

Merkblätter A – Höhlenbefahrung

Persönliche Ausrüstung

- 2 A1 a,b **Bekleidung** (*Sulzbacher*)
- 2 A2 a,b **Beleuchtung** (*Sulzbacher & Plan*)
- 2 A3 a **Gurtzeug** (*Sulzbacher*)
- 2 A4 a,b **Abseilgeräte und Steigzeug** (*Sulzbacher*)
- 2 A5 a **Schleifsäcke** (*Sulzbacher*)
- A6 **Verpflegung**

Gemeinschaftsausrüstung

- 2 A10 a **Seile** (*Plan & Resch*)
 - A11 Bandschlingen, Repschnüre etc.
 - A12 Karabiner, Schraubglieder etc.
 - A13 Laschen
- 2 A14 a **Klemmkeile, Haken und Cliffhanger** (*Sulzbacher & Herrmann*)

Befahrungstechnik-Grundwissen

- 2 A20 a **Schachtbefahrung** (*Sulzbacher*)
- 2 A21 a-c **Seilknoten** (*Sulzbacher*)
 - A22 Seilbefestigung
- 2 A23 a-e **Abstieg und Aufstieg am Seil** (*Decker & Sulzbacher*)
 - A24 Klettertechniken in Höhlen
 - A25 Schlotklettern
- 1 A26 a,b **Schliefen** (*Herrmann*)
- 1 A27 a,b **Biwakieren in Höhlen** (*Knobloch*)
 - A28 Befahrung von Wasserhöhlen

Befahrungstechnik-Know-how

- 2 A40 a-c **Planung von Höhlentouren** (*Wielander*)
 - A41 Planung von Forschungseinsätzen
 - A42 Umweltschonende Höhlenbefahrung
- 2 A43 a-c **Behelfsmäßige Befahrungsmethoden** (*Berghold*)
 - A44 Risikoprävention: „Spielregeln“
- 2 A45 a-c **Risikoprävention: natürliche Risiken** (*Herrmann*)
- 2 A46 a-c **Risikoprävention: persönliche Risiken** (*Herrmann*)
 - A47 Risikoprävention: Notfallausrüstung
 - A48 Notfallmaßnahmen: Erste Hilfe
 - A49 Notfallmaßnahmen: Sofortmaßnahmen
- 2 A50 a,c **Behelfsmäßige Kameradenrettung** (*Hofmann & Gsenger*)
 - A51 Flaschenzüge
- 2 A52 a **Lotung von Schachttiefen** (*Herrmann*)
 - A53 Leichtausrüstung
- 2 A54 a,b **AS Verankerung** (*Herrmann*)

Merkblätter B – Höhlendokumentation

1 B1 a Grundelemente der Höhlendokumentation (*Herrmann*)

Prospektion, Daten- und Arbeitsgrundlagen

2 B2 a,b Das Österreichische Höhlenverzeichnis (*Stummer & Herrmann*)

B3 Der Höhlenkataster

B4 Katasterdatenbanken

1 B5 a Neuaufnahme von Höhlen in den Kataster (*Stummer*)

B6 Nummerierung von Höhlen

1 B7 a-d Systematische Prospektion im Gelände (*Herrmann*)

B8 Hilfsmittel Landkarte

2 B9 a Kartenprojektionen (*Stummer*)

B10 Koordinatensysteme

B11 Geländedarstellung in Landkarten

B12 Hilfsmittel Karstgefährdungskarte

B13 Hilfsmittel Luftbild/Orthofoto

B14 Archive, Sammlungen und Datenaustausch

Vermessung

2 B20 a Methoden zur Lageermittlung (*Herrmann*)

2 B21 a-e Lageermittlung mit GPS (*Neugebauer*)

B22 Höhenermittlung von Höhleneingängen

2 B23 a Geodätische Lageermittlung (*Stummer*)

1 B24 a,b Die Angabe der Lagegenauigkeit (*Plan*)

B25 Unterschiedliche Nordrichtungen

2 B26 a,b Die Höhlenvermessung (*Stummer, Herrmann & Plan*)

2 B27 Gebräuchliche Messgeräte (*Herrmann*)

B28 Der Polygonzug

B29 Systematische Bezeichnung der Messpunkte

2 B30 a,b Das Messprotokoll (*Herrmann & Plan*)

1 B31 a Arbeitsweise der Messgruppe (*Herrmann*)

1 B32 a-c Tipps und Tricks für eine genaue Vermessung (*Straka*)

B33 EDV-gestützte Messdatenauswertung

Plandarstellung

- 2 **B40 a Grundriss, Längsschnitt, Aufriss und Profile (*Plan*)**
- 2 **B41 a,b Die Grundausrüstung des Höhlenplanes (*Stummer & Herrmann*)**
 - B42 Gebräuchliche Darstellungsmaßstäbe
- 1 **B43 a Höhlenplansignaturen (*Plan*)**
- 2 **B44 a-c Schachtdarstellung in Höhlengrundrissen (*Herrmann*)**
- 1 **B45 a Nordpfeile für Höhlenpläne (*Herrmann*)**
- 1 **B46 a Maßstabsleisten für Höhlenpläne (*Herrmann*)**
- 1 **B47 a-c Die Entwurfszeichnung in der Höhle (*Herrmann*)**
 - B48 Übertragung vom Entwurf zum Plan per Hand
- 2 **B49 a-c Übertragung vom Entwurf zum Plan am Computer (*Klampfer*)**
 - B50 Händisches Planzeichnen
 - B51 Planzeichnen am Computer
- 2 **B52 a,b Generalisierung von Höhlenplänen (*Herrmann*)**
 - B53 Begriffe der Höhlenkartographie
 - B54 Gebräuchliche Darstellungsmethoden v. Höhlensystemen
 - B55 GIS in der Höhlenkunde

Schriftliche Höhlendokumentation

- 1 **B60 a,b Prägung von Höhlennamen (*Pfarr*)**
 - B61 Schreibung von Höhlennamen
- 1 **B62 a Inhalt von Forschungsberichten (*Herrmann*)**
- 1 **B63 a Abfassung von Raumbeschreibungen (*Herrmann & Pfarr*)**

Bildliche Höhlendokumentation

- B70 Höhlenfotografie
- 2 **B71 a-d Filmen in Höhlen (*Zadrobilek & Wimmer*)**

Merkblätter C – Wissenschaftliche Höhlenkunde

Speläologie und Karstkunde

- 2 C1 a Speläologie - Höhlenkunde (*Plan*)
- 2 C2 a,b Karst und Karsthöhlen (*Plan*)
- 2 C3 a,b Nicht-Karst-Höhlen (*Plan*)
- 1 C4 a Prozess der Verkarstung (*Plan*)
- 1 C5 a Verkarstungsfähige Gesteine (*Plan*)
- 1 C6 a,b Entstehung von Karsthöhlen (*Plan*)
- 1 C7 a-c Raumprofile in Höhlen (*Plan*)
- 1 C8 a,b Kleinformen in Höhlen (*Plan*)
- 1 C10 a,b Oberflächenkarstformen – Großformen (*Plan*)
- 1 C11 a Oberflächenkarstformen – Kleinformen (*Fink & Plan*)

Geologisch relevantes

- 1 C20 a,b Karstgebiete Österreichs (*Pavuza*)
- 1 C21 a,b Zeitliche Einstufung wichtiger verkarstungsfähiger Gesteine (*Plan*)
- 1 C22 a,b Trennflächen im Gestein (*Plan*)
- 1 C23 a,b Sedimentäre Schichtung (*Plan*)
- 1 C24 a,b Bruchtektonische Strukturen (*Plan*)
- 1 C25 a Großtektonische Strukturen (*Plan*)
- 1 C26 a-c Tertiäre Entwicklung der Nördlichen Kalkalpen (*Frisch*)
- 2n C27 a-d Das Quartär (*Spötl*)

Höhleninhalt

- 2 C30 a Höhleninhalt (*Häuselmann*)
- 2 C31 a-g Sedimente in Höhlen (*Häuselmann*)
- 2 C32 a-c Minerale in Höhlen (*Häuselmann & Seemann*)
- 1 C33 a-e Höhlensinter (*Spötl*)
- 1 C34 a-c Datierung von Höhlensintern (*Spötl*)

Karsthydrologie

- 1 C40 a Typen von Karstquellen (*Völkl*)
- 1 C41 a,b Die wichtigsten Untersuchungsmethoden an Karstwässern (*Völkl*)
- 1 C42 a-c Interpretation hydrochemischer Parameter des Karstwassers (*Pavuza & Plan*)
- 1 C43 a,b Elektronische Datensammlermess-Systeme (*Völkl*)

Höhlenklima und Paläoklimaforschung

- C50 Temperaturverteilung in Höhlen
- C51 Bewetterung von Höhlen
- C35 Höhleneis
- C52 Radon in Höhlen

2 C53 a-d Höhlen und Paläoklimaforschung (*Spötl*)

Biospeläologie

1 C60 a-c Wirbellose Tiere in österreichischen Höhlen (*Christian*)

- C61 Fledermäuse in Höhlen
- C62 Fledermausbeobachtungen
- C63 Knochenfunde in Höhlen

1 C64 a,b Paläontologie – Fossile Wirbeltierreste in Höhlen (*Rabeder*)

1 C65 a-c Grüne Pflanzen und Pilze in Höhlen (*Passauer*)

Historische Speläologie und Anthropspeläologie

1 C70 a,b Prähistorische Funde in Höhlen (*Kusch & Kusch*)

- C71 Meilensteine der Höhlenforschung
- C72 Arbeitsgebiete der historischen Speläologie

2 C73 a,b Erdstallforschung (*Bednarik*)

1 C74 a,b Montanspeläologie (*Knobloch*)

- C75 Naturzustand der Höhlen in Österreich
- C76 Höhlenschutz

Merkblätter D – Organisation der Höhlenkunde in Österreich und Rechtsfragen der Höhlenkunde

Organisation

- D1 Struktur der Höhlenforschung in Österreich
- D2 Aufgaben und Dienstleistungen des VÖH
- 1 **D3 a-c Mitglieder des VÖH (Greger)**
- 1 **D4 a-e Schauhöhlen in Österreich (Stummer)**
- D5 Höhlenkundliche Schulung in Österreich
- D6 Internationale höhlenkundliche Organisationen
- 1 **D7 a,b Höhlenkundliche Periodika und Schriftenreihen in Österreich (Pfarr)**
- 1 **D8 a,b Wichtige internationale höhlenkundliche Periodika (Pfarr)**
- 1 **D9 a Wesentliche Standardwerke der Karst- und Höhlenkunde (Pfarr)**
- D10 Höhlenausstatter

Höhlenrecht

- D20 Naturschutzrecht in Österreich
- D21 Höhlenschutzrecht in Österreich
- D22 Höhlenführerwesen in Österreich
- D23 Zugangs- und Betretungsrecht von Höhlen
- D24 Haftungsrecht bei Höhlenbefahrungen

Bekleidung

Aufgrund der Eigenheiten von Höhlen, meist kalt, feucht bis nass sowie manchmal eng oder/und lehmig zu sein, kommt der Bekleidung des Höhlenforschers besondere Bedeutung zu. Um diesen Umständen Rechnung zu tragen, sollte die Bekleidung jedenfalls verschleißfest, wasserabweisend und gut isolierend sein. Der Fachhandel bietet hierzu verschiedene Lösungen an, um der jeweiligen Anwendung Rechnung zu tragen.

Der Schliefanzug (kurz: Schlaz)

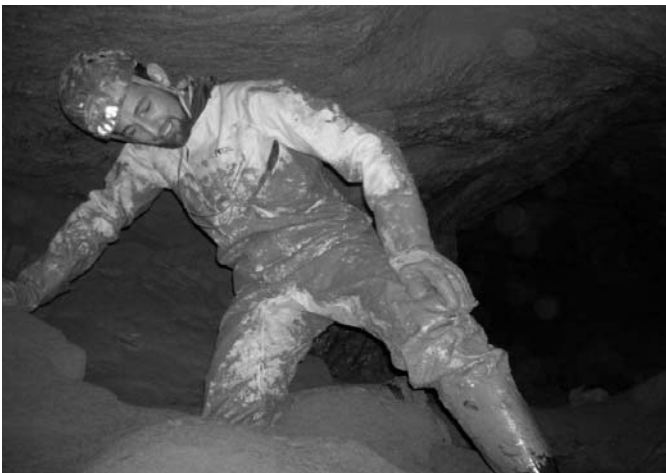
Kann aus Stoff, Kunstfasergewebe oder PVC- beschichtetem Gewebe bestehen.

Overalls aus herkömmlichen Geweben (z.B. Baumwolle) finden vor allem in Schauhöhlenbetrieben Verwendung, können jedoch auch bei Geländeerkundungen oder Bergwanderungen nützlich sein, wenn es darum geht, eingangsnaher Teile neu aufgefunderer Höhlen zu erkunden. Sie sind leicht und lassen sich auch in kleinen Rucksäcken verstauen, bieten jedoch nur mäßigen Schutz vor Schmutz und keinen Nässeschutz.

Konventionelle Schlaze (der Schlaz schlechthin) bestehen aus stabilem, reißfestem Gewebe (z. B. Cordura), verfügen meist über Aufdoppelungen an Gesäß und im Bereich der Knie sowie der Ellbögen und sind häufig innen mit einer dünnen Schicht aus Polyurethan versehen. Durch diese Beschichtung wird der Anzug halbwegs wasserdicht, bleibt jedoch luftdurchlässig. Diese Schlaze stellen die Standardausrüstung und das am besten geeignete Mittel für fast alle Höhlentouren dar.

Der Superschlaz besteht aus PVC-beschichtetem Gewebe, er ist in hohem Maße wasserdicht, jedoch nicht mehr luftdurchlässig. Für längere Touren nur bedingt geeignet, da man stark schwitzt, nützlich für sehr nasse oder lehmige Höhlen, insbesondere auch für stark tropfwasserführende Schächte. Superschlaze sind für enge Höhlen mit scharfkantigen Felsen wenig brauchbar, da sie leicht reißen.

Darüber hinaus bietet der Handel auch eine Mischung aus Schlaz und Superschlaz an, der bis zum Gesäß PVC- beschichtet ist, oberhalb jedoch nicht.



In sehr lehmigen Höhlen ist der Einsatz eines Superschlazes durchaus empfehlenswert.



Konventionelle Schlaze sind für fast alle Höhlentouren geeignet.

Unterbekleidung

Anforderungen an die Unterbekleidung

Die Temperatur in durchschnittlichen Höhlen der Alpen liegt meist nur knapp über dem Gefrierpunkt, hinzu kommt die beinahe zwangsläufig früher oder später eintretende Durchnässung des Höhlenforschers (entweder durch Wasser in der Höhle oder durch Schweiß) sowie fallweise Wetterführung. Auch die körperliche Aktivität in der Höhle variiert beträchtlich, oft folgt auf die Anstrengung des Zustiegs eine längere Phase der Bewegungslosigkeit während des Vermessens. Da die körperliche (und allenthalben geistige) Leistungsfähigkeit durch Kälte gravierend herabgesetzt wird, ist es sehr bedeutsam, eine entsprechend wärmende Unterbekleidung zu tragen (bzw. mitzuführen und bei Vermessungsarbeiten vor Ort anzuziehen).

Eine Reihe **handelsübliche Unterzieher** steht für diesen Zweck zur Verfügung. Sie sollten grundsätzlich aus Kunstfasern bestehen, da diese Materialien Nässe kaum speichern, sondern nach außen abgeben (von Baumwolle ist auf jeden Fall Abstand zu nehmen!). Exemplare aus eher dünnem Material sind für Vermessungstätigkeiten wenig geeignet, da sie bei längerer Bewegungslosigkeit zu kalt sind, für touristische Touren jedoch meist ausreichend. Die Modellpalette reicht bis zu dicken, fellartigen Unterziehern, die auch in nassem Zustand noch ausreichend warm sind und bis zu einem gewissen Grad auch die Befahrung von Wasserhöhlen ermöglichen.

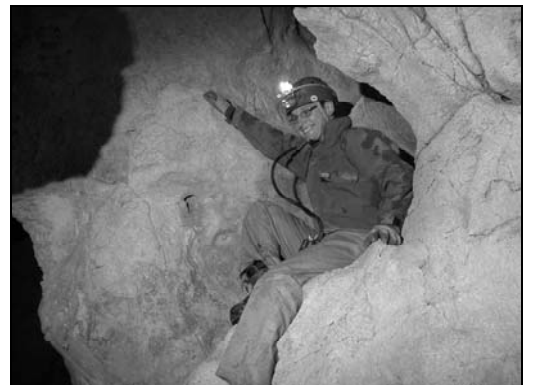
Aufgrund der Tatsache, dass der Höhlenforscher im Regelfall während einer Tour abwechselnd schwitzt und dann wieder friert, empfiehlt es sich einerseits, sich nach dem Zwiebelschalenmodell zu kleiden, andererseits auch trockene Reservebekleidung (zumindest bei langen Touren) mitzuführen.

Neoprenanzüge (zur Anwendung kommen Nass- bzw. Halbtrockenanzüge)

Sie sind im Surf- oder Tauchsporthandel, billiger jedoch meist im Höhlenausstattungshandel zu haben. Sie werden hauptsächlich zur Überwindung von Höhlenseen oder Halbsiphonen eingesetzt. Keinesfalls sollten jedoch anstrengende Tätigkeiten über Wasser, z. B. längere Schachtaufstiege, im Neoprenanzug durchgeführt werden, es kann dabei unter Umständen bis zum Hitzschlag kommen. Weiters sind die eng anliegenden Neoprenanzüge sehr bewegungshinderlich.

Schuhwerk

Bergschuhe bieten den Vorteil guter Stabilität und Wärmeisolation und sind meist auch relativ wasserdicht (zumindest bei entsprechender Behandlung). Eine sehr gute Alternative bieten jedoch Gummistiefel: sie sind vollkommen wasserdicht, lassen sich leichter reinigen und trocknen innen sehr schnell, da nicht gefüttert. Weiche Exemplare aus Gummi sind entgegen landläufiger Meinung sehr wohl auch zum Klettern in Höhlen geeignet, und zwar recht gut. Einen weiteren Vorteil bietet die meist sehr grobstollige Sohle, die auch in Lehm und sogar auf angetautem Eis relativ guten Halt bietet. Vorsicht ist jedoch geboten, wenn Gummistiefel im Schnee eingesetzt werden sollen: auf Grund mangelnder Isolation kommt es erstaunlich schnell zu Erfrierungen. Sehr warme Socken (auch hierzu halten die Ausrüster spezielle Lösungen bereit) sind Pflicht, beim Kauf von Gummistiefeln sind solche aus möglichst weichem Material vorzuziehen, da sie zum Klettern besser geeignet sind.



