>

Fig. 13-7: In der Höhlenkunde werden oft fünf Grundformen von Profilformen von Höhlengängen unterschieden. Diese Grundformen gelten vor allem für epigene Höhlen in Karbonatgesteinen. In anderen verkarstungsfähigen Gesteinsarten und bei hypogenen Höhlen können weitere typische Formen auftreten.

HÖHLENGANGVERLAUF

Der Höhlengangverlauf beschreibt die Art der räumlichen Erstreckung eines Höhlenganges.

- Der Verlauf eines Höhlenganges ist häufig an Initialfugen gebunden.
- In der Höhlenkunde werden oft sechs Grundformen des Höhlengangverlaufs unterschieden (Fig. 13-8).

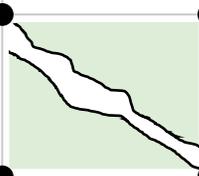
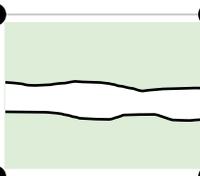
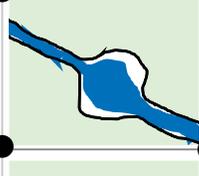
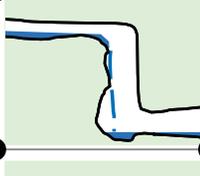
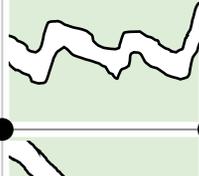
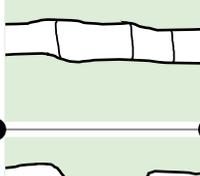
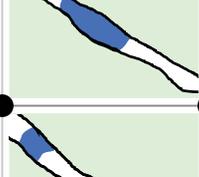
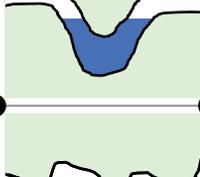
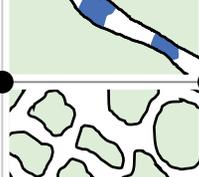
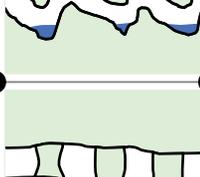
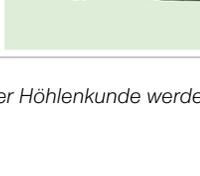
Planansicht	Abwicklung	Gangverlauf	Beschreibung
		Horizontaler Höhlengang	Subhorizontal, mehr oder weniger gradlinig verlaufender Höhlengang.
		Schacht/Schlot	Subvertikal verlaufender Höhlengang. Ist der Verlauf in Begehungsrichtung fallend, wird von einem Schacht gesprochen, ist er steigend von einem Schlot.
		Mäander	Subhorizontaler Höhlengangverlauf der durch einen permanenten Wechsel der Gangrichtung (mäandrierend) gekennzeichnet ist.
		Siphon	Ein vollständig mit Wasser gefüllter Höhlengangabschnitt. Dabei kann es sich auch um einen Loop handeln. Der Siphon kann permanent oder temporär sein.
		Loop	Unter phreatischen Bedingungen entstandener Höhlengang, mit charakteristischem Wechsel der Gangneigung zwischen auf- und absteigend.
		Labyrinth	Ein Netz von ineinander verzweigten Höhlengängen.

Fig. 13-8: In der Höhlenkunde werden oft sechs Grundformen des Verlaufs eines Höhlenganges unterschieden.

ANLAGE EINES HÖHLENGANGES

Die Anlage eines Höhlenganges beschreibt welche Initialfugen-Art den Verlauf des Höhlenganges bestimmt.

- Bezüglich der Anlage eines Höhlenganges wird in der Höhlenkunde unterschieden zwischen:
 - Schichtfugengang (Höhlengang entlang einer lithologischen Initialfuge),
 - Kluffugengang (Höhlengang entlang einer tektonischen Initialfuge).
- Die Entwicklung eines Höhlenganges beginnt oft im Verschnitt von zwei oder mehreren Trennflächen (Initialfugen), wie beispielsweise einer subvertikalen tektonischen und einer subhorizontalen lithologischen Trennfläche. Dies erschwert oft die klare Einteilung der Anlage des Höhlenganges nach obigem Prinzip.
- Alternativ wird die Anlage eines Höhlenganges in seinem Bezug zu den Initialfugen beschrieben. Beispiel: «Der Höhlengang wurde auf einer lithologischen Initialfuge regionaler Bedeutung angelegt, wobei der mäandrierende lokale Gangverlauf von zwei Scharen lokaler, tektonischer Initialfugen bestimmt wird.»