Beleuchtung

Verschiedene Beleuchtungssysteme

Nach dem eingesetzten Energieträger lassen sich grundsätzlich zwei verschiedene Beleuchtungssysteme unterscheiden:

Bei **Karbidlampen** wird durch eine chemische Reaktion zwischen Calciumcarbid und Wasser Acetylgas (oder chem. korrekter Ethin) freigesetzt, welches durch eine Düse austritt und als helle Flamme verbrennt. Karbidlicht zeichnet sich durch gute, räumliche Ausleuchtung sowie durch eine angenehme, gelblich-weiße Lichtfarbe aus. Überdies kann mit einer solchen Lampe eine sehr wirksame Beheizung eines Notbiwaks erreicht werden. Karbidlicht ist aber in Schläfen weniger geeignet, da der Entwickler durch häufiges Schütteln und Umkippen nicht gleichmäßig funktioniert. Anfällig ist die Flamme natürlich auch gegen Wind und (Tropf-) Wasser.

Elektrische Lampen hingegen nutzen Akkumulatoren, um elektrische Energie über ein Leuchtmittel (Glühbirnchen oder Leuchtdiode) in Licht zu verwandeln. Der Vorteil besteht in der relativ einfachen Wartung, darüber hinaus sind viele Elektrolampen wasserdicht, (zumindest tropfwasserdicht). Nachteilig ist die Tatsache, dass elektrische Lampen immer nur einen mehr oder weniger schmalen, kegelförmigen Bereich erhellen, jedoch lassen sich speziell mit Halogenlampen sehr große Leuchtweiten erzielen.

Funktionsweise sowie Wartung von Carbidlampen

Der Entwickler besteht aus dem Reaktionsraum, der mit Calciumcarbid (kohleähnlichen, ca. 20 mm großen Körnern) befüllt wird, sowie dem darüber angebrachten Wassertank, aus dem über eine Regulierdüse Wasser auf das Karbid tropft. Das bei der darauf folgenden Reaktion freigesetzte Gas verlässt den Entwickler über einen Schlauch, der zum am Helm befindlichen Brenner führt. Aus dem Karbid entsteht dabei Calciumhydroxid als Rückstand, welches im Entwickler mehr Raum beansprucht, daher darf dieser niemals vollständig mit Karbid befüllt werden. Je nach Entwicklertyp und Brennerdüse lässt sich eine Leuchtdauer von bis zu acht Stunden pro Füllung erreichen. Wasser muss jedoch schon früher ergänzt werden, daher ist dieses stets mitzuführen.

Damit Wasser kontinuierlich in den Reaktionsraum gelangen kann, ist im Tank eine Druckausgleichsöffnung vorgesehen. Um den Wasserverlust über diese Öffnung einzuschränken, verfügen Entwickler meist über einen zweiten Schlauch, über dessen offenes Ende der Druckausgleich hergestellt wird. Vorsicht: eine zu starke Wasserzufuhr führt dazu, dass die Lampe „absäuft“ und nicht mehr funktioniert.

Nach Gebrauch ist der Entwickler zu leeren (Wassertank und Reaktionsraum) und von Karbidüberresten zu reinigen. Der Brennerschlauch kann abgenommen und durchgeblasen werden, die Düse ist mit einer dafür vorgesehenen Bürste zu reinigen. Die Dichtungen sowie die Regulierschraube sollten gelegentlich ausgebaut, gereinigt und leicht gefettet werden. Wird überdies darauf geachtet, dass nicht durch zu weites Öffnen der Regulierschraube (max. ein bis zwei Umdrehungen) Wasser oder gar Karbidrückstände in den Brennerschlauch gelangen, steht einer zuverlässigen Funktion nichts mehr im Wege.

Handkarbidlampen sind aus der Mode gekommen, werden aber noch in manchen Schauhöhlen und Schaubergwerken eingesetzt.



Sehr gebräuchliches System bestehend aus fest montierter Helmlampe (Halogenlampe oder LED wahlweise schaltbar) sowie Karbidlampe mit Entwickler aus Kunststoff.



Karbidlampen können verschiedene Störungen haben, die aber meist leicht behoben werden können:

Defekt	Behebung
Verstopfter Brenner oder rußende Flamme	Reinigen des Brenners mit Brennerbürstchen oder Austauschen des Brenners.
Verstopfte Wasserschraube	kurzes (!) Herausziehen der Wasserschraube, Achtung: starke Gasbildung!
Verstopfung der Luftzufuhr zum Wasserbehälter	Reinigung mit Wasser, auf Sauberkeit achten.
Gasaustritt zwischen Karbid- und Wasserbehälter	Fester verschrauben bzw. korrekt aufsetzen. Rand des Karbidbehälters beim Reinigen nie gegen Steine klopfen, da Kerben undichte Stellen verursachen!
Stichflamme der Helmlampe bei Schlüfen	Vor dem Schluf Wasserschraube kleiner drehen. Ursache ist das Schütteln des Karbidentwicklers.
Verstopfung des Gas-schlauches mit Karbidstaub	Auskratzen mit festem Draht, regelmäßig durchblasen.
Gasaustritt unter dem Brenner	Fester aufschrauben, abdichten mit Isolierband oder Klebstoff bzw. neuer Dichtung.

Elektrolampen

Bei **herkömmlichen Glühbirnchen** wird durch Stromdurchgang eine Glühwendel aus Wolfram auf Temperaturen von mehr als 3000 Grad erhitzt, wodurch diese Licht abgibt. Nachteilig ist der hohe Energiebedarf, nur ca. 5% der elektrischen Energie werden in Licht umgewandelt. Des Weiteren ist der Glühfaden in heißem Zustand erschütterungsanfällig. Diese Tatsachen haben zum Siegeszug von **Leuchtdioden** (kurz LED für engl. Light Emitting Diode) geführt. Dabei wird durch Stromdurchgang ein Halbleiterkristall zur Lumineszenz im ultravioletten Spektralbereich angeregt, eine am Kristall befindliche photolumineszente Schicht wandelt die UV- Strahlung in weißes Licht um. LEDs bieten eine reine Nahfeldbeleuchtung, sie sind absolut erschütterungsunempfindlich und wandeln über 20% der elektrischen Energie in Licht um. Dieser hohe Wirkungsgrad wird jedoch dadurch beeinträchtigt, dass zur Strombegrenzung immer ein Vorwiderstand erforderlich ist, der zu Verlusten führt. Dieses Problem wird von der Industrie dadurch umgangen, dass zur Strombegrenzung bei manchen Lampen ein elektronischer Wandler eingesetzt wird, dadurch lassen sich enorm hohe Leuchtdauern pro Akku erreichen.

Langfristig einsetzbar bleiben auch Elektrolampen nur bei richtiger Wartung, die Akkus müssen bei langem Nichtgebrauch entfernt werden, da die Gefahr besteht, dass austretender Elektrolyt die Kontakte der Lampe beschädigt. Batteriefach und Lampenkopf sollten geöffnet werden, da geringe Mengen an Feuchtigkeit (die fast immer auch in wasserdichte Lampen irgendwann eindringen) zu Kontaktkorrosion führen; ein Hauch Kontaktspray, auf die elektrischen Teile aufgebracht ist auch sehr hilfreich.

Sicherheit und Höhlenschutz

Da eine Fehlfunktion bei keiner Lampe auszuschließen ist, muss jeder Teilnehmer an einer Höhlentour (aus. Schauhöhlen) über mindestens zwei voneinander unabhängige Lichtquellen verfügen. Karbidabfälle sind teilweise giftig und schädigen das Ökosystem Höhle und sind daher unbedingt wieder mitzunehmen und über den Restmüll zu entsorgen. In Höhlen mit durchwegs kleiner Raumhöhe ist eher dem Elektrolicht der Vorzug zu geben, der Entwickler stört ohnehin beim Schließen und funktioniert nicht zufriedenstellend, vor allem verursacht die Flamme aber Rußflecken an der Höhlendecke.

Fackeln und dergleichen kommen aufgrund der starken Rauchentwicklung keinesfalls in Frage. Häufig wurden auch schon Massen ausgebrannter Kerzen in Höhlen aufgefunden, Kerzen sind zwar romantisch, stellen aber keine taugliche Höhlenbeleuchtung dar.

Leere Akkus enthalten neben dem ätzenden Elektrolyten auch Schwermetalle, sie sind als Sondermüll zu behandeln oder dem Handel zurückzugeben, keinesfalls in Höhlen zu deponieren. Überhaupt sind aufladbare Nickel- Metallhydridakkus zu einer wesentlich sinnvolleren Lösung geworden, neben mittlerweile sehr guter Leistung sind sie längerfristig deutlich billiger und wesentlich umweltschonender.

Gurtzeug

Das Gurtzeug stellt das Bindeglied zwischen dem Höhlenforscher und seinen Geräten zur Schachtbefahrung dar. Im Höhlengebrauch wird ausschließlich eine Kombination aus Sitzgurt und separatem Brustgurt verwendet. Das Gurtzeug muss genügend belastbar sein, um im Falle eines Sturzes in eine Seilsicherung sehr hohe Zugkräfte aufzunehmen, es soll außerdem eng anliegen, um die Hubbewegung beim Aufstieg am Seil möglichst gut auszunützen. Klettergurte sollten für Höhlenbefahrungen nicht eingesetzt werden (siehe unten).

Der Sitzgurt

Der Sitzgurt wird aus breiten Kunstfaserbändern gefertigt und besteht im einfachsten Fall aus einer Schlaufe am Rücken und zwei Beinschlaufen, die über dafür vorgesehene Ösen mit dem Zentralschraubglied verbunden werden. Im Gegensatz zu Klettergurten liegt der Anseilpunkt (=Schwerpunkt) beim Speleogurt tiefer, um einen möglichst großen Hub beim Seilaufstieg zu erreichen, des Weiteren verfügt er über Verstärkungen an exponierten Stellen, um Beschädigungen des Gurtbandes in engen Passagen zu vermeiden. Es sind auch Modelle mit einem weiteren, übers Gesäß verlaufenden Band erhältlich, sie sind vor allem für tiefe Schächte sinnvoll, da sie langes Sitzen bequemer machen.



Standard-Speleo-Sitzgurt



Brustgurt in Y-Form



Brustgurt in Achterform

Der Brustgurt

Dient dazu, die Bruststeigklemme am Seil hochzuführen, des Weiteren um zu verhindern, dass eine Verunglückte, kopfüber hängende Person aus dem Sitzgurt rutschen kann, was jedoch ohnehin eher unwahrscheinlich ist. Da ihm sicherheitstechnisch weniger Bedeutung zukommt, reicht im einfachsten Fall ein Textilband mit Verstellmöglichkeit, welches über die Schultern läuft, am Rücken überkreuzt und durch die Bruststeigklemme geführt wird. Es wird eine Vielzahl von Brustgurten angeboten, die leicht verstellbar sind und überdies mit Materialschlaufen aufwarten können.

Der Aufhängungspunkt

Ein großes Halbrundsraubglied (auch als "Maillon" bezeichnet), aber kein Karabiner(!), dient als zentraler Verbindungspunkt aller Geräte und Selbstsicherungen mit dem Sitzgurt. Die Selbstsicherungen werden mittels Ankerstich direkt in das Zentralschraubglied eingebunden (keine zusätzlichen Karabiner). Die Lage der Bruststeigklemme im Verhältnis zum Schwerpunkt lässt sich an die jeweilige Anatomie sowie Gewohnheit anpassen, indem ein Karabiner zwischen Halbrundsraubglied und Bruststeigklemme aufgenommen wird. Dadurch erhöht sich der Fixpunkt, es muss weniger Kraft in den Händen aufgewandt werden, um sich am Seil aufzurichten, jedoch mit dem Nachteil, dass der nutzbare Hub etwas kleiner wird. Durch Probieren lässt sich die individuell günstigste Einstellung ermitteln.

Sicherheit

Die belasteten Teile des Gurtes sind regelmäßig auf Verschleiß zu überprüfen, Gurtbänder müssen frei von sichtbaren Abnutzungserscheinungen oder gar Rissen sein (auch an Teilen, die z. B. unter Textilaufdoppelungen versteckt sind, kontrollieren), Metallteile (Ösen, falls vorhanden) dürfen nicht verformt oder stark korrodiert sein. Sitzgurte verfügen über Verstellmöglichkeiten, die Bänder müssen in den Dreistegeschnallen zurückgefädelt werden! Das komplette Gurtzeug (samt allen Geräten) stellt prinzipiell persönliche Ausrüstung dar, jeder Teilnehmer einer Gruppe sollte sein eigenes Steigzeug verwenden.

Abseilgeräte und Steigzeug

Abseilgeräte

Abseilgeräte, die im Canyoning oder im alpinen Bereich eingesetzt werden, wie z. B. der Achter, sind für die Höhlenbefahrung kaum brauchbar, da sie dazu neigen, das Seil zu verdrillen und so an Umstiegstellen zum Krangeln führen. Des Weiteren bieten sie zu wenig Widerstand gegen Abrieb, der durch lehmige Seile verursacht wird.

Abseilgeräte dürfen nur mit einem Schraubkarabner ins zentrale Schraubglied eingehängt werden. Bei jedem Gerät ist die Bedienungsanleitung genau zu beachten.

Das einfachste Abseilgerät für Höhlengebrauch ist das *Petzl Simple* oder ähnliche Geräte von anderen Herstellern. Das Seil wird über zwei fest montierte Rollen geführt, wodurch die gewünschte Reibung entsteht. Diese Rollen lassen sich auch umgekehrt montieren, falls sie durch häufigen Gebrauch bereits eingeschliffen sind. Beim Einlegen des Seiles bleibt das Gerät am Gurt fixiert. Das Simple sollte nicht ohne zusätzlichen Bremskarabiner verwendet werden.

Das Gerät *Petzl Stop* ist eine Weiterentwicklung dieses Konzepts mit dem Unterschied, dass die untere Rolle nockenförmig ausgebildet, schwenkbar gelagert sowie mit einem Hebel versehen ist. Solange man diesen gedrückt hält, gibt die Rolle das Seil frei, die Abseilfahrt lässt sich mit der rechten Hand am freien Seil regulieren. Lässt man den Hebel los, so blockiert das Gerät, die Abseilfahrt kommt zum Stillstand. Dieses Gerät kann auch für sehr kurze Strecken zum Aufstieg am Seil benutzt werden: man stellt sich in die Steigschlinge und zieht das Seil durchs Gerät, beim Entlasten der Steigschlinge dient die Stop-Funktion als Rücklaufsperrung. Da die Rollen asymmetrisch sind, können sie im Gegensatz zum *Simple* nur einseitig verwendet werden. Eine Gefahr stellt beim Stop der sog. „Klammer-Effekt“ dar: In überraschenden Notsituationen (z.B. Steinschlag) drückt man instinktiv die Hände zu – dies kann beim Stop dazu führen, dass man mit beiden Händen den Hebel durchdrückt und ungebremst am Seil abfährt. Alternativ sind daher Abseilgeräte mit doppelter Stop-Funktion, z. B. **Indi** oder **Double Stop** erhältlich, sie blockieren mit losgelassenem aber auch mit ganz durchgedrücktem Hebel.

Unter einem **Rack** versteht sich ein Gerät, bei dem die Reibung über runde Metallstäbe erreicht wird, durch die das Seil läuft. Es besitzt keine Stop-Funktion. Vorteilhaft ist jedoch die sehr gleichmäßige und fein regulierbare Abseilgeschwindigkeit. Das Rack ist für lange Abseilstrecken zu empfehlen und kann auch am Doppelseil verwendet werden.

Sicherungsgeräte

Werden Abseilgeräte ohne Stop-Funktion eingesetzt, so empfiehlt sich der Einsatz eines zusätzlichen Sicherungsgerätes, welches mit der freien Hand am Seil mitgeführt wird. Einfachstenfalls wird dies mit einem **Shunt** oder eigens für solche Zwecke erhältlicher **Sicherungsgeräte** erreicht. Die Funktion ist dieselbe, wie bei Abseilgeräten mit Stop-Funktion: lässt man das Sicherungsgerät los, verhindert es eine unkontrollierte Abseilfahrt.



Abseilgerät *Petzl Stop* geöffnet mit eingelegtem Seil.



Die Umlenkung des Seils durch einen Speziellen Bremskarabiner erzeugt zusätzliche Reibung.



Abseilgerät *Kong-Rack* mit eingelegtem Seil.

Steigzeug

Es dient in erster Linie dem Aufstieg am Seil, aber auch der Sicherung. Bei der bei uns gebräuchlichsten Steigmethode – der Frosch- oder Raupenmethode (MB A23) – sind zwei Steiggeräte erforderlich: die **Bruststeigklemme**, sie wird meist direkt im Zentralschraubglied des Sitzgurtes befestigt und die **Handsteigklemme**. Über diese wird mit Steigschlinge die Hubbewegung erreicht. Sie wird über eine Sicherungsleine ebenfalls im Zentralschraubglied eingebunden. Es gibt jedoch auch andere Methoden, bei denen z. B. mit zwei Handsteigklemmen gearbeitet wird (MB A23).

Außerdem ermöglichen Steigklemmen (im Notfall) den Abstieg auf einem belasteten Seil.



Bruststeigklemme (Croll) geöffnet, oben ist ein als Brustgurt dienendes Band erkennbar.



Handsteigklemme mit Sicherungsschlinge (wird im Zentralschraubglied eingebunden) und Steigschlinge

Die Klemmböcken der Steigklemmen verfügen über eine Verzahnung, um die Kraftübertragung aufs Seil zu ermöglichen. Eine Verriegelung schützt vor unbeabsichtigtem Öffnen der Klemme, Bohrungen im Gehäuse dienen dem Abführen von Verunreinigungen (Lehm, Eis,...), die sich in der Klemme anlagern.

Sonderformen von Steiggeräten

Der **Shunt**, der – wie schon erwähnt – auch als Sicherungsgerät dienen kann, lässt sich ebenso zum Aufstieg nutzen. Shunts greifen auch an stark verschmutzten oder gar vereisten Seilen.

Weiters bieten viele Hersteller **Notseilklemmen** an (z. B. Tibloc), die klein und sehr leicht sind, jedoch einen sehr guten Notersatz für alle Seilklemmen darstellen. Auch Rücklaufsperrern lassen sich hiermit aufbauen.

Fußsteigklemmen dienen dazu, den Aufstieg am Seil zu erleichtern, indem mit dem zweiten Fuß ebenfalls Arbeit verrichtet wird und das Seil durch die Bruststeigklemme gezogen wird. Sie besitzen jedoch keine Sicherung gegen unbeabsichtigtes Öffnen und sind daher rein zu diesem Zweck zu verwenden. Eine Fußsteigklemme lässt sich auch aus einer Handsteigklemme ohne Griff (z.B. Basic) oder Bruststeigklemme und Bändern selbst erstellen, dies hat weiters den Vorteil, dass eine vollwertige Ersatzklemme mitgeführt wird.

Neuerdings werden auch Steigklemmen, die aus der Kombination einer **Rolle** und einer **Klemmböcke** bestehen, als Ersatz für eine Bruststeigklemme angeboten, über deren Anwendung liegen jedoch zurzeit keine einheitlichen Erfahrungen vor.