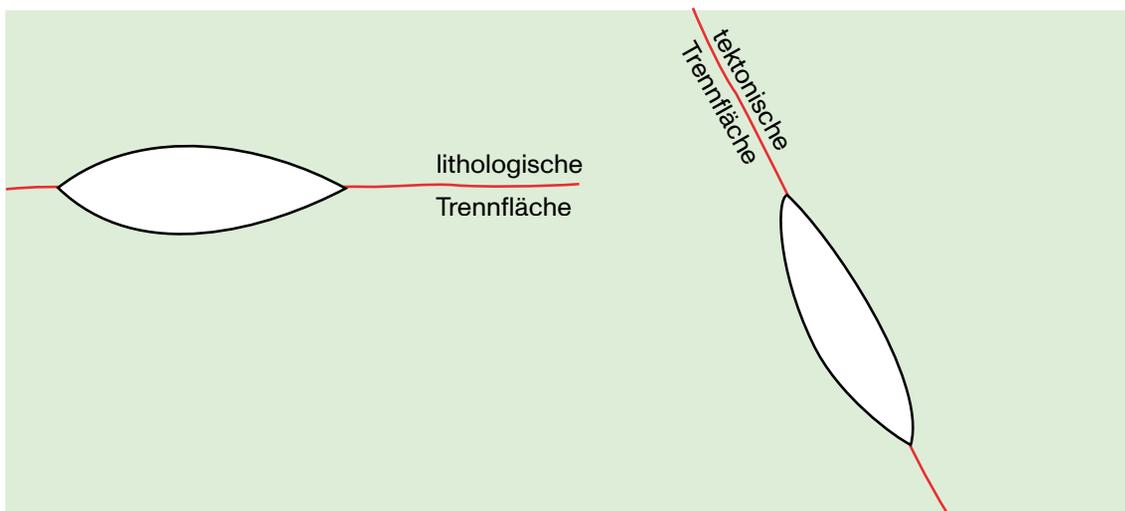


Fig. 13-9: Höhlengänge entwickeln sich bevorzugt entlang von Trennflächen respektive Initialfugen. Anhand der Trennfläche wird unterschieden zwischen Schicht- und Kluffugengängen.

HÖLENNIVEAU

Ein Höhlenniveau ist ein vertikal diskreter Bereich eines Karstaquifers, in dem vermehrt subhorizontale Höhlen vorkommen. Das Vorkommen eines Höhlenniveaus kann durch die Höhenlage des Vorfluters, der Lage von subhorizontalen Initialfugen oder durch die Basis der verkarstungsfähigen Gesteinseinheit bestimmt sein.

- Die zum Teil als Synonym gebräuchliche Bezeichnung «Karstniveau» ist nicht zu verwenden, da die Bezeichnung irreführend ist.
- In einem Höhlensystem sind oft mehrere Höhlenniveaus ausgeprägt, die sich auch zeitgleich entwickeln können.
- Die vorfluterbestimmten Höhlenniveaus entstehen in der Regel im Horizontalhöhlen-Bereich.
- Die initialfugenbestimmten Höhlenniveaus können in allen speläogenetischen Bereichen vorkommen (abgesehen vom speläogenetischen Initialbereich, wo per Definition keine Karsthohlräume existieren).

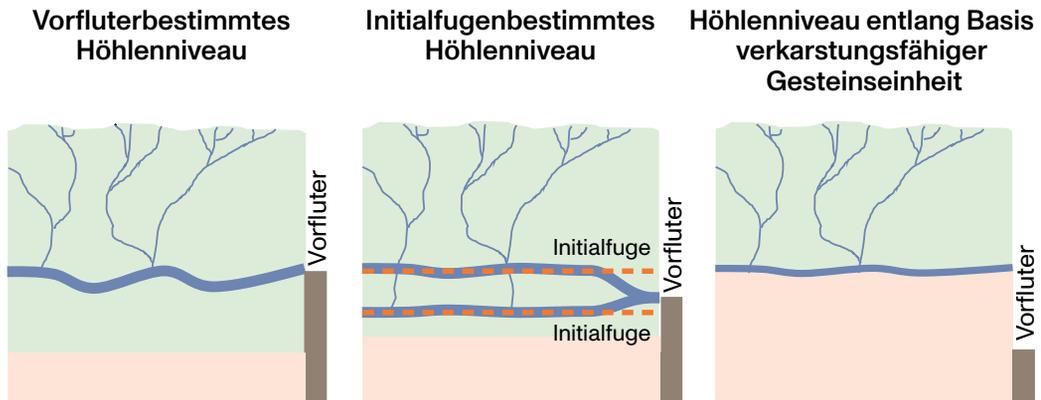


Fig. 13-10: Es werden drei Grundtypen von Höhlenniveaus unterschieden, wobei in einem Höhlensystem auch mehrere Typen nebeneinander vorkommen können.

HÖHLESEDIMENT

Als Höhlensedimente werden Ablagerungen, Ausscheidungen und Mineralneubildungen in Höhlen zusammengefasst.

- Die Bezeichnung «Höhlensediment» ist explizit nur für die Hohlraumverfüllung in Höhlen zu verwenden. Daher wird für die ingenieurgeologische Ansprachen die generische Bezeichnung der «Hohlraumverfüllung» bevorzugt.
- Die Sedimente werden unterteilt in die Hauptgruppen:
 - klastische Sedimente (z. B. Geschiebe eines Höhlenbachs),
 - chemische Sedimente (z. B. Sinter)
 - organische Sedimente (z. B. Guano resp. Kot von Fledermäusen oder Vögeln).
- Höhlensedimente können von der Oberfläche in die Höhle hinein transportiert werden oder sich selbst in der Höhle bilden.
- Klastische Sedimente können anhand ihrer Herkunft unterteilt werden in allochthon (Herkunft außerhalb des Karstgebiets), autochthon (keine wesentliche Transportdistanz) und para-autochthon (autochthone Sedimente, die umgelagert wurden).
- Höhlensedimente können Hinweise zur Entstehungsgeschichte und -dynamik der Höhle geben.
- Höhlensedimente, insbesondere Sinterablagerungen (wie z. B. Tropfsteine), können wichtige «Archive» für die Rekonstruktion des Paläoklimas sein.

SPELÄOTHEME

Unter dem Begriff Speläotheme werden jegliche sekundäre Mineralablagerung in Höhlen zusammengefasst.

- Je nach Kontext wird «Höhlenminerale» als Synonym für Speläotheme verwendet.
- Speläotheme sind oft sehr fragil, sie können nicht nur mechanisch leicht beschädigt werden (z. B. durch baubedingte Vibrationen), sondern auch durch Änderungen der Luftzirkulation oder der Wasserchemie.
- Das Vorkommen von bestimmten Speläothemen kann so einzigartig sein, dass betroffene Höhlen als besonders schützenswert erachtet werden und einen besonderen Schutz genießen (z. B. Zugangsbeschränkungen oder Baurestriktionen im Nahfeld).
- Meistens bestehen die Speläotheme aus den Mineralien Kalzit und Aragonit oder verschiedenen Formen von Gips. In Sandstein- oder Quarzithohlräumen treten darüber hinaus Speläotheme aus Opal auf.

HÖHLENSINTER

Unter dem Begriff Höhlensinter werden jegliche karbonatische, sekundäre Mineralablagerung in Höhlen zusammengefasst.

- Höhlensinter sind eine Untergruppe der Speläotheme.
 - Die mannigfaltige Bildungsweise der Höhlensinter spiegelt sich in einer großen Bandbreite an Formen wider, die naturgemäß zu großer Begriffsvielfalt führt.
- Die wichtigsten Formen sind:
- Tropfsteine,
 - Sinterfahne / Sintervorhang,
 - Boden- und Wandsinter,
 - Sinterbecken,
 - Sinterperlen (Höhlenperlen).

TROPFSTEINE

Tropfsteine sind röhren- oder zapfenartige Höhlensinter, die durch Tropfwasser entstehen.