Sollen schwere Lasten (Schleifsäcke) beim Aufstieg am Seil mitgeführt werden, so kann das Ende der Steigschlinge im Zentralschraubglied eingebunden und über eine Rolle an der Handsteigklemme geführt werden. Somit entsteht ein Flaschenzug, die pro Steigbewegung erreichte Hubhöhe halbiert sich zwar, der Kraftaufwand jedoch ebenfalls. Eine ähnliche Vorrichtung, welche die nötige Kraft (aber natürlich auch den erreichbaren Hub) um etwa ein Drittel reduziert, ist auch im Handel erhältlich (Petzl: Pompe)

Schleifsäcke

Dienen dem Transport von Hab und Gut des Höhlenforschers. Sie werden aus belastbaren Kunstfasergeweben angefertigt und meist zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit sowie zum Abweisen von Wasser und Schmutz mit PVC beschichtet.

Die Auswahl des Schleifsackes

Unabhängig von Preis und Qualität des Fabrikates ist festzustellen, dass der Schleifsack den am härtesten beanspruchten Gegenstand der Ausrüstung darstellt. Trotz stabiler Materialien und noch so guter Verarbeitung handelt es sich beim Schleifsack um einen Verschleißgegenstand. Dies sei nur gesagt, um Enttäuschungen zu vermeiden, denn auch teure Spitzenprodukte können nach einigen härteren Touren ernste Schäden aufweisen.

Wichtig sind hingegen neben verstellbaren Trägern auch Griffe an möglichst vielen Seiten am Schleifsack, dies gehört jedoch ohnehin zur Standardausstattung bei ziemlich allen Fabrikaten.

Als Verschluss dient im Normalfall eine Schnur, die durch den Rand des Sackes gefädelt wird, mit deren Hilfe kann der Sack auch durch Engstellen gezogen oder am Gurt abgehängt werden. Manche Anbieter liefern Schleifsäcke mit sehr dünnen Schnüren aus, deren Verknotungen sich dann schwer lösen lassen bzw. bei starker Verschmutzung nicht mehr gut zu fassen sind. Solche Schnüre sollten tunlichst durch dickere ersetzt werden. Das Tragen schwerer Schleifsäcke am Rücken während Schachtbefahrungen ist nicht empfehlenswert, da dies den Schwerpunkt des Höhlenforschers hebt (Ausnahme: Steinschlaggefährdete Schächte). Zusätzliche Zugverschlüsse ermöglichen sogar die Befüllung des Sackes über seine eigentliche Höhe, sind jedoch ansonsten eher störend.

Große Schleifsäcke haben einen Vorteil: man kann viel einfüllen, aber auch den Nachteil, dass man viel einfüllt. Sie dann durch Engstellen zu quetschen, ist sehr anstrengend und zeitraubend, nicht selten ist Kameradenhilfe nötig. Daher gilt: "So groß als nötig, so klein wie möglich"

Sonderformen

Der Segen wasserdichter Transportsäcke ist aus der Canyoning-Branche über uns gekommen, hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften dürfte sich aber leider keine allzu lange Lebensdauer im Höhlengebrauch einstellen. Die Umkehrung der Innovationsfolge lässt sich ebenso zeigen: Säcke mit (ungewollten) Löchern sind in der Höhlenforschung seit Alters her bekannt, werden aber nun auch im Wassersport eingesetzt (mit gestanzten Löchern im Handel erhältlich) um einen schnellen Wiederaustritt des Wassers zu ermöglichen. Des einen Freud, des anderen Leid.

Um Dübelsetzausrüstung und weitere Hilfsmittel der Technik zu verstauen und am Gurt zu befestigen, werden eigene Dübelsetzertaschen sowie sehr kleine Schleifsäcke angeboten.



Bewährt haben sich Schleifsäcke mit folgenden Merkmalen:

- Griff am Boden
- Griff an der Seite, optional auch an beiden Seiten
- eine Schnur dient zum Verschließen sowie zum Anhängen (sie soll lang genug sein, damit der Sack beim Aufstieg am Seil nicht stört, wenn er unter dem Gurt hängt)
- optionaler zusätzlicher Zugverschluss (ist aber vor allem in lehmigen Höhlen nicht praktisch)

Merke: ein Karabiner zum Anhängen soll sich immer an der Schleifsackschnur befinden!



Seile

Je nach Aufbau und Verwendungszweck unterscheidet man zwischen dynamischen, halbstatistischen und statischen Seilen. Letztere kommen aber in der Höhlenforschung nicht zum Einsatz.

Dynamisches Seil (Bergseil, Kletterseil)

Dynamische Seile weisen allgemein eine **relativ hohe Gebrauchsdehnung** (in der Regel deutlich über 7 %) auf. Im Falle einer Sturzbelastung nimmt das Seil durch Dehnung einen Großteil der Sturzenergie auf. In Verbindung mit einer dynamischen Sicherungsmethode (z.B. HMS) bleiben die auf den Gestürzten bzw. auf die Sicherungskette wirkenden Kräfte in einem vertretbaren Ausmaß. Bei Kletterseilen unterscheidet man zwischen Einfach-, Halb- und Zwillingsseilen.

Wegen der hohen Gebrauchsdehnung ist der Einsatz von Dynamikseilen bei Schachtabstiegen unvorteilhaft, diese Seile dienen zum Sichern (z.B. Schlotklettern)

Speläoseil (Halbstatistisches Seil)

Charakteristisch sind eine geringe Gebrauchsdehnung von ca. 3 % und hohe Abriebfestigkeit. Die statische Reißfestigkeit (= Bruchlast des Seils ohne Knoten) hängt vor allem vom Durchmesser ab und liegt ca. zwischen 13,5 kN und 20 kN (Herstellerangaben beachten; 1 kN entsprechen rund 100 kg). Nach den neuen Normvorschriften muss der Hersteller auch die Haltekraft angeben (gibt an, ab welcher Kraft Schäden am Seil auftreten). In der Höhlenforschung kommen Seile mit Durchmessern von 9 – 12 mm zum Einsatz (Dünne Seile sind wegen des geringen Gewichts eher für die Forschung gefragt, dickere Seile wegen der größeren Robustheit und dem höheren Bedienungskomfort bei Dauereinbauten und geführten Touren). Wichtig ist außerdem, dass die Seile der CE-Norm entsprechen – keine Billigprodukte verwenden. Speläoseile dürfen bei Kletterstellen nicht zum Sichern benutzt werden!

Seilprüfung und -pflege

Bei Höhlenbefahrungen werden die Seile im Normalfall verschmutzt und durch den Einsatz von Steigklemmen und Abseilgeräten bzw. durch die Seilreibung am Fels werden sie zudem entsprechend stark beansprucht. Die regelmäßige Prüfung und Reinigung der Seile ist daher unerlässlich.

Vor jeder Verwendung ist das Seil einer Prüfung zu unterziehen. Dabei lässt man das Seil langsam durch die Finger gleiten und überprüft den Zustand des Seils. Folgende Kriterien sind dabei zu beachten:

- Zustand des Seilmantels: Ist der Mantel beschädigt oder gar aufgeplatzt, so muss das Seil an dieser Stelle zerschnitten werden (die Teilstücke sowie Seile mit nur geringfügig aufgerautem, „pelzigem“ Mantel können jedoch weiterhin eingesetzt werden)
- Ist der Durchmesser des Seiles gleichmäßig? Unregelmäßigkeiten im Seildurchmesser, Einschnürungen, Eindellungen etc. deuten auf Beschädigungen hin. In diesen Fällen muss das Seil ausrangiert werden.
- Knickt das Seil bei der Bildung von Schlingen an bestimmten Stellen, so weist dies auf Beschädigungen des Kerns hin. Auch in diesem Fall ist das Seil nicht mehr zu verwenden.
- Die Bruchlast von allen Seilen lässt durch normale Alterung, aber speziell durch Verschmutzung u. Ä. stark nach.

Im Zweifelsfall ist das Seil auszuschneiden!

Neue Seile sind entsprechend der Bedienungsanleitung vorzubehandeln (abrollen, einwässern). Ein verschmutztes Seil wird mit Wasser (nicht heiß) gereinigt, indem man es durch eine Seilbürste zieht. Anschließend sollte das Seil kräftig gespült werden. Bei der gesamten Seilreinigung kommen keinerlei Reinigungsmittel (Seifen, Waschmittel...) zum Einsatz. Zum Trocknen wird das Seil, vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt und nicht in unmittelbarer Nähe eines Heizgerätes, aufgehängt.

Das Seil ist allgemein vor Chemikalien (Batteriesäure, Karbidreste, Benzin...), unnötiger Einwirkung von Sonnenlicht und Wärme zu schützen. Durch richtige und regelmäßige Seilpflege lässt sich die Lebensdauer des Seils verlängern.

Laschen

Die Verwendung der richtigen Lasche ist entscheidend für einen guten Seileinbau, vor allem um das Seil vor Felskontakt zu bewahren. Es gibt zwei Hauptformen: *gebogene* Laschen und *gedrehte* Laschen.

Bei **gebogenen Laschen** [Abb. links] liegt der Karabiner mit einem Schenkel am Felsen an und hält so den Knoten von der Wand fern. Gebogene Laschen werden daher bei Einbauten an senkrechten Wänden verwendet [Abb.1], sie dürfen allerdings nicht so angebracht werden, dass bei Belastung eine Hebelwirkung entsteht [Abb.2].



gebogene Lasche

Im Gegensatz zu den gebogenen Laschen liegt der Karabiner bei **gedrehten Laschen** [Abb. rechts] parallel zur Wand, dafür entsteht durch die Form der Lasche weniger Hebelwirkung am Anker, weshalb diese Laschen auch an Überhängen verwendet werden [Abb.3]. Es muss stets darauf geachtet werden, dass weder der Knoten, noch das Seil am Felsen scheuert. Daher darf diese Laschenform nicht an senkrechten Wänden angebracht werden [Abb.4].



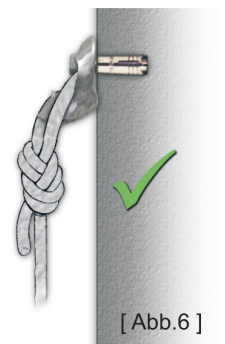
gedrehte Lasche

Tipp: auch mit gedrehten Laschen kann der Knoten von einer senkrechten Wand abgehalten werden, indem einfach ein zweiter Karabiner eingehängt wird [Abb.5].



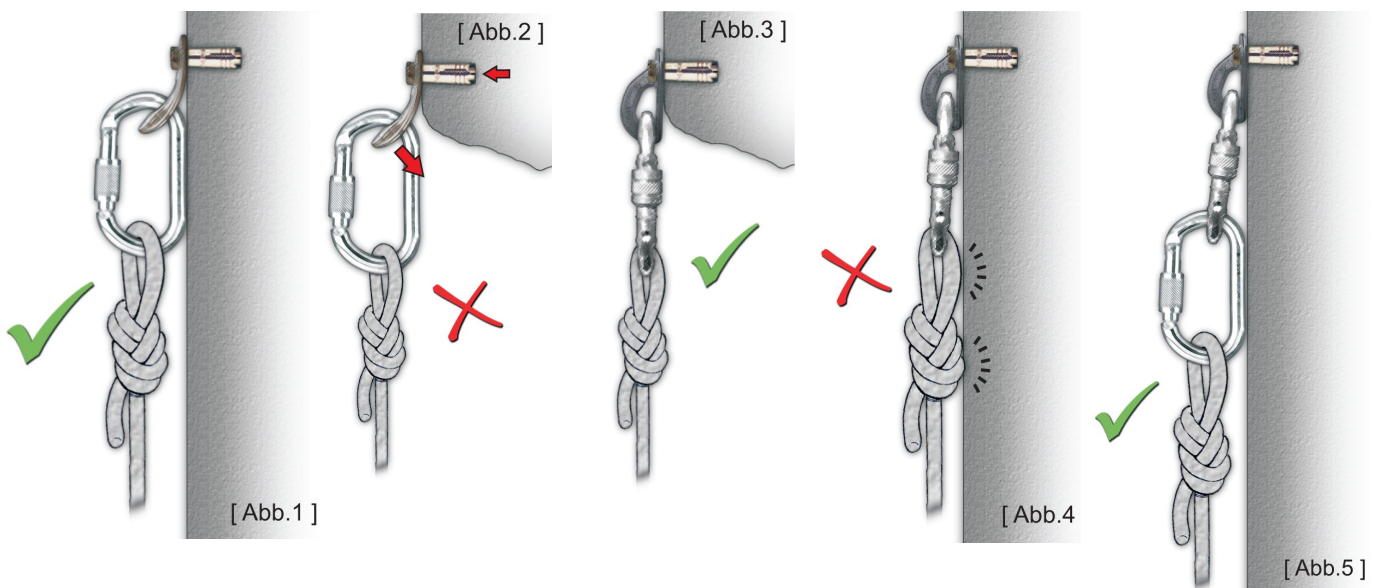
Clown

Neben gebogenen und gedrehten Laschen sind noch ein paar Sonderformen in Gebrauch: In einen **Clown** [Abb. links] wird das Seil direkt, ohne einen Karabiner eingebunden, muss aber vor dem Festschrauben eingelegt werden [Abb.6]. Clowns eignen sich auch für Deckeneinbauten.



[Abb.6]

Achtung: In Laschen dürfen Seile nicht direkt eingeknüpft werden, da durch die geringe Materialdicke eine hohe Kantenbelastung entsteht, die am Seil zu Beschädigungen bis hin zum Bruch führen kann. In Laschen werden daher nur Karabiner oder Schraubglieder eingehängt!



Klemmkeile, Felshaken und Cliffhanger

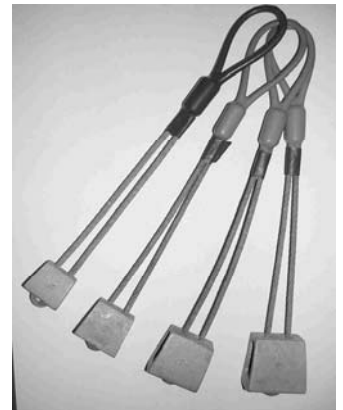
Verwendung

Klemmkeile, Felshaken und Ähnliches stellen Felsverankerungen dar, die sich in natürlichen Spalten und Rissen im Fels platzieren lassen. Da keine Bohrung erstellt werden muss, ist lediglich bescheidenes Werkzeug zum Setzen jener Befestigungen notwendig, Klemmkeile werden nur händisch in einem Spalt platziert, Haken werden mit dem Hammer eingeschlagen.

Achtung! Da keine berechenbare Haltekraft gegeben ist, dürfen alle derartigen Verankerungen lediglich von damit speziell ausgebildeten und erfahrenen Höhlenforschern verwendet werden. Klemmkeile halten zudem nur in eine Zugrichtung. Diese Hilfsmittel eignen sich vor allem als Sicherungsmittel bei Kletteraufstiegen, sind aber nur eingeschränkt als Abseilverankerungen in der Höhle nutzbar. Sie dürfen NIEMALS einzeln als Verankerung oder Sicherungspunkt verwendet werden!

Klemmkeile

Bestehen aus dem eigentlichen Keil, einem prismatischen Aluminiumteil, an dem eine Schlaufe aus Stahlseil oder steifer Reepschnur befestigt ist. Der Keil wird in höchst unterschiedlichen Formen gefertigt und besitzt verschiedene konvexe und/oder konkave Flächen, um in möglichst verschiedenen Positionen in einen Felsspalt eingelegt werden zu können. Die Kraftübertragung kommt überwiegend durch Formschluss zu Stande, der Keil muss so platziert werden, dass er durch die wirkende Zugkraft weiter in den Spalt hineingezogen wird. Klemmkeile sind in verschiedenen Größen erhältlich, die Auswahl des gerade passenden Keils und das richtige Einsetzen erfordern einige Übung und Probieren. Klemmkeile lassen sich nach der Verwendung auch wieder ausbauen, dies kann allerdings einige Mühe kosten. Ein Klemmkeilentferner erleichtert diese Arbeit. Kleine Klemmkeile (<1 cm) und flexible Klemm-Maschinen (Friends etc.) aus dem Klettersport sind in der Höhle aufgrund der meist unebenen und verschmutzten Felsoberfläche nicht geeignet.



Felshaken

Werden aus gehärtetem oder zähem Stahl gefertigt. Hartstahlhaken deformieren sich beim Einschlagen nicht wesentlich. Die Haltekraft ist auf reinen Kraftschluss zurückzuführen. Im Gegensatz dazu deformieren sich Haken aus zähem Stahl beim Einschlagen und passen sich der Felskontur an.

Da man im Höhleninneren nur selten ausreichend tiefe Risse im Gestein vorfindet, ist die Verwendung von Haken oft eher beschränkt. Das Entfernen von Haken geschieht mittels dosierter Hammerschläge abwechselnd von beiden Seiten, dies kann langwierig, manchmal sogar unmöglich sein. Das mehrmalige Aus- und Einschlagen von Felshaken an derselben Stelle zerstört üblicherweise die natürliche Felsstruktur, weshalb sich Haken generell nur für ein einmaliges Platzieren einer Verankerung eignen. Dauerhaft im Fels verankerte Haken können andererseits wieder an den Kontaktflächen zum Fels korrodieren, wodurch – durch Betrachtung des freiliegenden Teils nicht abschätzbar – die Haltekraft mit der Zeit verloren geht.



Cliffhanger bzw. Skyhook

Dabei handelt es sich um keine Verankerung im eigentlichen Sinn, sondern lediglich um einen Haken aus Stahlblech, der auf kleine bis kleinste Felsvorsprünge gehängt werden kann. Cliffhanger können als Kletterhilfe benützt werden oder um sich in Position zu halten, wenn man am Seil weit auspendelnd eine Verankerung setzen will.



Schachtbefahrung

Darunter ist grundsätzlich das Überwinden steiler bis senkrechter Höhlengänge zu verstehen, wobei von unterschiedlichen Hilfsmitteln Gebrauch gemacht werden kann:

Seilfreies Klettern, Klettern mit Halteseil

Viele kürzere Schachstrecken lassen sich, hinreichende Griff- und Trittmöglichkeiten vorausgesetzt, frei kletternd befahren. Das Anbringen eines zusätzlichen Halteseiles kann an solchen Stellen hilfreich sein. Da keine Steig- oder Abseilgeräte in ein Halteseil eingehängt werden, somit also nur Handkraft übertragen werden kann, müssen weder an die Verankerung noch an das Seil selbst die Festigkeitsanforderungen gestellt werden, die bei der Einseiltechnik gebräuchlich sind. Dies soll allerdings nicht heißen, dass die nötige Sorgfalt nicht auch beim Anbringen eines Halteseils walten sollte.

Fixe Leitern

Sind dann sinnvoll, wenn in einer Höhle lediglich kurze Schachtabstiege anzutreffen sind, die zwar nicht frei kletternd überwunden werden können, jedoch häufig befahren werden sollen. Werden entsprechende Abschnitte mit fest verankerten Leitern versehen, erübrigt sich oft die Mitnahme des Gurtzeuges.