- Tropfsteine sind eine Untergruppe der Höhlensinter.
 - Die mannigfaltige Bildungsweise der Tropfsteine resultiert in einer Begriffsvielfalt um die Tropfsteine zu klassifizieren.
- Die wichtigsten Formen sind:
- Stalaktiten («Deckenzapfen»)
 - Stalagmiten («Bodenzapfen»)
 - Stalagnate («Tropfsteinsäulen»)
 - Sinterröhrchen
 - Excentriques



Fig. 13-11: Höhlen weisen zum Teil einen beachtlichen und ästhetischen Tropfsteinschmuck auf, der der breiten Öffentlichkeit durch Schauhöhlen zugänglich gemacht wird (Baume Salène, Frankreich).

HÖHLENFORSCHUNG

Die Höhlenforschung umfasst die Tätigkeit, Höhlen und ihren Inhalt (Wasser, Sedimente, Luft) systematisch zu erkunden, zu dokumentieren und ihre Entstehung zu verstehen.

- Die Höhlenforschungstätigkeit beschränkt sich nicht ausschließlich auf Karsthöhlen.
- Der allergrößte Teil der Höhlen- und Karstforschung erfolgt durch höhlenforschende Gesellschaften und Vereine in größtenteils ehrenamtlicher Tätigkeit. Häufig existiert eine Forschungs Kooperation mit Forschungsinstituten an Hochschulen und außerakademischen Einrichtungen.

HÖHLENKLIMATOLOGIE

Die Höhlenklimatologie beschreibt das generelle Verhalten der Luftsäule in einem Höhlensystem unter Berücksichtigung des durchschnittlichen physikalischen Zustandes der Atmosphäre. Betrachtet werden dabei auftretenden typischen Variabilitäten.

- Die Luft in Höhlen hat im Wesentlichen die gleiche Zusammensetzung wie die Luft der Atmosphäre an der Erdoberfläche. Doch zeichnet sie sich durch einige Besonderheiten aus:
 - Die Luft in Höhlen ist meist fast vollständig mit Wasserdampf gesättigt (über 90 % relative Luftfeuchtigkeit).
 - Sie hat weniger Staubteilchen und ist nahezu keimfrei, da die

- Keime Kondensationskerne bilden und zu Boden sinken.
- Sie hat oft einen leicht erhöhten Kohlendioxidgehalt gegenüber dem Normalgehalt der Luft (dieser liegt jedoch meist weit unterhalb der toxischen Konzentration).
 - Die Lufttemperatur in einem Höhlensystem liegt üblicherweise sehr nahe der Jahresdurchschnittstemperatur an der Oberfläche in derselben Höhenlage. Im Detail wird die Temperatur unter anderem durch die Außentemperatur, der Luftzirkulation sowie dem Wasservorkommen in den Karsthohlräumen beeinflusst. Insbesondere der Wärmeaustausch mit dem Wasser führt einerseits dazu, dass die Temperaturabnahme der Luft in einem Höhlensystem mit der Höhe oft weniger abnimmt ($-3 - -4^{\circ}\text{C pro 1 km}$) als in der obertägigen Atmosphäre ($-6 - -9^{\circ}\text{C pro 1 km}$), andererseits ist die Lufttemperatur meist relativ konstant im Jahresverlauf. Schwankungen von wenigen Zehntel Grad Celsius zwischen Sommer und Winter sind üblich.
 - Der Höhlenwind (regional auch «Bewetterung») beschreibt die Luftbewegung in einem Höhlensystem und beruht im Wesentlichen auf zwei unterschiedlichen Mechanismen: thermische Konvektion (Temperaturdifferenz) und barometrische Bewegung (Druckdifferenz). Diese beiden Mechanismen können einzeln, gemeinsam oder konkurrierend auftreten.