Strickleitern (Drahtseilleitern)

Werden (wurden) vorzugsweise aus Stahlseil gefertigt, an dem in bestimmten Abständen Sprossen angebracht werden. Sie haben heute auf Grund mangelnder Sicherheit und erheblichen Gewichts hauptsächlich historische Bedeutung. In Ausnahmefällen sind Drahtseilleitern noch von Vorteil, um zum Beispiel kurze Schachtabschnitte für Personen überwindbar zu machen, die mit der Einseiltechnik nicht vertraut sind. Allerdings sollen derart kletternde Personen unbedingt gesichert werden (dynamisches Seil!), da unter anderem die verwendeten Stahlseile bei weitem häufiger brechen bzw. reißen, als man erwarten würde. Ein Gurt ist daher auch bei der Verwendung von Strickleitern Voraussetzung.





Einseiltechnik

Die Einseiltechnik (auch SRT von single rope technique) ist heute die Standardmethode zur Überwindung von Schächten. Der Abstieg erfolgt dabei an einem fest eingebauten Seil mit Hilfe eines Abseilgerätes, der Aufstieg mittels (mindestens zweier) Seilklemmen. Bei entsprechender Beherrschung der Technik und sorgfältigem Einbau des Seiles stellt die Einseiltechnik ein sehr sicheres und effizientes Werkzeug zur Befahrung senkrechter Höhlengänge dar. (siehe MB A21 bis A23)

Haftungsausschluss

Der Verband Österreichischer Höhlenforscher als Herausgeber sowie die Autoren haften nicht für Schäden an Personen oder Sachen, die durch fehlerhafte Anwendung oder Auffassung des in diesem Skriptum vermittelten Wissens entstehen. Die vorliegenden Speläo-Merkblätter verstehen sich als Leitfaden für höhlenkundliche Arbeit, sie geben lediglich nach dem derzeitigen Kenntnisstand bewährtes Wissen wieder. Die hier wiedergegebenen Ausführungen ersetzen weder adäquate Ausbildung durch erfahrene Personen, noch entsprechendes Training sowie das allmähliche Sammeln von Erfahrung. Maßgeblich für die Verwendung sicherheitsrelevanter Geräte ist die Bedienungsanleitung des Herstellers, sollten ihr auch Ausführungen in diesem Skriptum zuwiderlaufen. Die Herausgeber werden bemüht sein, zukünftige Erkenntnisse zu gegebener Zeit in die kommenden Lieferungen der Merkblätter mit einzubeziehen, im Gegensatz zu anderen Quellen kann das vorliegende Werk seiner Beschaffenheit nach jedoch nicht zu jeder Zeit aktuell gehalten werden. In sicherheitsrelevanten Aspekten ist daher die Beschäftigung mit einschlägiger Fachliteratur anzuraten. Höhlenbefahrung im Allgemeinen sowie Schachtbefahrung im Speziellen stellen auf Grund zahlreicher, oft schwer kalkulierbarer Risiken und widrigen Umgebungsbedingungen im Höhlenraum eine teils erhebliche Gefahr dar. Richtige Einschätzung der umgebenden Risiken sowie des eigenen Könnens sind zur Vermeidung von Unfällen unerlässlich! Lieber einmal zu früh umdrehen, als einmal zu spät.

Literatur

-  Alpine Caving Techniques (Georges Marbach/ Bernard Tourte).
-  Herstellerkataloge (detaillierte Ausführungen finden sich z.B. bei Petzl).
-  Sicherheit und Risiko in Fels und Eis (Pit Schubert, drei Bände, herausgegeben vom DAV).
-  Zeitschrift BergUndSteigen, herausgegeben vom DAV, Schweizer Alpen-Club und OeAV.

Seilknoten

Die Anwendungs- und Einsatzmöglichkeiten von Knoten sind sehr vielfältig – ob in der Seefahrt, im Bergsport oder in der Höhlenforschung. Dies zeigt sich auch an der großen Zahl verschiedener Knoten.

In diesem Merkblatt werden einige nützliche Knoten für die Höhlenforschung beschrieben, wobei die wichtigsten davon, **diese sind mit einem (!) gekennzeichnet**, blind beherrscht und regelmäßig geübt werden sollten. Dabei ist es besser, einige wenige Knoten sicher und in jeder Lage (z.B. Dunkelheit) zu können, als zwar viele zu kennen, diese aber nicht oder nur unzureichend zu beherrschen. **Ein falsch geknüpfter Knoten kann das Leben kosten!**

Allgemeine Hinweise zu Knoten

Alle Knoten haben die Eigenheit, die Belastbarkeit von Textilien (Seile, Reepschnüre, Bandschlingen ...) um etwa um 25 bis 45% herabzusetzen, da Seilfasern im Knoten besonders stark und ungleichmäßig durch Quetschung und Streckung belastet werden. Ein Seil, das bis zum Zerreißen belastet wird, reißt meistens im (oder dicht beim) Knoten, kaum an einer anderen Stelle. Bei manchen Knoten, z.B. beim Sackstich, ist diese Schwächung stärker ausgeprägt, als beispielsweise beim Achter oder Neuner, vorhanden ist sie jedoch auch hier. Wir rechnen der Einfachheit halber bei allen Knoten mit einer Bruchkraftabnahme des Materials von 50% – damit liegen wir immer auf der sicheren Seite.

Für alle Knoten gilt:

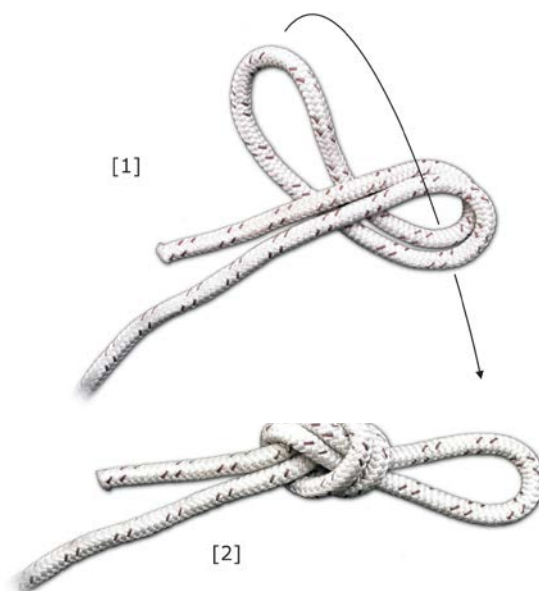
1. Die volle Belastbarkeit ist erst dann gegeben, wenn das freie Seilende lang genug ist, damit dieses bei starker Belastung des Knotens nicht durchrutschen kann. Ein Überstand von etwa dem zehnfachen des Seildurchmessers (also meist etwa 10 cm) sollte nicht unterschritten werden.
2. Die Schlaufe des Knotens sollte nicht zu lang geraten, dies ist besonders an Umstiegstellen hinderlich, sie soll aber groß genug sein, um ggf. das Einhängen der Selbstsicherung zu ermöglichen.
3. Alle Knoten müssen gut festgezogen werden, und zwar durch Ziehen an allen Enden des Knotens, im Falle des Achters also an allen vier aus dem Knoten laufenden Seilsträngen.
4. Knoten lassen sich leichter lösen, wenn sie vor der Belastung auch sorgfältig gelegt und ausgerichtet werden. Bei einem ordentlich gelegten Knoten ist außerdem die Seilchwächung (Bruchkraftabnahme) geringer und damit die Sicherheit höher!

Die wichtigsten Knoten (!) (must know)

Hinweis: Wie eingangs bereits erwähnt, sollten die nun folgenden Knoten von allen Personen (AnfängerInnen bis Profis), die in Vertikalhöhlen unterwegs sind, blind beherrscht werden!

Sackstich (!) [e:] overhand knot

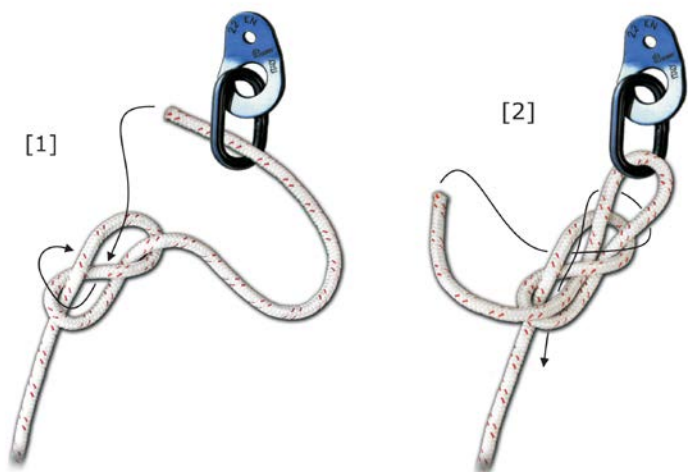
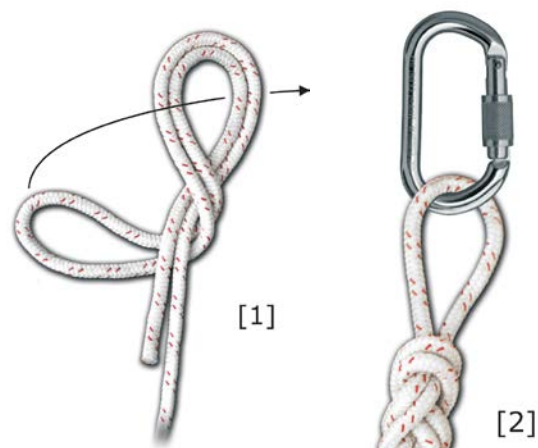
Verwendung: für Schleifsackleinen, Materialschnüre und Ähnliches. Der Sackstich kann auch als Endknoten in Seilen verwendet werden. Prinzipiell stellt der Sackstich auch einen sicheren und zulässigen Knoten für Seilbefestigungen und Seilverlängerungen dar. Er hat allerdings den Nachteil, dass er sich nach Belastung schwerer lösen lässt, als z.B. der Achter, und die Reißfestigkeit des Seiles stärker vermindert als dieser.



Achterknoten (doppelter) (!!)

[e:] figure of eight loop

Verwendung: der Standardknoten in der Höhlenforschung zur Seilbefestigung. Er ist leicht zu knüpfen, vielseitig anwendbar und hat die Eigenheit, sich auch nach Belastung wieder einigermaßen leicht lösen zu lassen. Der Achterknoten kann als „Ersatz“ für die meisten anderen Knoten verwendet werden, sollten diese nicht beherrscht werden (nicht aber in Bandschlingen). Die Vorgangsweise zum Knüpfen eines Achters ist die gleiche wie beim Sackstich, nur wird die Schlaufe wie in Abb. [1] eine volle Umdrehung um das Seil geführt. Der korrekte Sitz des Achterknotens ist durch seine einzigartige Form leicht überprüfbar und daher ist dieser Knoten auch für AnfängerInnen sehr zu empfehlen.



Gesteckter Achterknoten (!)

Soll ein doppelter Achterknoten an einem sich nicht zu öffnenden Objekt befestigt werden (z.B.: Stahlring, Sanduhr, Schlinge eines anderen Knoten), so wird zuerst ein einfacher Achterknoten geknüpft (mit ausreichend Abstand zum Seilende), dann das Seilende durch die Befestigung gefädelt und dieses anschließend durch den Knoten zurückgeführt. Dabei wird dem Seilverlauf des ersten Achterknotens gefolgt, das Endresultat ist ident mit einem doppelten Achterknoten.

(Doppelter) Achterknoten als Seilverlängerung (!)

Bei dieser Methode wird in das zu verlängernde Seil ein doppelter Achterknoten geknüpft, das zweite Seil wird nun, beginnend beim Austritt der Schlaufe aus dem Knoten durch diesen vollständig zurückgefädelt. Die Schlaufe dient zum Einhängen der Selbstsicherung beim Übersteigen des Knotens. Nicht vergessen, am anderen Ende des neuen Seiles einen Endknoten zu knüpfen!

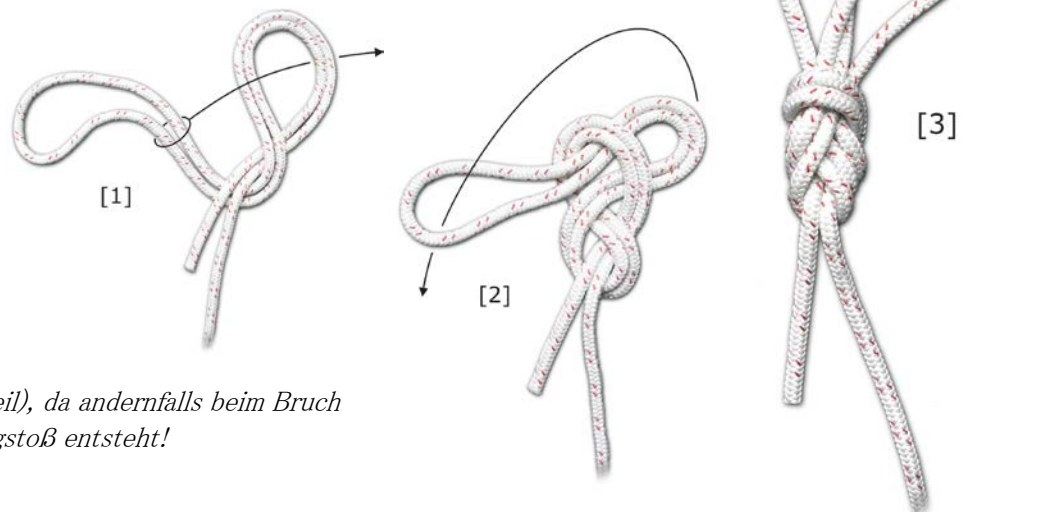


Rettersitzknoten (!) [e:] *double figure-8 on a bight*
auch: Hasenohrenknoten, Ypsilon, Mickey

Verwendung: zur Seilbefestigung (Ausgleichsverankerung) an doppelten Verankerungen. Zur Not auch als Ersatzhüftgurt zu verwenden (daher der Name). Der Rettersitzknoten wird wie der doppelte Achterknoten geknüpft, nur dass die Schlaufe nicht ganz durch das Auge gezogen, sondern wie in den Abbildungen über den ganzen Knoten gestülpt wird. Die Länge der beiden daraus resultierenden Schlaufen ist so zu wählen, dass die Last gleichmäßig auf beide Anker verteilt wird.

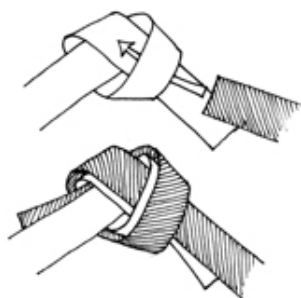
Hinweis zur Befahrungstechnik:

Beim Einhängen der Selbstsicherung an diesem Knoten muss diese immer durch beide Schlaufen eingehängt werden (Siehe dazu Merkblatt A23 Abseilen und Aufsteigen am Einfachseil), da andernfalls beim Bruch eines Ankers ein hoher Fangstoß entsteht!



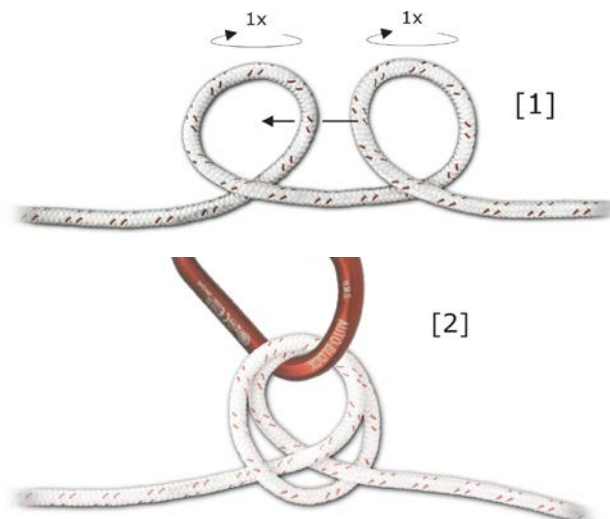
Bandschlingenknoten (!) [e:] *tape knot*

Dies ist der einzige Knoten, der zum Verbinden von Bandschlingen eingesetzt werden darf. In ein Ende des Bandes wird ein einfacher Sackstich geknüpft, das andere Ende wird durch diesen in entgegen gesetzter Richtung zurückgefädelt. Dieser Knoten ist so zu installieren, dass er nirgendwo anliegt (Karabiner, Felskante, Tropfstein etc.!) Dies könnte dazu führen, dass sich der Bandschlingenknoten durch Bewegungen lockert und unter Belastung öffnet. Auch hier ist auf genügend Überstand der Enden zu achten (diese ev. mit einem weiteren Sackstich abbinden). Abschließend den Knoten an allen Strängen gut festziehen! Sofern einsetzbar/verfügbar sind fertig vernähte Bandschlingen den auf diese Weise geknoteten vorzuziehen.



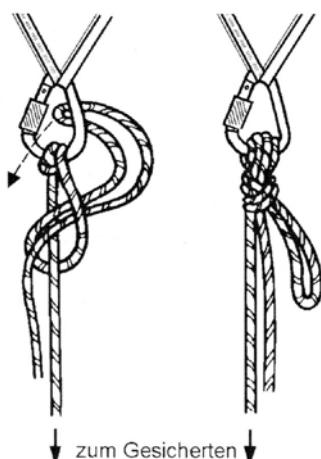
Mastwurf (!) [e:] *clove hitch*

Verwendung: für Zwischenverankerungen in Quergängen. Dieser Knoten besitzt den Vorteil, dass er sich leicht lockern lässt, das Seil kann dann in beliebiger Richtung nachgezogen werden. Zum Knüpfen eines Mastwurfes wird das Seil an zwei Stellen um eine halbe Umdrehung (beide Male in gleicher Richtung) eingedreht, die so entstehenden Schlaufen werden übereinander gelegt und eingehängt. Der Mastwurf darf sich jedoch nicht mit offenem Ende am Anfang eines Seiles befinden. Hier ist z.B. der *Schmetterlingsknoten* oder der *Achterknoten* zu verwenden.

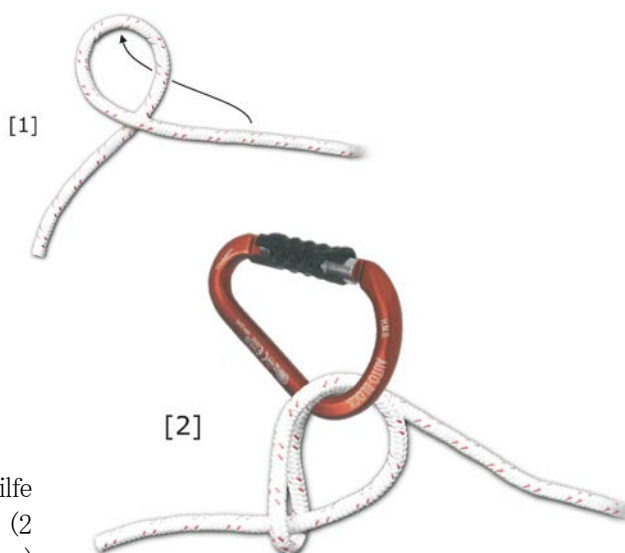


Halbmastwurf (!) [e:] munter hitch

Verwendung: zum provisorischen Abseilen, zum Sichern beim Klettern, sowie für alle Seilbefestigungen, welche sich unter Belastung öffnen lassen sollen, um das belastete Seil kontrolliert nachlassen zu können. Da der Knoten, um sich umlegen zu können (Nachlassen oder Spannen), einigen Platz benötigt, eignen sich hierzu breite, birnenförmige Karabiner (HMS), notfalls kann aber auch mit anderen (Oval-) Karabinern gearbeitet werden. Dass der Knoten richtig geknüpft ist, lässt sich leicht an diesem „Umspringen“ bei sich ändernder Belastungsrichtung erkennen.