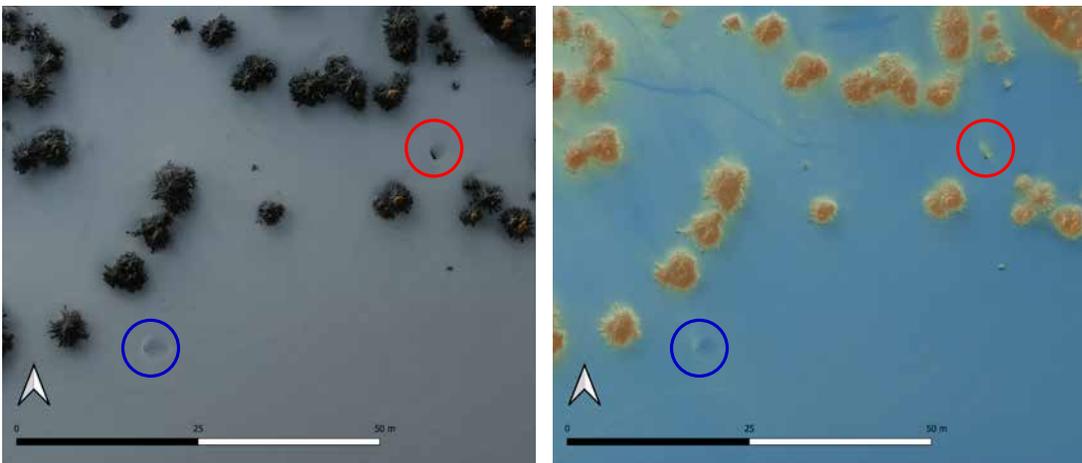


Fig. 13-12: Luftaufnahmen im Winter 2022 auf dem Trattberg (Österreich). Luftbildfoto (links), thermale Infrarotaufnahme (rechts). Deutliche Temperaturanomalien zeigen die Bäume und jene Höhleneingänge, aus denen relativ warme Höhlenluft austritt (z. B. roter Kreis), während an anderen Senken (z. B. Dolinen, blauer Kreis) keine Temperaturanomalien zu erkennen sind.

BIOSPELÄOLOGIE

Die Biospeläologie ist das Teilgebiet der Biologie und der Höhlenkunde, das sich mit der Erforschung von Organismen befasst, die in Höhlen leben.

- Je nach Kontext wird «Höhlenbiologie» als Synonym für Biospeläologie verwendet.
- «Höhlentiere» kommen nicht nur in Höhlen, sondern auch in weiteren natürlichen und künstlichen Hohlräumen, vor allem auch allgemein im Grundwasser und damit in Quellen vor.
- «Höhlenorganismen» (überwiegend Höhlentiere) lassen sich in vier ökologische Klassen gliedern:
 - Eutroglobionten (Echte Höhlentiere) sind Lebewesen, die ihren gesamten Lebenszyklus auf das Leben in Höhlen spezialisiert haben. Einige von ihnen können Höhlen für kurze Zeit verlassen, aber nicht ihr ganzes Leben außerhalb einer Höhle verbringen. Beispiele hierfür sind einige Arten von Höhlenfischen, typische Grundwassertiere wie Höhlenflohkrebs, Höhlenwasserassel und verschiedene höhlenbewohnende Springschwanzarten, aber auch über die Tierwelt hinausgehend, chemotrophe Bakterien.
 - Eutroglophile (Höhlenliebende Tiere) sind Lebewesen, die einen Teil oder ihr gesamtes Leben in Höhlen verbringen. Sie finden dort optimale Lebensbedingungen, pflanzen sich in Höhlen fort und bilden ganze Populationen. Sie können aber auch in vergleichbaren Habitaten an der Erdoberfläche leben, beispielsweise versteckt unter Steinen, im Boden oder unter Baumrinde. Typische Vertreter sind einige Springschwanz- und Tausendfüßerarten.
 - Subtroglophile (Höhlengäste) sind Tiere, die nicht speziell an das Leben in Höhlen angepasst sind, diese aber gezielt aufsuchen (z. B. zur Überwinterung oder zum Schutz vor Hitze und Kälte). Das unterirdische Biotop kann zur Paarung und zur Aufzucht der Nachkommenschaft genutzt werden. Beispiele für subtroglophile Tiergruppen sind Fledermäuse (Überwinterung, Wochenstuben), überwinterte Schmetterlingsarten, Spinnen, bestimmte Köcherfliegen- und Mückenarten. Dachse und Füchse suchen Höhlen beispielsweise ganzjährig immer wieder als Verstecke und zur Nahrungssuche auf. Auch der Mensch wäre hier zu verorten
 - Eutrogloxene (Zufallsgäste) sind Lebewesen, die versehentlich in Höhlen geraten und diese nicht bewusst aufsuchen und auch nach kurzer Zeit wieder verlassen oder in der Höhle verenden.
- Die in Höhlen vorkommenden ökologischen Gruppen mit Ausnahme der eutrogloxenen Zufallsgäste werden in ihrer Gesamtheit als cavernicole Arten zusammengefasst.
- Insbesondere die eutroglobionte Fauna bedarf eines besonderen Schutzes, da viele Arten nur lokal und in kleinen Populationen vorkommen und ob ihrer hochspezialisierten Lebensweise sensibel auf Veränderungen reagieren.
- Ein Ziel des Höhlen- und Karstschutzes ist der Erhalt der unterirdischen Biodiversität.