Der Halbmastwurf kann mit Hilfe des so genannten **Wasserklanges** (2 Abb. links) abgebunden (fixiert) werden. Dies kann auch unter Belastung geschehen. Dabei wird der Knoten nahe am Karabiner fest mit der Hand umschlossen, um ihn abzuklemmen. Mit der zweiten Hand wird dann der Wasserklang wie in der linken Abb. geknüpft. Als Abschluss wird der Wasserklang mit einer Breze (Sackstich) um ein- und auslaufendes Seil gesichert (rechte Abb.). Es ist besonders darauf zu achten, niemals einen Finger oder die Hand in/durch eine der Schlaufen zu stecken um Verletzungen bei einem plötzlichen Rutschen oder Zusammenziehen des Knotens zu vermeiden! Wird der Wasserklang unter Belastung wieder gelöst, muss eine Hand stets das Bremsseil umfassen!

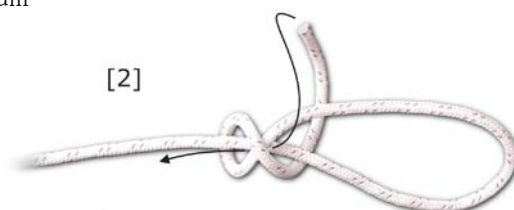
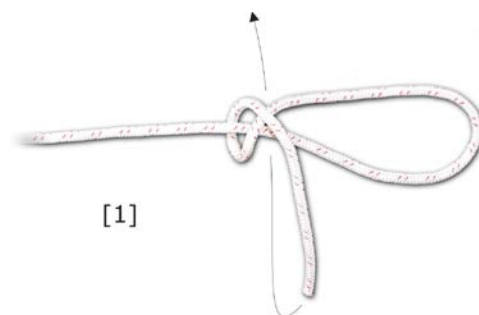


Weitere Knoten (nice to know)

Hinweis: Die ab hier vorgestellten Knoten sind für einige Anwendungen ebenfalls oder unter Umständen sogar besser geeignet als die „wichtigsten Knoten“ und können von fortgeschrittenen HöhlenforscherInnen als Ergänzung zu den „Standardknoten“ angewandt werden, sofern sie wie diese perfekt beherrscht werden!

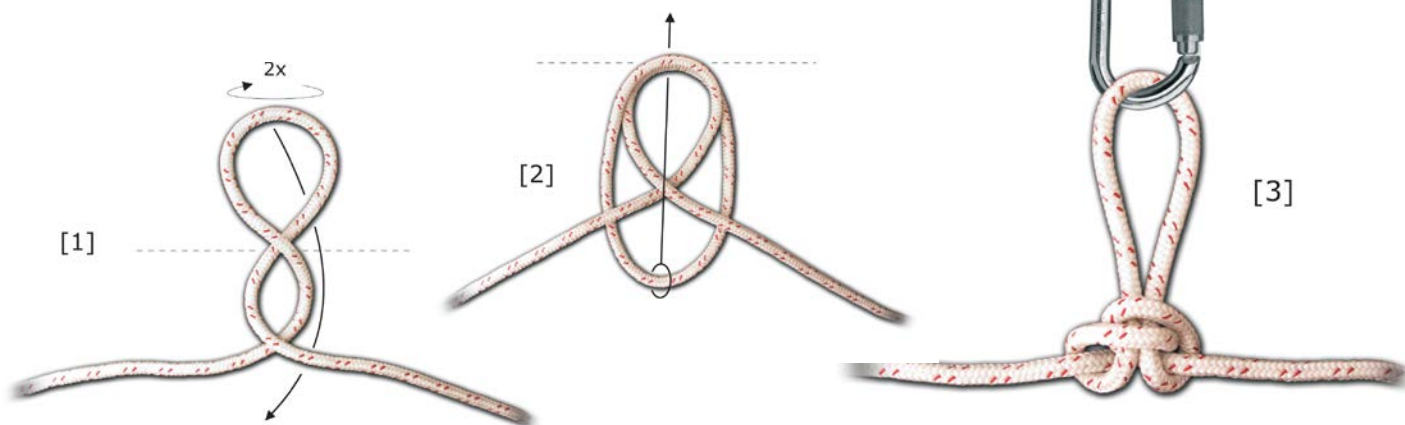
Doppelter Überhandknoten mit Schlaufe [f:] demi pêcheur double

Verwendung: zum Verbinden der Sicherungsleine mit dem Karabiner der Selbstsicherung. Der Knoten erwies sich in Untersuchungen als äußerst bruchfest und hat den Vorteil sich festzuziehen, wodurch ein Verrutschen am Karabiner verhindert wird. Weitere Verwendung: Wird der Doppelte Überhandknoten ohne Schlaufe, dafür um das Ende eines anderen Seiles geknüpft und in dieses ebenfalls ein solcher Knoten um das erste Seil gelegt, spricht man von einem *Doppelten Spierenstich* (ohne Abb.). Dieser eignet sich zum Verbinden zweier Seile, hat aber den Nachteil, dass er keine Schlaufe zum Einhängen der Selbstsicherung bietet.



Schmetterlingsknoten *[e:] alpine butterfly*

Verwendung: für Zwischenverankerungen in Quergängen. Der Vorteil gegenüber dem Mastwurf ist, dass der Knoten eine Schlaufe zum Einhängen der Selbstsicherung hat, was aber in Quergängen nicht wirklich benötigt wird. Der Schmetterlingsknoten bietet für Quergänge weiters den Vorteil, dass man mit ihm unterschiedlich lange Weichen herstellen kann – also wenn die Verankerungen in sehr unterschiedlicher Höhe sind, kann man dennoch ein "eben" verlaufendes Quergangsseil spannen, wobei das Seil beiderseits gerade aus dem Knoten läuft. Der größte Nachteil des Schmetterlingsknotens ist, dass er sich nach starker Belastung nur sehr schwer wieder öffnen lässt.



Neuner *[e:] figure of nine (ohne Abbildung)*

Verwendung: Der Neuner ist vor allem bei dünnen Seilen (<9 mm) statt dem Achterknoten ratsam. Er wird wie der Achterknoten geknüpft, nur wird die Schlaufe ein weiteres halbes Mal ums Seil geschlagen. Er kann etwas leichter gelöst werden als der Achter und ist etwas belastbarer.

Quellen:

Larcher, Michael & Zak, Heinz (2006): *Seiltechnik* (1.+2. Auflage)

Marbach, Georges & Tourte, Bernard (2002): *Alpine Caving Techniques*. Speleo Projects.

Petzl (2009): www.petzl.com

Schubert, Pit (2006,2008): *Sicherheit und Risiko in Fels und Eis* (Band I - III). Bergverlag Rother.

Schubert, Pit (2009): Korrespondenz per email.

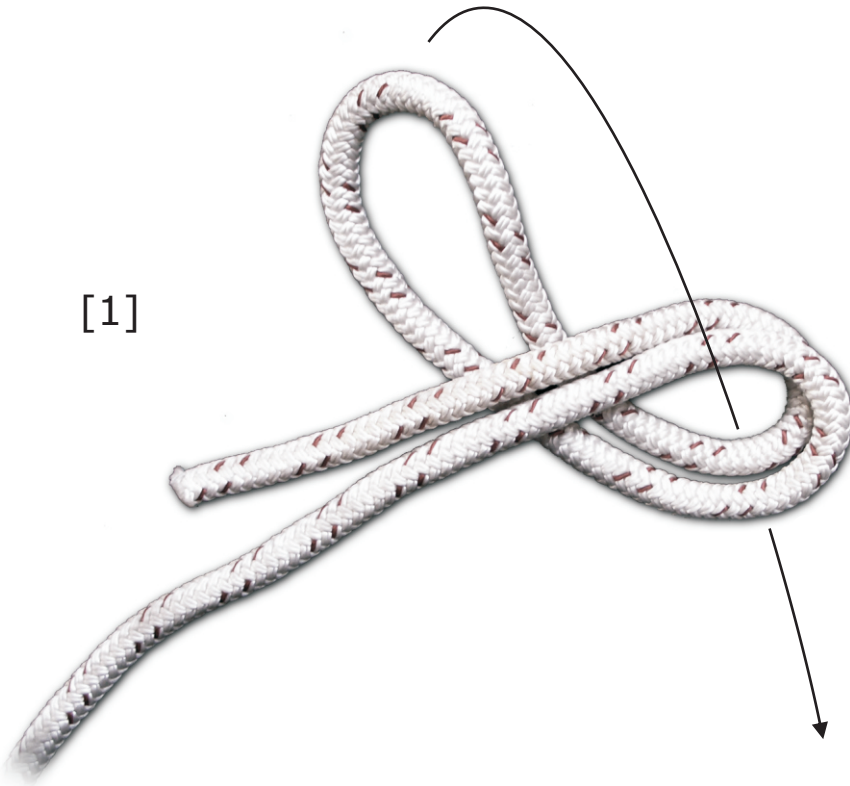
Shepherd, Nigel (2001): *The complete guide to rope techniques*. Constable - London.

Speldok 12: *Höhlenführerskriptum*. Verband Österreichischer Höhlenforscher.

Sackstich

overhand knot [e]

[1]

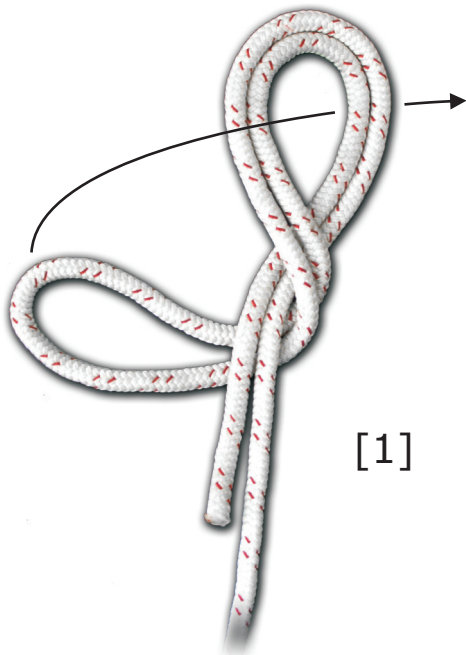


[2]



Doppelter Achterknoten

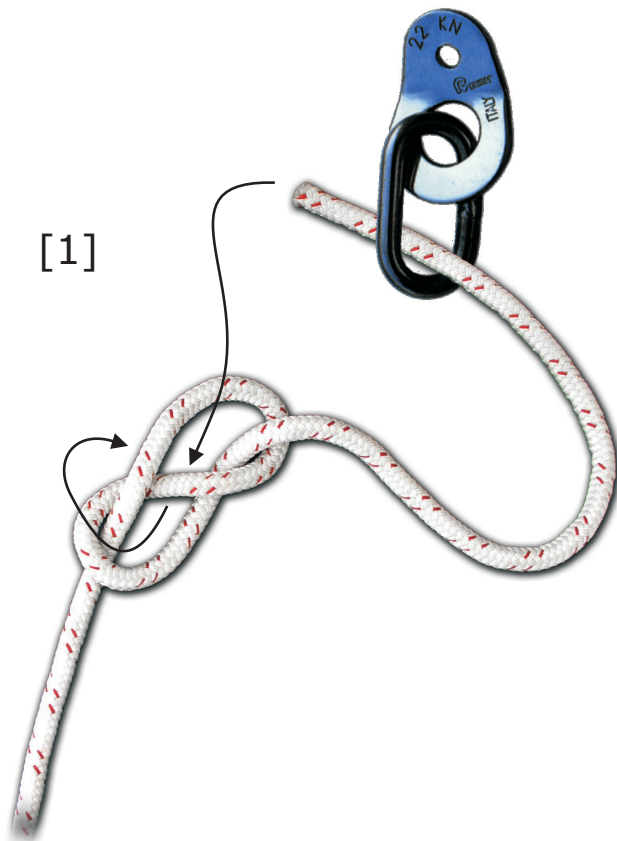
Double Figure of Eight [e]



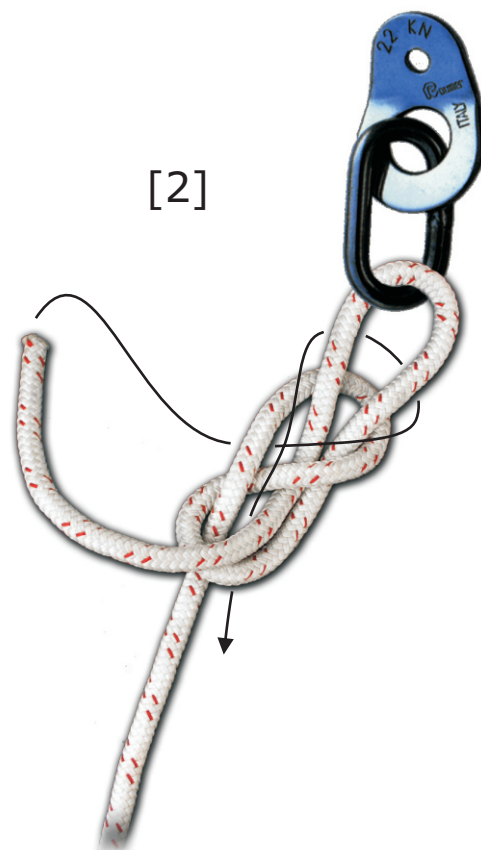
[2]



Gesteckter Doppelter Achterknoten:



[2]



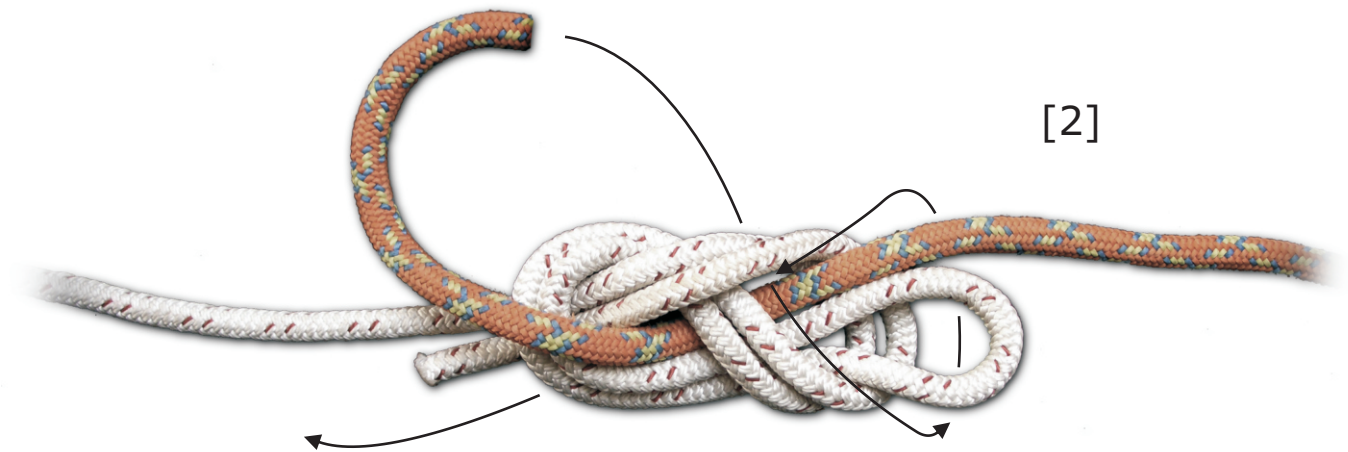
Doppelter Achterknoten als Seilverlängerung

[1]

zu verlängerndes Seilende



[2]



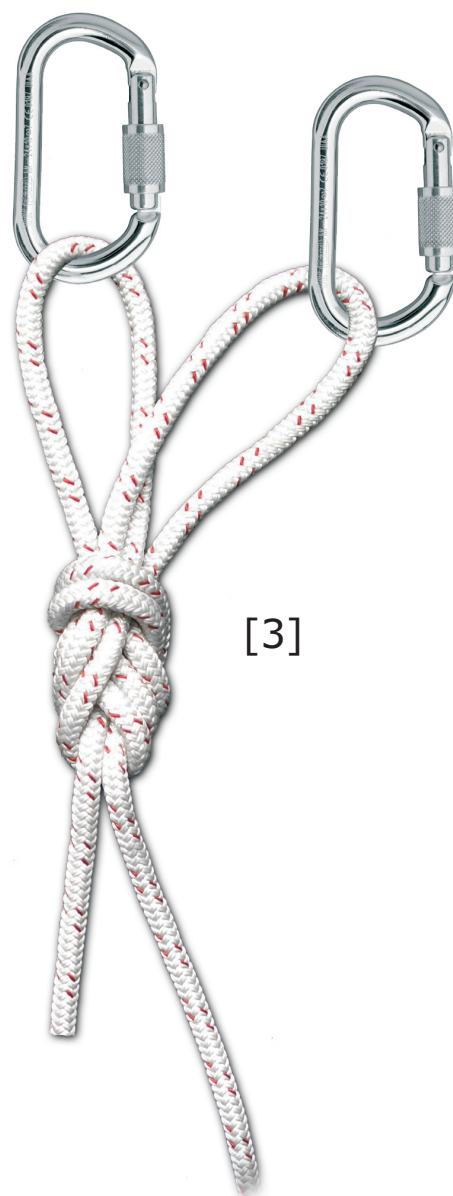
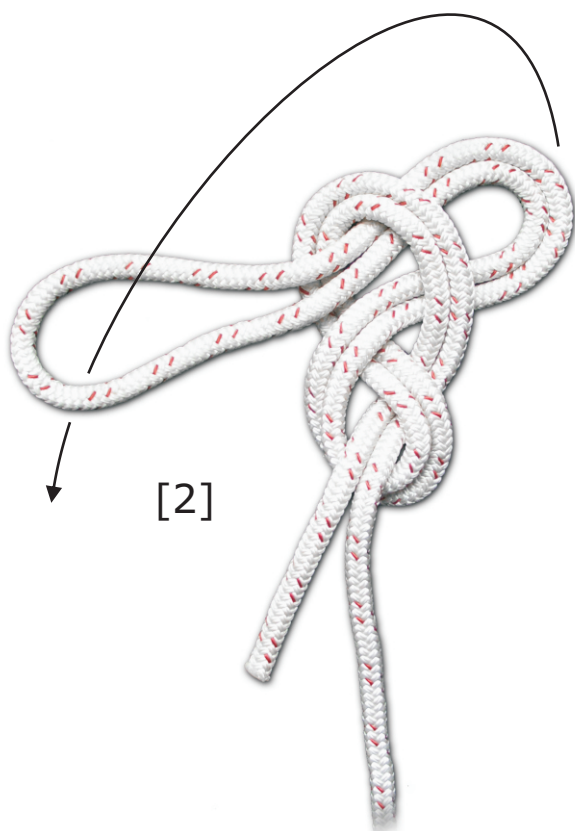
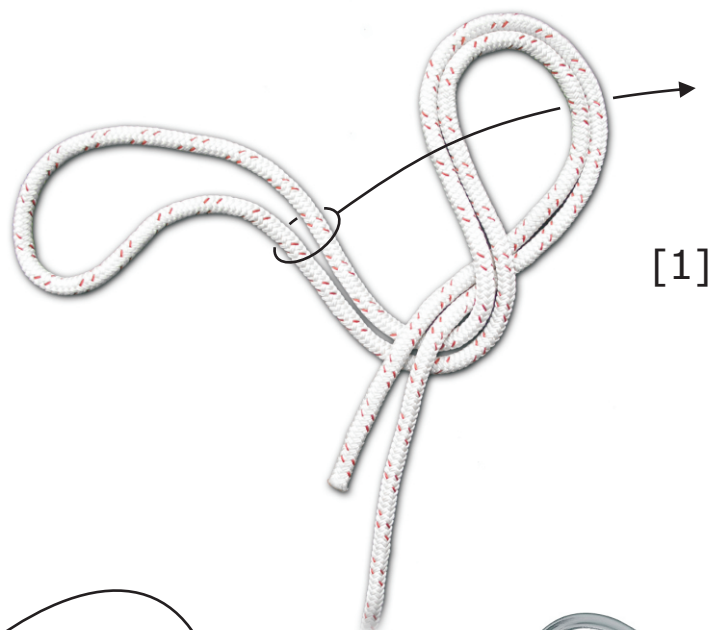
[3]



Schleife zum Einhängen
der Selbstsicherung

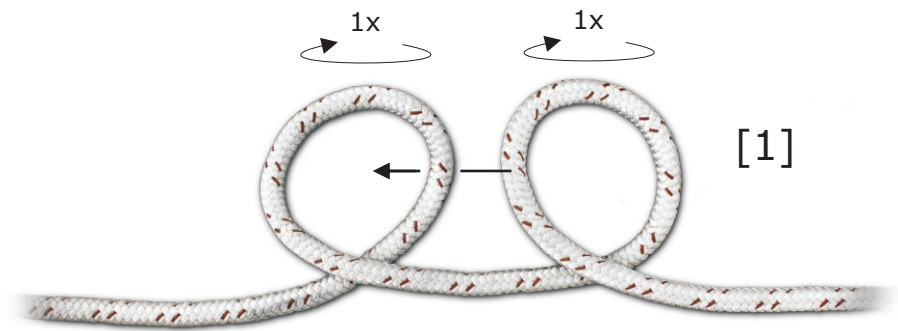
Rettersitzknoten

auch: Hasenohrenknoten ,Ypsilon ,Mickey
Double figure-8 on a bight [e]



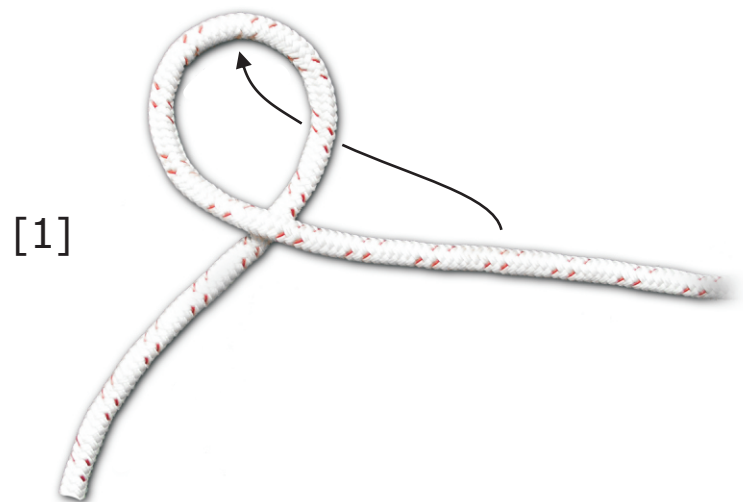
Mastwurf

Clove Hitch [e]



Halbmastwurf

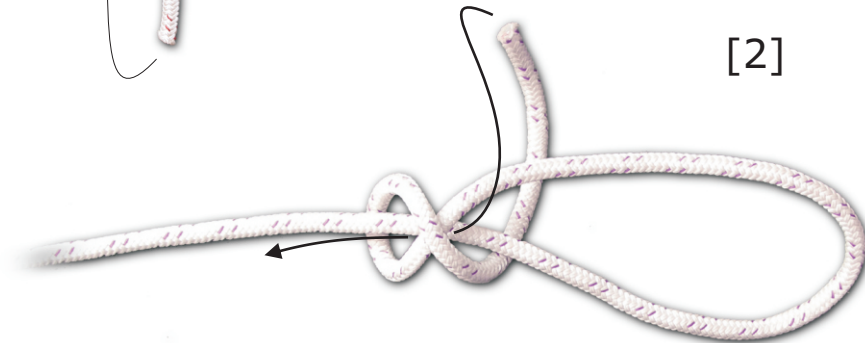
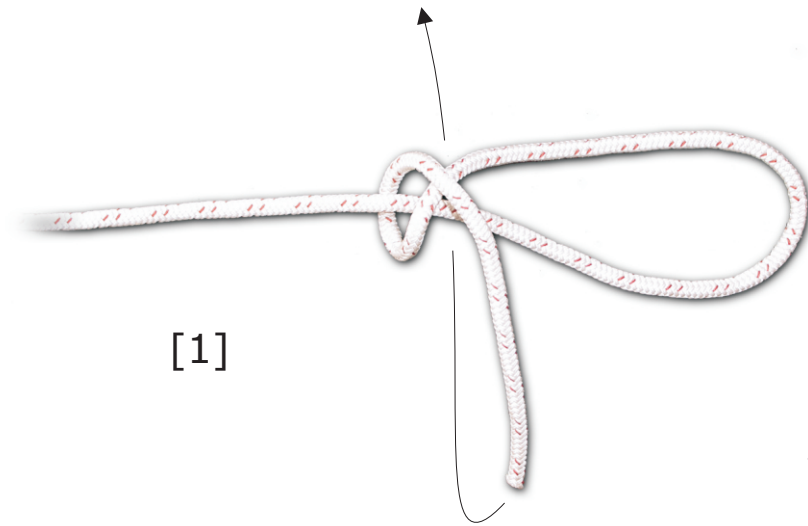
auch: HMS-Knoten
Munter Hitch [e]



Doppelter Überhandknoten mit Schlaufe

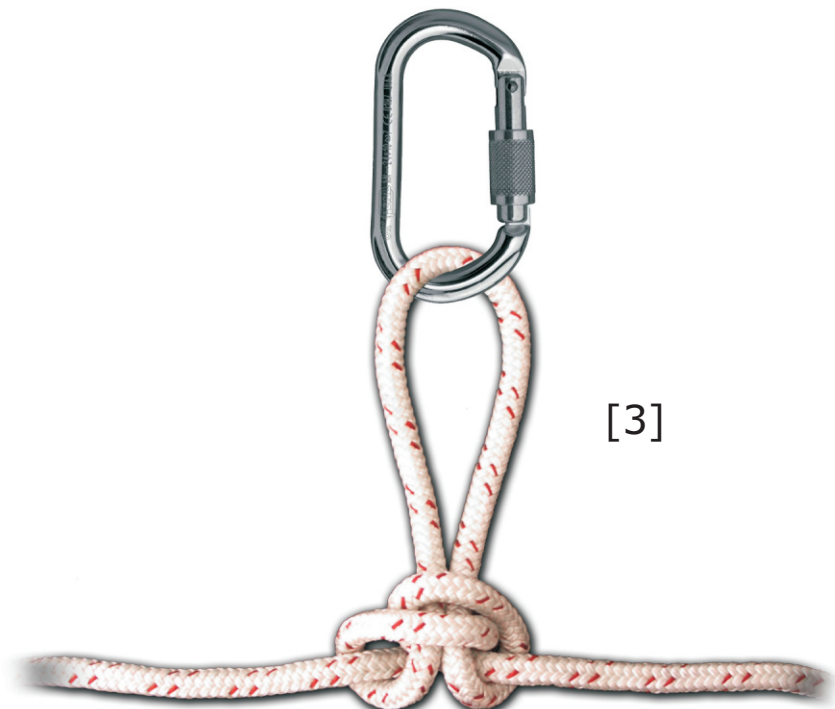
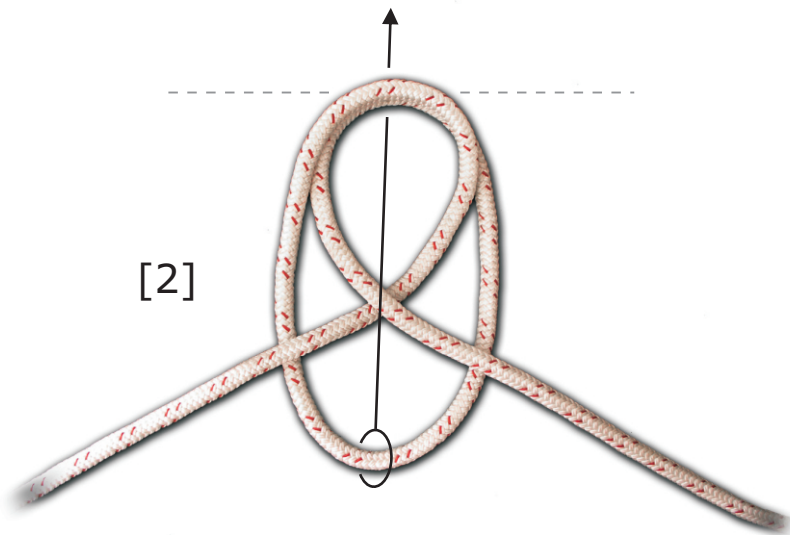
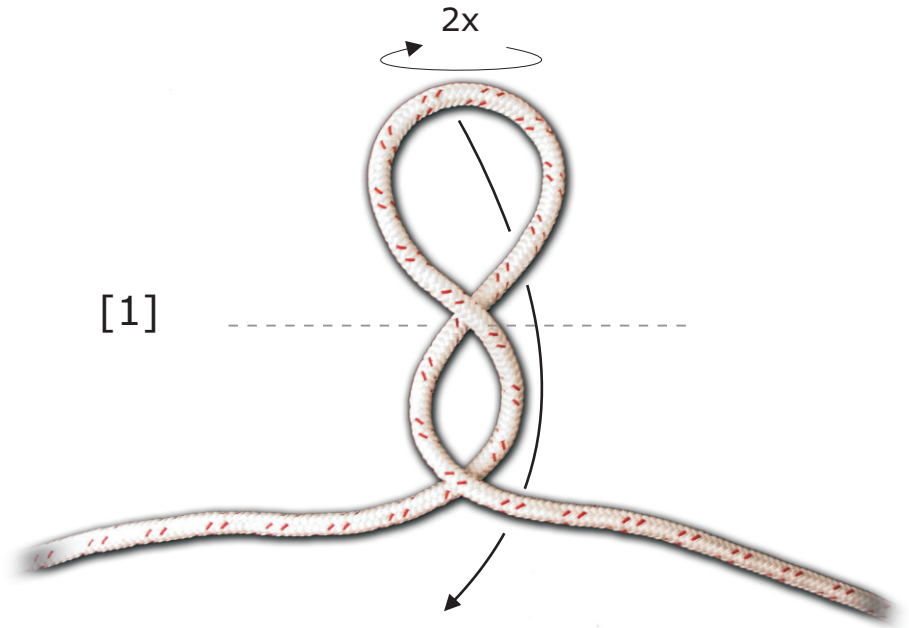
double fisherman's knot [e] demi pêcheur double [f]

zum Verbinden der Selbstsicherung mit dem Karabiner



Schmetterlingsknoten

Alpine Butterfly [e]



Seilbefestigung - Schachteinbau

Gleich zu Beginn sei erwähnt, dass zum sicheren Seileinbau in Vertikalhöhlen größte Sorgfalt, Umsicht und Erfahrung nötig ist. Immerhin hängt außer dem eigenen Leben, auch das Leben sämtlicher, diese Einbauten benutzenden Personen davon ab. In diesem Merkblatt werden die zur Zeit gängigsten Methoden und Techniken des Seileinbaus beschrieben, dennoch stellt es lediglich einen Lernbehelf dar! Denn Seileinbau muss unbedingt in einer fundierten, sowohl praktischen als auch theoretischen Ausbildung erlernt und geübt werden!

Allgemeine Überlegungen zum Einbau von Vertikalhöhlen

Höhenschutz

Mit dem Einbau einer unerforschten Schachthöhle machen wir dieses seit vielleicht Millionen von Jahren unberührte Neuland schließlich für den Menschen zugänglich. Unsere Einbauten legen den Weg fest, den Menschen in Zukunft durch die Höhle nehmen werden. Dieser „Fußabdruck“ wird nicht nur uns selbst, sondern vielleicht auch unsere Art um Jahrtausende überdauern. Es erscheint daher angebracht, die Seilführung mit größtmöglicher Rücksicht auf die Erhaltung des ursprünglichen Zustandes der Höhle vorzunehmen. Hier einige Anhaltspunkte dazu:

Sofern im Rahmen einer sicheren Befahrung vertretbar, sollte sensiblen Formationen wie z.B. Tropfsteinen, Sinterbildungen und Ähnlichem bestmöglich ausgewichen werden.

Verankerungen sollten so angebracht werden, dass sie später nicht durch weitere ergänzt oder ersetzt werden müssen. In optisch besonders sensiblen Höhlen (z.B. in Schauhöhlen) sind Anker möglichst außer Sichtweite und mit der Option, diese später im Gestein versenken zu können, anzubringen (z.B. tiefes Bohrloch bei HST-Ankern).

Ist eine Zerstörung von Höhleninhalten aus befahrungstechnischen Gründen notwendig (z.B. Abschlagen von Sinter in Engstellen), so ist diese auf ein Minimum zu begrenzen beziehungsweise ist, in besonders schützenswerten Höhlen, von einer weiteren Befahrung unter Umständen gänzlich abzusehen.



Höhlen Vermessen und das Privileg der Erstbefahrung

Da Schachteinbauten in der Regel in noch unbekanntem Höhlen oder Schächten vorgenommen werden, hier ein kurzer Hinweis zur Höhlendokumentation. Diese ist in erster Linie wichtig, um die Dimensionen (Länge, Tiefe etc.) einer neuen Höhle überhaupt exakt erfassen zu können und andere Menschen bzw. HöhlenforscherInnen an dieser Entdeckung teilhaben zu lassen. Die Dokumentation dient außerdem als Grundlage für weitere Forschungen, den Höhlenschutz und für eventuell weiterführende, wissenschaftliche Untersuchungen. Daher werden auch nur vermessene Höhlen in den Kataster aufgenommen.

Eine unbekannte Höhle oder einen unbekanntem Schacht als erste Person befahren und erforschen zu können, zählt zweifellos zu den aufregendsten, schönsten und intensivsten Aspekten der Höhlenforschung. Dieses Privileg beinhaltet daher auch die Pflicht, dieses Neuland zu vermessen und zu dokumentieren. Sind die ErforscherInnen dazu nicht selbst in der Lage, ist es ihre Aufgabe, eine Vermessung durch qualifizierte Personen zu organisieren.

Es gilt daher: keine Befahrung und kein Einbau einer unbekanntem Höhle ohne eine Vermessung und Dokumentation derselben!

Anleitungen zur Vermessung von Höhlen finden sich in den Merkblättern B20 bis B71.

Richtlinien und Grundsätze beim Seileinbau - Was ist alles zu beachten?

- **Die Position der Verankerung:** dieser kommt beim Schachteinbau größte Bedeutung zu! Mit der Positionierung der Verankerung entscheiden sich fast alle weiteren Faktoren (siehe unten). Daher gilt: erst denken, dann handeln! Der Schacht wird zuerst im Geist eingebaut, wobei versucht werden soll möglichst viele beeinflussbare Faktoren zu beachten, dazu gehört vor allem der weitere Seilverlauf. Erst dann wird der Hammer ausgepackt.
- **Das Seil darf nicht am Fels aufliegen!** Ansonsten entstehen durch die Bewegung des Seiles (z.B. Schwingungen beim Aufsteigen) starke Reibungskräfte, die das Seil beschädigen und sehr schnell bis zum Bruch führen können. Der Ort der Verankerung und die Seilführung müssen daher stets so gewählt werden, dass das Seil und der Knoten (auch während der Befahrung und wenn möglich auch beim Versagen eines Ankers) keinerlei Felskontakt haben. Dies geschieht durch kluge Positionierung der Verankerung, sowie durch das Anbringen von Umlenkungen (Deviateuren) oder Umstiegstellen. Zur Not kann auch ein Seilschoner Abhilfe schaffen (z.B. beim Höhleneinstieg).



Umstiegstellen sind einfache oder doppelte Verankerungen, in die das Seil eingeknotet wird. Sie müssen doppelt ausgeführt sein, wenn der Bruch eines Ankers einen hohen Sturzfaktor oder einen gefährlichen Pendler zur Folge hätte. Bei **Umlenkungen** (Deviationen) läuft das Seil nur durch einen Karabiner und wird dadurch abgelenkt. Beträgt dieser Winkel mehr als 45°, muss auch eine Umlenkung doppelt verankert werden! → siehe Anhang 1 „*Schema Schachteinbau*“.

- **Schachteinbauten müssen redundant sein!** Es muss stets gewährleistet sein, dass beim Ausfall (Bruch) einer Komponente (z.B. eines Ankers oder Karabiners) kein Totalausfall der Sicherungskette (und in Folge des eigenen Lebens) eintritt. Konkret bedeutet dies Folgendes: Hauptverankerungen müssen ausnahmslos doppelt, d.h. voneinander unabhängig tragend ausgeführt werden! Das gilt auch für Zwischenverankerungen, wenn beim Bruch des Ankers ein gefährlicher Pendler oder eine zu hohe Seilbelastung (Sturzfaktor, Kantenbelastung, etc.) entstehen würden. → siehe Anhang 1 „*Schema Schachteinbau*“.
- **Gefahrenzonen ausweichen!** Alle Einbauten sind so vorzunehmen, dass vorhandenen oder möglichen Gefahren (z.B. Steinschlag, Eis, Wasser, etc.) bestmöglich ausgewichen wird. Daher, wann immer möglich, aus

der Falllinie versetzt einbauen.