HÖHLEN- UND KARSTSCHUTZ

Der Höhlen- und Karstschutz ist ein Teilgebiet des Umweltschutzes und setzt sich für den Erhalt, den Schutz und die nachhaltige Entwicklung von Karstlandschaften und Höhlen ein. Höhlen- und Karstschutz sind damit auch Gegenstand des Geotop-, Natur- und Grundwasserschutzes.

- In Mitteleuropa werden Aktivitäten zum Höhlen- und Karstschutz meist von den höhlenforschenden Gesellschaften getragen. Dazu gehören:
 - Dokumentation der Karsterscheinungen.
 - Sensibilisierung für die Schutzwürdigkeit, die Schutznotwendigkeit und die Nachhaltigkeit von Schutzmaßnahmen.
 - Maßnahmen zur Wiederherstellung von Naturzuständen (z. B. Reinigung von Höhlen oder Dolinen von häuslichen, gewerblichen oder militärischen Abfällen).
- Entwicklung von Konzepten für eine nachhaltige Nutzung.
- Die Beurteilung der Schutzwürdigkeit eines Karstsystems, seines Inventars und seiner Eigenschaften erfolgt unter anderem durch Betrachtung der Aspekte:
 - Seltenheit, Einzigartigkeit,
 - Ganzheitlichkeit, Erhaltungszustand, Ursprünglichkeit,
 - Grundwasserschutz,
 - Artenschutz,
 - wissenschaftliches und didaktisches Interesse,
 - kulturhistorische Bedeutung.



Fig. 13-13: Bild eines Schachtes, der über Jahrzehnte als illegale Deponie missbraucht wurde.

HÖHLENFORSCHENDE GESELLSCHAFT

Höhlenforschende Gesellschaften oder Vereine sind Zusammenschlüsse von natürlichen oder juristischen Personen mit dem Ziel, die Erforschung und Dokumentation von Höhlen und damit verbundene Themen voranzutreiben und zu fördern.

- *Die Forschungsaktivitäten der höhlenforschenden Gesellschaften erfolgen in den meisten Fällen ehrenamtlich. Häufig existiert eine Forschungs Kooperation mit Forschungsinstituten an Hochschulen und außerakademischen Einrichtungen.*
- *Neben der Erforschung nehmen die genannten Institutionen weitere Aufgaben wahr, wie die Führung von Höhlenarchiven, die Ausbildung und Schulung ihrer Mitglieder und Dritter, die Höhlenrettung oder den Höhlen- und Karstschutz.*
- *Höhlenforschende Gesellschaften und Vereine sind oft regional organisiert und in nationalen Verbänden zusammengeschlossen (siehe «Nützliche Kontakte» im Kapitel IV).*
- *Höhlenforschende Gesellschaften, und Vereine sind die lokalen Ansprechpartner für speleologische Daten.*



Fig. 13-14: Tropfsteingeschmückter Höhlengang in der Grotta Grande del Vento (Frasassi, Italien).

VI. BILDQUELLEN

SVEN BAUER Fig. 1-1, Fig. 4-7

JEAN-YVES BIGOT Fig. 7-9

ANDREAS DICKERT Fig. 7-3, Fig. 13-1

ROBERT DELLESKE Fig. 13-12

MARCO FILIPPONI Fig. I-1, Fig. II-1, Fig. IV-0, Fig. 2-4, Fig. 2-5, Fig. 3-6, Fig. 4-0, Fig. 4-2, Fig. 4-3, Fig. 4-4, Fig. 4-5, Fig. 4-12, Fig. 4-13, Fig. 5-3, Fig. 6-0, Fig. 6-3, Fig. 6-4, Fig. 7-8, Fig. 8-4, Fig. 9-3, Fig. 13-14

MARTIN GOSSWEILER Fig. 7-8

STÉPHANE JAILLET Fig. 7-8, Fig. 7-10

ULRICH JÖRIN Fig. 7-8

HERBERT MEYRL Fig. 7-10

LUKAS PLAN Fig. 2-3, Fig. 7-8, Fig. 13-0

MARTIN TRÜSSEL Fig. II-1

ANDREAS SCHWARZ Fig. 6-3, Fig. 7-2, Fig. 7-10, Fig. 13-1, Fig. 13-11

MARKUS WEH Fig. I-2

MIRJAM WIDMER Fig. 3-11, Fig. 5-2, Fig. 7-0

RÉMY WENGER Fig. 13-13

GEORG ZAGLER Fig. 8-0, Fig. 13-1, Fig. 13-3

VII. SACHVERZEICHNIS

A

- Ablaugung 83
 - Ablaugungssenke 105
 - Abstandsgeschwindigkeiten 173
 - aktiver Karsthohlraum 143
 - Anhydritspiegel 65
 - Anlage des Höhlenganges 216
 - Aquifer 157
 - Aquitard 159
 - Auslaugung 83
 - Auslaugungssenke 105
-

B

- Bachschwinde 111
 - bautechnisch relevante Karsterscheinung 45
 - bedeckte Einzugsgebiet 170
 - Biospeläologie 221
-

D

- Denudation 83
 - Detektionssicherheit 49
 - Doline 101
 - Durchlässigkeitsbeiwert 172
-

E

- Einsturzdoline 103
- Einzugsgebiet einer Karstquelle 166
- epigene Speläogenese 80
- Epikarst 161
- Epikarstbereich 191
- Epikarstschacht-Bereich 191
- epiphreatische Zone 162
- Erdfall 101
- Erosion 81
- Estavelle 113

F

- Felsdenudation 83
- Fließgeschwindigkeit 173
- freier Grundwasserspiegel 163

G

- Gebirgsbereich mit und ohne Karsterscheinungen 63
- Gebirgstyp 64
- Gefährdungsabschnitt 64
- gesättigte Zone 163
- gespannter Grundwasserspiegel 163
- Ghost Rock 142
- Gipsauslaugungsfront 65
- Gipsspiegel 65
- Grundwasserleiter 157
- Grundwasserstauer 159
- Grundwasserwenigleiter 159

H

- Hochwasserzone 162
- Höhle 123
- Höhlenarchiv 208
- Höhlenbereich 192
- Höhlenbeschreibung 212
- Höhleneingang 107
- Höhlenentstehung 79
- höhlenforschende Gesellschaft 223
- Höhlenforschung 219
- Höhlengang 123
- Höhlengangdichte 137
- Höhlengangverlauf 215
- Höhlenkataster 208
- Höhlenklimatologie 219
- Höhlenkunde 206
- Höhlenmineralien 218
- Höhlenniveau 216
- Höhlenplan 208
- Höhlenruine 107
- Höhlenschutz 222
- Höhlensediment 217
- Höhlensinter 218
- Höhlensystem 123
- Höhlentyp 213
- Höhlenvermessung 208
- Höhlenvermessungsdaten 212
- Hohlraumdetektion 48
- Hohlraumstabilität 136
- Hohlraumverfüllung 140
- Horizontalhöhlen-Bereich 192
- hydraulische Druckhöhe 146
- hydrogeologische Zonen 159
- hypogene Speläogenese 80

I

- inaktiver Karsthohlraum 144
- Infiltrationsbereich 168
- Initialbereich 192
- Initialfugen 181
- Inkasion 82

K

- Karren 94
- Karrenfeld 94
- Karst 44
- Karstaquifer 158
- Karstaquiferbasis 64
- Karsterkundung 48
- Karsterscheinungen 94
- Karstgebiet 62
- Karstgefährdung 44
- Karstgrundwasserspiegel 164

- Karsthöhle 123
- Karsthöhhlensystem 123
- Karsthohlraum 120
- Karsthohlraumform 132
- Karsthohlraumgröße 132
- Karsthohlraumlänge 134
- Karsthohlraumporosität 136
- Karsthohlraumvolumen 135
- Karsthydrogeologie 151
- Karstlandschaft 59
- Karstlandschaftselement 94
- Karstprognose 46
- Karstquelle 112
- Karstrisiko 45
- Karströhre 122
- Karströhrendichte 137
- Karströhrensystem 123
- Karstschutz 222
- Karstspalte 96
- Karstsystem 62
- Kluftaquifer 157
- kolmatierter Karsthohlraum 141
- Korrosion 82
- Küstenverkarstung 80