- **Der Schacht muss für alle Gruppenmitglieder befahrbar sein!** Der sicherste Einbau ist oft nicht der bequemste, dennoch sollte er für alle Personen in der Gruppe befahrbar sein. Bei ungeübten Gruppen ist vor allem auf eine ausreichende Länge der Seilschlaufe an der Umstiegstelle zu achten!
- **Dem Zweck angemessen einbauen!** Seilbefestigungen können auf unterschiedlichste Art und mit unterschiedlichem Aufwand angebracht werden. Dieser sollte der Art der Befahrung angepasst sein. Bei der ersten Forschungsfahrt reicht vielleicht ein Spit an der Umstiegstelle, während in oft befahrenen Schächten beliebter Höhlen sicher langlebigere Verankerungen (z.B. Verbundanker) zu empfehlen sind. Auf jeden Fall aber gilt:
- **Einbauten müssen ab der ersten Befahrung sicher sein!** Schlampiger oder unzureichender Einbau zur schnellen Tiefenerkundung unter dem Motto: „*das machen wir dann später noch g'scheit*“, ist ein Garant für Unfälle. Lieber einmal auf Grund von Material- oder Zeitmangel umkehren, als den Schacht nie wieder zu verlassen.

Das war für die ersten zwei Seiten bereits einiges an Regeln. Es lässt sich vielleicht schon erkennen, dass der Einbau von Vertikalhöhlen ein umfangreiches Thema ist, bei dem es eine ganze Menge zu beachten gilt. Aber es geht noch weiter: kommen wir nun zur Vorgehensweise beim Schachteinbau selbst. Doch nicht verzagen: mit etwas Übung wird dir all das, was jetzt noch so kompliziert scheint, bald in Fleisch und Blut über gehen.

Vorgangsweise beim Schachteinbau

- **Den Zustieg absichern:** Einem Schacht nähert man sich am besten schon am Seil gesichert. Dieses wird in ausreichender Entfernung zum Schacht mit einer Hauptverankerung (redundant) fixiert. Die Annäherung an den Abgrund erfolgt dann gesichert über das Abseilgerät oder die Handsteigklemme (Siehe Merkblatt A20 „Abseilen“ Abb. 4).
- **Schachteinstieg freiräumen:** Lose Objekte wie Steine, größere Äste oder Eis dürfen während der Befahrung keine Gefahr darstellen. Alles, was in den Schacht fallen könnte, daher vorher hinunter werfen, sichern oder wegräumen.
- **Tiefe abschätzen und Seil vorbereiten:** Es ist hilfreich, vor dem Abseilen die ungefähre Schachttiefe zu wissen, vor allem um die benötigte Seillänge bereit zu haben. Siehe dazu Merkblatt A52a „Lotung von Schachttiefen“. Das Seil wird vor der Schachtbefahrung in losen Schlaufen im Schleifsack verstaut und aus diesem während dem Abseilen nach und nach herausgezogen. Das lose Seilende wird nicht in den Schacht geworfen, da dies zu unangenehmen Verwicklungen führen und außerdem das Seil durch Steinschlag beschädigt werden könnte.

WICHTIG: In das lose Seilende muss immer ein Sicherheitsknoten (z.B. ein doppelter Achter) gebunden werden um nicht versehentlich über das Seilende hinaus abzuseilen. Ein fehlender Sicherheitsknoten war schon des öfteren der Grund für tödliche Unfälle! Vor allem, wenn das Seilende nicht sichtbar ist, da es z.B. im Schleifsack verstaut ist, sollte man sich doppelt vergewissern, dass der Sicherheitsknoten auch wirklich vorhanden ist.

- **Art und Position der Verankerung wählen:** wenn die Möglichkeit einer sicheren, natürlichen Verankerung besteht, ist diese einer technisch gesetzten zu bevorzugen. Allerdings: bei technischen Verankerungen kann die optimale Position flexibler gewählt werden. Hauptkriterium für die Ankerposition ist der weitere Seilverlauf. (Siehe Richtlinien - Punkt 2). Der Ankergrund sollte auch möglichst eben sein: kleinere, hervorstehende Zacken können mit dem Hammer abgeschlagen werden. Technische Verankerungen erzeugen fast alle eine hohe Spreizwirkung im Felsen, daher ist auf genügend stabile Gesteinsmasse im Umkreis des Ankers (Radius mindestens 15 – 20 cm) zu achten.
- **Ankergrund auf Festigkeit prüfen:** Den Felsen, die Sanduhr, etc. optisch auf Schwachstellen wie Risse, Verwitterung, etc. und akustisch durch Abklopfen mit dem Hammer prüfen („Klangprobe“). Hohler oder dumpfer Klang deutet auf Schwachstellen im Fels hin. „Gesunder“ Fels hat einen eindeutigen Klang. Tropfsteine oder Sinter eignen sich nicht für Verankerungen, da ihre Haltekraft nicht abschätzbar ist.
- **Verankerung anbringen:** Die verschiedenen Möglichkeiten hierbei werden im nächsten Kapitel „Methoden zur Seilbefestigung“ ausführlich beschrieben.
- **Seil befestigen:** Um die optimale Länge der Seilschlinge zum Umsteigen einstellen zu können, gibt es zwei Methoden:

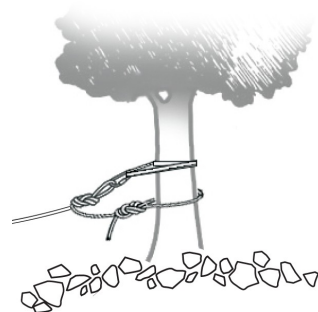
1. Seillänge schätzen: Bei dieser Methode wird das Seil direkt nach dem Anbringen der Verankerung in diese eingehängt. Dabei wird die Länge der benötigten Seilschlaufe einfach abgeschätzt. Dies erfordert einiges an Erfahrung, hier einige Anhaltspunkte dazu: Die Seilschlaufe muss so lang gewählt werden, dass, wenn die Seildehnung durch das eigene Gewicht wegfällt, die Schlaufe immer noch lang genug ist, damit der/die Nachkommende das Abseilgerät im unbelasteten Seil einhängen und abbinden kann. Je ungeübter die Gruppe ist, desto länger sollte die Seilschlaufe für ein bequemes Umsteigen sein. Vorsicht bei neuen, trockenen Seilen: diese verkürzen sich beim ersten Wasserkontakt erheblich.

2. Belastete Umstiegstelle: Nach dem Anbringen der Verankerung wird die Selbstsicherung in diese eingehängt und weiter abgeseilt, bis das Gewicht in der Selbstsicherung hängt und das Abseilgerät entlastet ist. Danach wird die Handsteigklemme als zusätzliche Sicherung ins obere Seil eingehängt. Nun wird das Abseilgerät abgebunden (siehe Merkblatt A20 „Abseilen“ Abb. 1 u. 2), dann der Knoten für die Umstiegstelle ins Seil geknüpft und in den Karabiner der Verankerung eingehängt. Jetzt kann ganz normal umgestiegen werden. Diese Methode ist zwar zeitaufwändig und wirkt auf den ersten Blick umständlich, hat aber den Vorteil, dass auch ungeübte Personen immer die korrekte Länge der Seilschlinge einbauen können. Vorsicht: der Karabiner der Umstiegstelle steht beim Einbau unter Last und sollte daher nicht all zu fest zugeschraubt werden, sonst bekommt man ihn später nicht mehr auf!

Methoden zur Seilbefestigung

Natürliche Befestigungsmethoden

- **Bäume:** Gesunde und gut verwurzelte Bäume mit ausreichendem Durchmesser (mind. 15 cm) eignen sich hervorragend zur Seilbefestigung (z.B. bei Höhleneingängen). Damit das Seil nicht in die Rinde einschneidet, empfiehlt sich die Verwendung einer Bandschlinge. Hauptverankerungen müssen auch an Bäumen doppelt ausgeführt werden (siehe Abb. rechts).
- **Sanduhren, Felsköpfl:** Es dürfen nur Felsstrukturen aus solidem, nicht verwittertem Gestein verwendet werden, die keinerlei Risse oder Hohlräume aufweisen. Zusätzlich ist der Fels durch Hammerschläge („Klangprobe“) auf seine Festigkeit zu prüfen. Sanduhren und Felsköpfl müssen eine durchgehende, rissfreie Verbindung zum Muttergestein haben und sollten einen Durchmesser von 10 cm nicht unterschreiten. Zur Befestigung eignen sich Bandschlingen oder Reepschnüre die so gelegt werden, dass sie sich bei Belastung um den natürlichen Anker festziehen (Abb. rechts). In diese wird dann ein Karabiner und in diesen dann erst das Seil eingehängt. Dabei sollte der Knoten der Bandschlinge oder der Reepschnur nicht am Fels aufliegen, damit er sich nicht von selbst öffnen kann! Bei Felsköpfeln ist außerdem auf die richtige Belastungsrichtung zu achten, damit die Verankerung nicht abrutscht.



Achtung: Seile niemals direkt in Bandschlingenmaterial oder Reepschnüre knüpfen! Durch die entstehende Reibungswärme schmelzen diese Textilien binnen Sekunden durch!

- **Tropfsteine und Versinterungen:** Selbst wenn diese einen recht soliden Eindruck machen, ist vor einer Verwendung als Verankerung abzuraten, denn Tropfsteine und Sinter sind erstens extrem spröde und können außerdem auf losem Untergrund (Sand, Lehm, Bergmilch...) aufgewachsen sein und bei der ersten Belastung nachgeben.
- **Blöcke, Klemmsteine:** Achtung: auch stabil wirkende, große Steine können unter Belastung plötzlich nachgeben! Bei dieser Art der Verankerung ist deshalb besonders sorgfältig vorzugehen. Um große Blöcke kann das Seil direkt geknüpft werden, bei kleineren Steinen werden Bandschlingen zur Fixierung verwendet.

Technische Befestigungs- (Verankerungs) Methoden

Künstliche Anker bieten bei korrekter Anbringung ein hohes Maß an Haltekraft und dadurch Sicherheit. Ihr Hauptvorteil gegenüber natürlichen Verankerungen liegt darin, dass die Ankerposition flexibler auswählbar ist. Die Anbringung nimmt aber meistens mehr Zeit in Anspruch. Im nächsten Kapitel sind die zur Zeit gängigsten, technischen Verankerungen beschrieben.

Achtung bei bereits vorhandenen Verankerungen: Stößt man bei einer Befahrung auf bereits vorhandene, technische Verankerungen, müssen diese vor ihrer Verwendung bestmöglich überprüft werden. Auf folgende Punkte ist dabei zu achten:

- **Rost:** die Haltekraft kann durch Rost stark beeinträchtigt sein!
- **Material:** Sind Verbiegungen oder gar Risse im Material erkennbar, ist die Verankerung unbrauchbar!
- **Anbringung:** Ist ein Anker nicht korrekt angebracht, darf er ebenfalls nicht verwendet werden.
- **Sitz des Ankers:** Ein Anker darf sich nicht bewegen oder drehen lassen. Beim Festziehen der Schraube muss deutlicher Widerstand auftreten und der Anker darf sich nicht durchdrehen. Verbundanker auch auf Bewegungen in Richtung ihrer Längsachse prüfen!

Geben Verankerungen bei einem dieser Punkte Anlass zu Zweifel, sind sie für eine weitere Verwendung unbrauchbar zu machen (Ein- oder abschlagen, mit Lehm oder Steinen zustopfen...)!



Spit (auch: Kronenbohrdübel)

Spits sind Dübel mit integrierter Bohrkronen und stellen nach wie vor die am häufigsten verwendete, technische Verankerung in der Höhlenforschung dar. Sie können ohne Bohrmaschine von Hand gesetzt werden und sind daher vor allem bei längeren Forschungsfahrten beliebt. Spits finden sich in vertikalen Höhlen auf der ganzen Welt, obgleich sie z.B. im Bergsport mittlerweile abgelehnt werden, da sie aus gehärtetem Stahl gefertigt sind und daher rosten, also im Lauf der Zeit ihre Haltekraft verlieren.

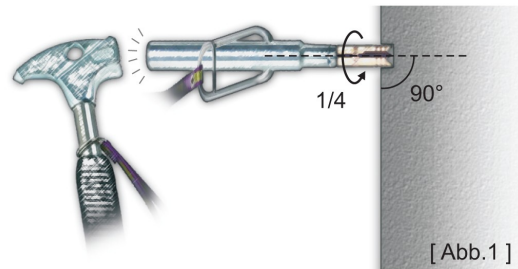
Vorteile: geringes Gewicht, geringer Preis, immun gegen leere Akkus oder stumpfe Bohrer.

Nachteile: nicht CE geprüft, nicht rostfrei – daher begrenzte Einsatzdauer, Bohrlochtiefe entscheidend für die Haltekraft, korrekte Anbringung oder Rosteinwirkung später nur bedingt überprüfbar.

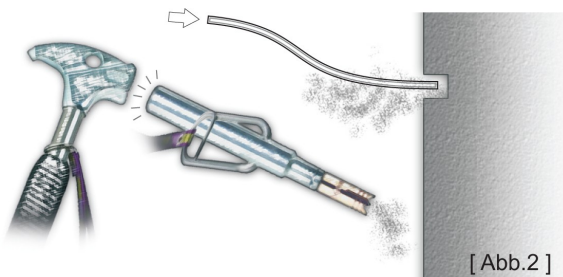
Benötigtes Material: Spit, Spreizkeil, Spitzsetzer, Hammer, Schlauch, Lasche mit Schraube.

Setzvorgang: Der Spit wird bis zum Anschlag auf das Gewinde des Spitzsetzers aufgeschraubt und durch Schläge mit dem Hammer auf dessen hinteres Ende im rechten Winkel in den Felsen getrieben. [Abb.1]. Dabei wird der Spitzsetzer im Uhrzeigersinn gedreht, damit die Bohrzacken immer auf unterschiedliche Stellen im Bohrloch zu liegen kommen. Zu Beginn sollte etwas vorsichtiger geschlagen werden, damit weniger Gestein von der Felsoberfläche um das Bohrloch herum abgesprengt wird. In kurzen Abständen muss immer wieder der Bohrstaub aus dem Spit und dem Bohrloch entfernt werden [Abb.2]. Die Bohrlochtiefe beträgt 32 mm und darf nicht überschritten werden, damit nach dem Einschlagen des Spreizkeils der Spit plan mit der Felsoberfläche abschließt. Auf den meisten Spitzsetzern ist dazu eine Kerbe an der korrekten Einschlagtiefe angebracht. [Abb.3]. Das fertige Bohrloch wird nochmals gereinigt und der Spreizkeil mit leichten Hammerschlägen in die Krone des Spits eingeklopft, so dass dieser nicht beim Einschlagen in das Bohrloch herausfallen kann. [Abb.4]. Der Spit samt Spreizkeil wird nun fest in das Bohrloch gehämmert, wodurch sich diese im Fels verspreizen. Abschließend wird der Spitzsetzer ab- und die Lasche aufgeschraubt. Die Schraube darf dabei nicht zu fest angezogen werden (das Anzugsdrehmoment beträgt nur 15 Nm)!

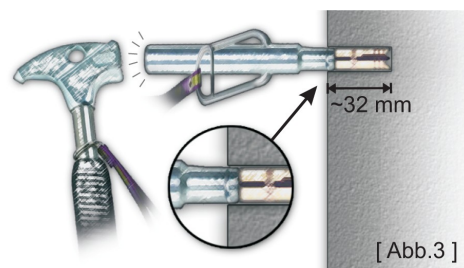
Achtung: Wird das Loch maschinell gebohrt (Ø 12 mm), muss dieses noch mit dem Spit zu einer zylindrischen Form mit ebenem Boden nachbearbeitet werden, da Bohrer ein Loch mit konischem Boden erzeugen, der Spit jedoch ein Bohrloch mit ebenem Boden als Auflage für den Spreizkeil benötigt!



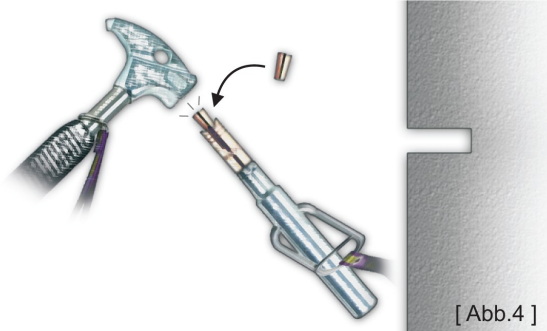
[Abb.1]



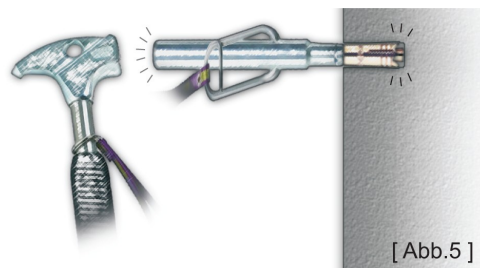
[Abb.2]



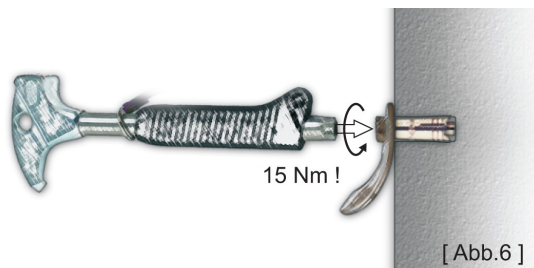
[Abb.3]



[Abb.4]



[Abb.5]



[Abb.6]





Bohranker (auch: Durchsteckanker, Schwerlastanker)

Der Bohranker ist ein Edelstahlstift mit Außengewinde und einer Mutter samt Beilagscheibe. Die Spreizwirkung wird durch einen Konus mit Quetschring erzeugt. Bohranker werden in verschiedenen Durchmessern und Längen hergestellt. In Österreich werden meist Bohranker der Marke Hilti (Typ HST bzw. HST-R) in den Größen 8 (Ø mm) oder 10 (Ø mm) verwendet.

Vorteile: starke Haltekraft die außerdem durch Anziehen der Mutter überprüfbar ist, rostfrei (HST-R), Bohrlochtiefe nicht entscheidend für die Haltekraft, schnelles und kraftsparendes Setzen. CE geprüft.

Nachteile: höhere Anschaffungskosten als beim Spitz, kann nur mit Bohrmaschine (=Gewicht) gesetzt werden.

Benötigtes Material: Bohranker, Bohrmaschine, Bohrer (Ø 8 oder 10 mm), Hammer, Schlauch, Lasche ohne Schraube (siehe: Tipps).

Setzvorgang: Gebohrt wird mit einem Akku-Bohrhammer im rechten Winkel zur Felsoberfläche, wobei die ersten mm vorsichtig und langsam gebohrt werden, damit weniger Gestein von der Felsoberfläche um das Bohrloch herum abgesprengt wird [Abb.1]. Die Bohrtiefe entspricht mindestens der Länge des Bohrankers, kann aber auch tiefer sein, wenn der Anker später versenkt werden soll. Der Bohrstaub wird aus dem fertigen Loch mit einem Schlauch ausgeblasen [Abb.2]. Nun wird der Anker samt aufgeschraubter Lasche in das Bohrloch geschlagen, die Mutter sollte sich dabei am Schluss nur wenige mm vor dem Gewindeende befinden und die Lasche sollte plan am Felsen aufliegen [Abb.3]. Beim Einschlagen ist darauf zu achten, dass nicht auf die Mutter geschlagen und das Gewinde beschädigt wird. Mit dem Stiel des Hammers oder mit einem 13er Schraubenschlüssel wird nun die Mutter festgezogen, bis deutlicher Widerstand zu spüren ist, dann hat sich der Quetschring über den Konus geschoben und der Anker ist fixiert.