L

- Länge einer Höhle 212
- lithologische Initialfuge 183
- lithologische Trennflächen 125
- lithologische Verkarstungsbasis 65
- Lockergesteinseinbruch 104
- Lockergesteinssenke 104
- lokale Initialfuge 181
- Löslichkeit 84
- Lösungsdoline 102
- Lösungsform 94
- Lösungshohlraum 120
- Lösungsrate 85

M

- Matrixporen 125

O

- offene Einzugsgebiet 168

P

- Paläo-Karstaquifer 158
- Paläo-Karsthohlraum 122
- Paläo-Karstlandschaft 61
- Paläo-Verkarstung 78
- para-speläogenetischer Bereich 192
- Permeabilität 172
- phreatische Zone 163
- physikochemische Eigenschaften 174
- piezometrische Höhe 146
- Polje 106
- Ponor 111
- Porenaquifer 157
- Porosität 171
- Profilform eines Höhlenganges 213
- Prognosesicherheit 47

Q

- Quellschüttung 167

R

- regionale Initialfuge 181
- Residualsedimente an der Geländeoberfläche 108
- Residualsediment in Hohlräumen 142

S

- Schachtbereich 191
- Schüttung 144
- Sedimentfracht 146
- semiaktiver Karsthohlraum 144
- Senke 98
- Solubilität 84
- speläogene Paragenese 81
- Speläogenese 79
- speläogenetische Verkarstungsbasis 65
- speläogenetischer Bereich 191
- Speläologie 207
- speläologische Daten 208
- speläologische Dokumentation 208
- speläologisches Stadium des Verfalls 198
- speläologisches Stadium 197
- speläologisches Stadium der Höhlenentwicklung 197
- speläologische Stadium der Initialisierung 197
- Speläotheme 218
- Stadium der Ausrichtung 202
- Stadium der Initialisierung 202
- Stadium der Reife 202
- Stadium des Zerfalls 203
- Standfestigkeit 136
- Standrohrspiegelhöhe 146
- Subrosion 79
- Subrosionssenke 102
- Suffosion 84

T

- tektonische Initialfuge 182
- tektonische Trennflächen 125
- Tiefe einer Höhle 212
- Transmissivität 173
- Trennfläche 124
- Trockental 108
- Tropfsteine 218

U

- überdeckte Einzugsgebiet 170
- ungesättigte Zone 160
- Untersuchungskonzept 46

V

- vadose Zone 160
- Verfüllungsgrad 141
- verkarstete Homogenbereiche 64
- verkarsteter Baugrund 62
- verkarstetes Gebirge 62
- Verkarstung 77
- Verkarstungsbasis 64
- Verkarstungserscheinung 94
- verkarstungsfähige Gesteinseinheit 59
- Verkarstungsphase 78
- Verkarstungspotential 59
- Verwitterung 76
- Vorfluter 163



Mit der vorliegenden "Karstnomenklatur für Ingenieurgeologen und Bauingenieure" wird eine praxistaugliche Terminologie für die Beschreibung und Interpretation des verkarsteten Baugrundes bereitgestellt.

Ein verkarsteter Baugrund weist Gefährdungen auf, die in anderen Gebirgsarten nicht oder weniger ausgeprägt vorkommen. Für einen angemessenen Umgang mit diesen Gefahren ist es unerlässlich, dass alle an einem Projekt beteiligten Parteien dasselbe Verständnis bezüglich der Karstproblematik im Projektkontext haben. In der Praxis werden die Begriffe zur Beschreibung des verkarsteten Gebirges zum Teil sehr unterschiedlich und irreführend verwendet. Dies führte zu Missverständnissen unter den an einem Projekt beteiligten Fachpersonen und nicht selten zu falschen Schlussfolgerungen und Entscheidungen mit erheblichen Konsequenzen für die Sicherheit, die Umwelt, die Projektkosten und -Termine.

Eine eindeutige Nomenklatur vermeidet diese Missverständnisse und erlaubt einen angemessenen, wirtschaftlichen und nachhaltigen Umgang mit den Karstgefährdungen.

- Ein Nachschlagewerk, um Zusammenhänge kennen zu lernen und zu verstehen.
- Rund 200 karstbezogene Begriffe des Alltags eines Ingenieurgeologen und Bauingenieurs werden vorgestellt.
- Praxistaugliche Definitionen mit Erläuterungen für eine korrekte Anwendung.