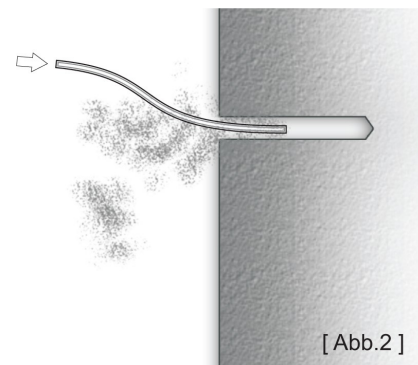
Ein Bohranker kann deutlich stärker festgezogen werden als ein Spitz. Das Anzugsdrehmoment beträgt 25 Nm bei 8 mm Ankern und 45 Nm bei 10 mm Ankern.

Achtung: Kommt beim Festschrauben die farbige Markierung am Gewinde zum Vorschein, oder dreht sich der Anker durch, ist die Verankerung unbrauchbar! Der Quetschring hat sich nicht gespreizt: der Anker darf nicht verwendet und sollte unbrauchbar gemacht werden (Abschlagen oder versenken).

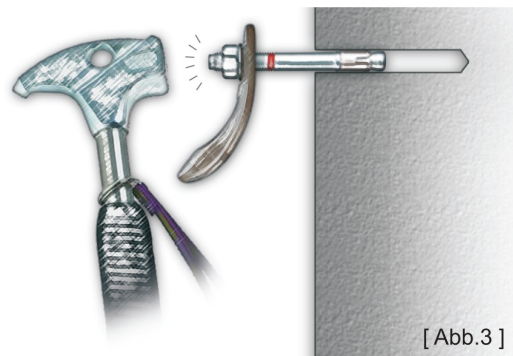
Tipps: Die Laschen können schon vor der Befahrung auf den Bohranker geschraubt und mit Karabiner versehen werden, dann entfällt lästiges Hantieren im Schacht. Beim Schachtausbau bleibt die Mutter und die Beilagscheibe am Bohranker für zukünftige Befahrungen.



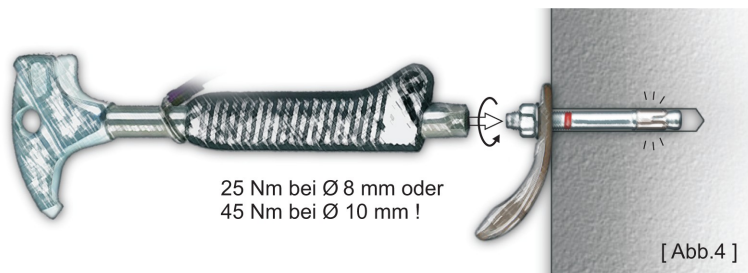
[Abb.1]



[Abb.2]



[Abb.3]



25 Nm bei Ø 8 mm oder
45 Nm bei Ø 10 mm !

[Abb.4]



HKD (Hilti)

Der HKD(-S) ist ein Bohrdübel aus rostfreiem Stahl mit integriertem Spreizkeil. Der HKD findet in der Größe M8x30 (Ø 10 mm, Länge 30 mm) Verwendung in der Höhlenforschung da er für die gleichen Schrauben (M8) wird der Spit geeignet ist. Das Bohrloch (Ø 10 mm) kann sowohl von Hand (z.B. mit Petzl Rocpec) als auch mit Bohrmaschine gebohrt werden.

Vorteile: Geringes Gewicht wenn von Hand gesetzt, geringe Anschaffungskosten, im Gegensatz zum Spit wird der Dübel nicht durch den Setzvorgang vorbelastet. Rostfrei. CE geprüft.

Nachteile: Kann durch zu festes Anziehen der Schraube leicht überdreht werden. (Anzugsdrehmoment nur 10 Nm!) Benötigt eigenes Setzwerkzeug und einen Splintentreiber (=zusätzliches Gewicht).

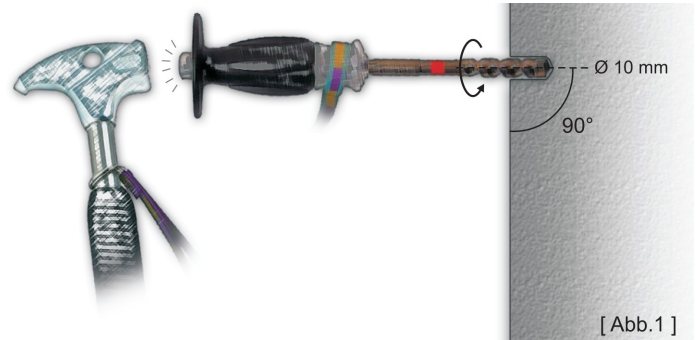
Benötigtes Material: HKD-Dübel, Petzl-Rocpec oder Bohrmaschine, Bohrer (Ø 10 mm), Splintentreiber, Hammer, Schlauch, Lasche mit Schraube.

Setzvorgang: Das Bohrloch für den HKD kann sowohl von Hand mit einem Rockpecker, als auch maschinell gebohrt werden und muss wie bei den anderen Ankern einen rechten Winkel zur Felsoberfläche bilden. Der Bohrl Lochdurchmesser beträgt 10 mm bei einer Bohrl Lochtiefe von 30 mm [Abb.1]. Ein zu tiefes Bohrloch ist nicht so gravierend wie beim Spit, da der HKD einen innenliegenden Spreizkeil (Splint) besitzt und manche Modelle sogar einen vorstehenden Rand als Anschlag haben. Dennoch ist ein genaues Bohrloch von Vorteil, denn der HKD rutscht beim Einschlagen in zu tiefe Bohrlöcher manchmal trotz Rand zu weit hinein, wodurch dann die Schraube nicht mehr auf ihrer ganzen Gewindelänge greifen kann. Das fertige Bohrloch wird mit einem Schlauch ausgeblasen [Abb.2], dann kann der Dübel eingesetzt werden.

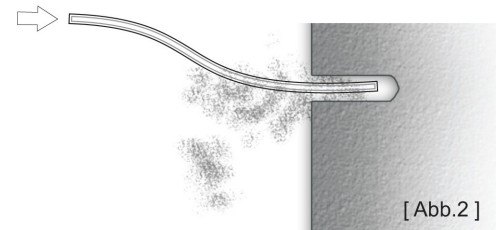
Jetzt wird der Splintentreiber (keine Eigenbauten, nur Originalwerkzeug verwenden!) auf den Spreizkeil (dieser befindet sich hinter dem Gewinde) gesetzt und mit kräftigen Hammerschlägen nach innen getrieben, wodurch sich der HKD im Bohrloch verspreizt [Abb.3]. Hierbei ist darauf zu achten, nicht versehentlich mit dem Splintentreiber auf das Gewinde zu schlagen. Abschließend wird die Lasche mit einem Anzugsdrehmoment von 10 Nm festgezogen [Abb.4].

Achtung: Es gelten die selben Setzkriterien wie beim Spit: Der Dübel muss plan mit dem Felsen abschließen und darf nicht im Bohrloch „versinken“. Ebenso wenig darf der HKD hervorstehe n, die Lasche muss am Felsen aufliegen. Achtung vor einem Überdrehen der Schraube!

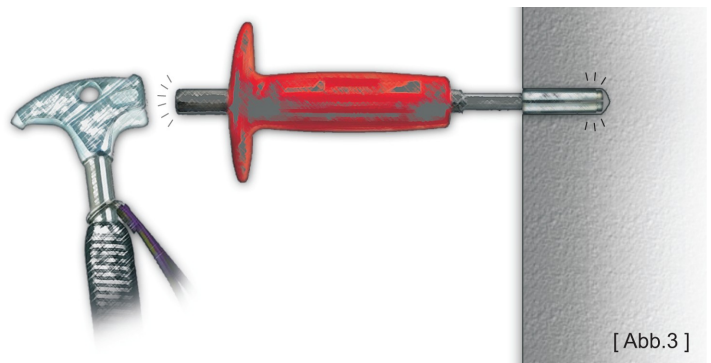
Tip p: Um nicht versehentlich zu tief zu bohren, kann die Bohrl Lochtiefe von 30 mm am Bohrer mit einem farbigen Klebeband markiert werden.



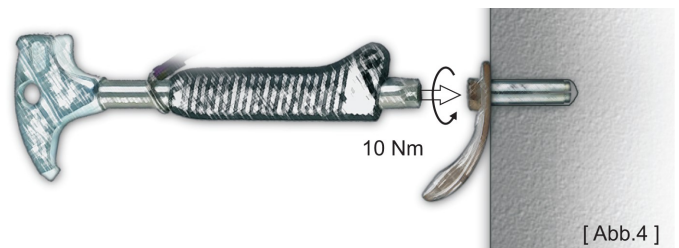
[Abb.1]



[Abb.2]



[Abb.3]



[Abb.4]

Verbundanker (auch: Klebeanker)



Verbundanker werden, wie der Name schon vermuten lässt, im Bohrloch eingeklebt. Sie weisen nicht nur sehr hohe Haltekräfte (meistens > 20 kN) auf, sondern sind auch sehr unempfindlich gegen Korrosion, da der Klebstoff das Bohrloch versiegelt. Daher werden sie gerne für Langzeiteinbauten verwendet. Verbundanker finden auch verbreitet Anwendung im Bergsport.

Anker zum Einkleben werden von mehreren Herstellern und in den verschiedensten Ausführungen und Dimensionen angeboten. Gebräuchlich ist z.B. der *Collinox* von Petzl (Abb. links) mit fertigem Ring. Auch verwendet werden so genannte „Ankerstangen“ wie der *HAS-TZ* von Hilti, auf die wie beim Bohreranker eine Lasche geschraubt wird.

Vorteile: Sehr hohe Haltekräfte, lange Einsatzdauer, geprüftes Material.

Nachteile: Klebeanker können nicht sofort nach ihrer Anbringung verwendet werden, da der Klebstoff je nach Marke und Temperatur zwischen 2 und 48 Stunden aushärten muss. Verbundanker sind vergleichsweise teuer, aber in oft befahrenen Schächten eine gute Investition!

Benötigtes Material: Anker, Klebepatrone (z.B. Petzl *Ampoule Collinox*), Bohrmaschine, Bohrer, Hammer, Schlauch.

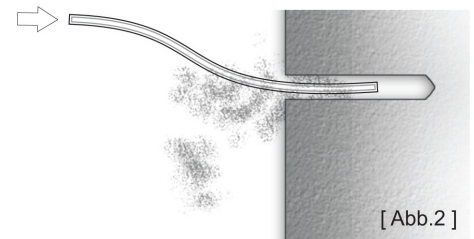
Setzvorgang: Das Bohrloch wird mit der Bohrmaschine im rechten Winkel zur Felsoberfläche gebohrt, die Bohrtiefe entspricht der Länge des Ankerschaftes. [Abb.1] Der Bohrdurchmesser ist etwas größer als der des Ankers. Bei einem *Collinox* mit einem Durchmesser von 10 mm zum Beispiel wird ein 12 mm Bohrloch benötigt. Dazu die Angaben des Herstellers genau beachten! Das fertige Bohrloch wird mit einer kleinen Bürste gereinigt mit einem Schlauch ausgeblasen. [Abb.2] Die Klebepatrone wird in das Bohrloch eingeführt und mit dem Hammer angebrochen. [Abb.3] Danach wird der Anker durch Schlagen und Drehen in das mit Klebstoff gefüllte Loch versenkt. [Abb.4] Nun muss der Anker noch mehrere Male (min. 10x) gedreht werden, damit sich die Klebemasse gut zwischen Anker und Felsen verteilt. [Abb.5] Aus dem Bohrloch austretender Klebstoff kann entfernt werden.

Je nach Marke und Temperatur muss der Klebstoff nun mehrere Stunden aushärten, bevor der Anker belastet werden darf. Auch hier sind die Angaben des Herstellers genau zu beachten!

Achtung: Das Bohrloch für Verbundanker ist besonders sorgfältig vom Bohrstaub zu reinigen (mit Bürste und Schlauch), da schon geringe Reste die Haltekraft stark reduzieren können. Es ist auch darauf zu achten, dass kein Wasser in das Bohrloch gelangt (vor dem Ausblasen also nochmal runterschlucken :)



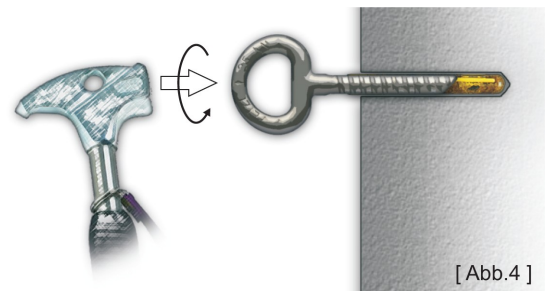
[Abb.1]



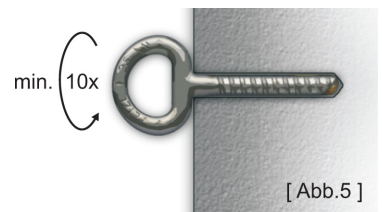
[Abb.2]



[Abb.3]



[Abb.4]



[Abb.5]



Felshaken

Siehe dazu auch Merkblatt A14. Felshaken werden in der Höhlenforschung nur selten verwendet, weil sie aus mehreren Gründen keine zuverlässigen Verankerungen für die Schachtbefahrung darstellen. Es gibt allerdings Situationen, in denen schnell und ohne großen Aufwand eine halbwegs annehmbare Verankerung benötigt wird, hierzu ist es nützlich ein wenig über Felshaken zu wissen (und im Bedarfsfall einen dabei zu haben).

Felshaken werden mit Hammerschlägen in Risse und Spalten getrieben und es gibt sie in den unterschiedlichsten Formen (Drehmomenthaken=Universalhaken [Abb.links], Querhaken, Winkelhaken, Profilhaken, Längshaken und Ringhaken), in verschiedenen Größen und aus unterschiedlichen Materialien (Weichstahl, Hartstahl, Titan). Ihnen allen gemein ist, dass sie ihre Haltekraft durch Reibung mit der Felloberfläche erzeugen. Diese kann durch mehrere Faktoren erhöht werden: passende Risse verwenden, die den eingeschlagenen Haken von allen Seiten fest umschließen. Den Haken bis zur Öse einschlagen, damit bei Belastung keine Hebelwirkung entsteht. Die Hakenform und Setzrichtung so wählen, dass die Öse bei Belastung eine Drehwirkung auf den Haken ausübt.

Achtung: Größte Vorsicht ist bei bereits vorhandenen Felshaken in Höhlen geboten: bei eingeschlagenen Haken ist weder die Form noch die Länge des Schaftes erkennbar. Auch von außen scheinbar intakte Haken können im Felsen bereits gänzlich ver- oder gar abgerostet sein!

Informationen zu Akku-Bohrhämmern

Moderne Geräte sind trotz guter Akkuleistung (über 3 Ah) bereits sehr leicht (unter 2,5 kg), daher werden sie immer öfter auch bei Forschungsfahrten verwendet, da das Anbringen von Verankerungen mit ihnen Zeit und Kraft spart. Mit einem Akku lassen sich je nach Gerät zwischen 10 und 20 Bohrlöcher erstellen.

Bohrmaschinen sind zwar sehr robust, sollten aber vor Nässe und Schlägen geschützt transportiert werden. Hierzu werden meist selbstgemachte Schutzhüllen aus Plastik oder Neopren verwendet, auch das Einwickeln in Frischhaltefolie hat sich bewährt.

Bohrmaschinen müssen in Schächten wie jedes andere Material auch gesichert sein, meist werden sie beim Einbau an Bandschlingen um die Schulter getragen, zum Transport sollten sie mit stoßdämpfendem Material umwickelt im Schleifsack verstaut werden.

Brauch- und leistbare Akku-Bohrhämmer werden von mehreren Herstellern angeboten, die derzeit gängigsten sind: Panasonic, Hilti und Makita [Abbildungen rechts].

Tipp: immer einen Ersatzbohrer für die geplanten Einbauten (8 oder 10 mm) mitnehmen. Nichts ist ärgerlicher, als eine Tour wegen einer Kleinigkeit wie einem verlorenen oder stumpfen Bohrer abbrechen zu müssen.

Tipp: Die Kontakte von Ersatzakkus mit Isolierband abkleben, damit diese beim Transport im Schleifsack vor Kurzschluss und Entladung geschützt sind.



Langzeiteinbauten

Sollen Schachteinbauten für längere Zeit in der Höhle verbleiben, sind einige zusätzliche Faktoren zu bedenken, die hier kurz beschrieben werden.

Seile: Grundsätzlich schadet es Seilen nicht, wenn sie über einen längeren Zeitraum eingebaut bleiben, sie sollten allerdings nicht in der Nähe von fließendem Wasser hängen, da sich das Seil durch die ständigen Bewegungen an Scheuerstellen abwetzen kann. Noch gefährlicher sind diese Dauerbewegungen an Laschen und Karabinern, die sich innerhalb weniger Monate sogar gänzlich durchscheuern können! Eis kann Seile ebenfalls stark beschädigen, daher müssen Stellen, an denen Wasser im Winter gefrieren kann, unbedingt vermieden werden. In Schächten ohne Umsteigstellen können Seile aufgeschossen und an den obersten Anker gehängt werden.

Laschen: Für Langzeiteinbauten sollten nur Stahllaschen verwendet werden, denn an Aluminiumlaschen tritt bereits nach wenigen Wochen die so genannte *Kontaktkorrosion* ein, die durch einen Potentialunterschied in der Spannungsreihe zwischen den verschiedenen Metallen (Schraube=Edelstahl, Lasche=Aluminium) entsteht. Dabei fließen Elektronen aus dem Aluminium (Anode) in Richtung des Stahls (Katode) und die Lasche korrodiert (rostet) an den Kontaktstellen. Dieser Vorgang wird durch Wasser (Elektrolyt) und die ständige Feuchtigkeit in Höhlen noch beschleunigt.



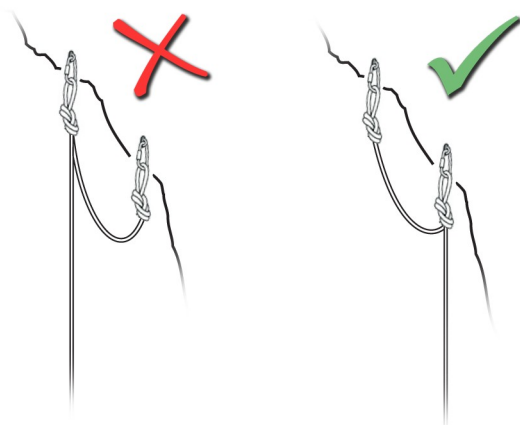
Stahllasche

Karabiner: Neben dem oben beschriebenen Problem des Durchscheuerns, können auch Karabiner von Kontaktkorrosion betroffen sein. Für Langzeiteinbauten empfiehlt sich daher die Verwendung von Stahlschraubgliedern (Ø mind. 8 mm).

Sturzfaktor

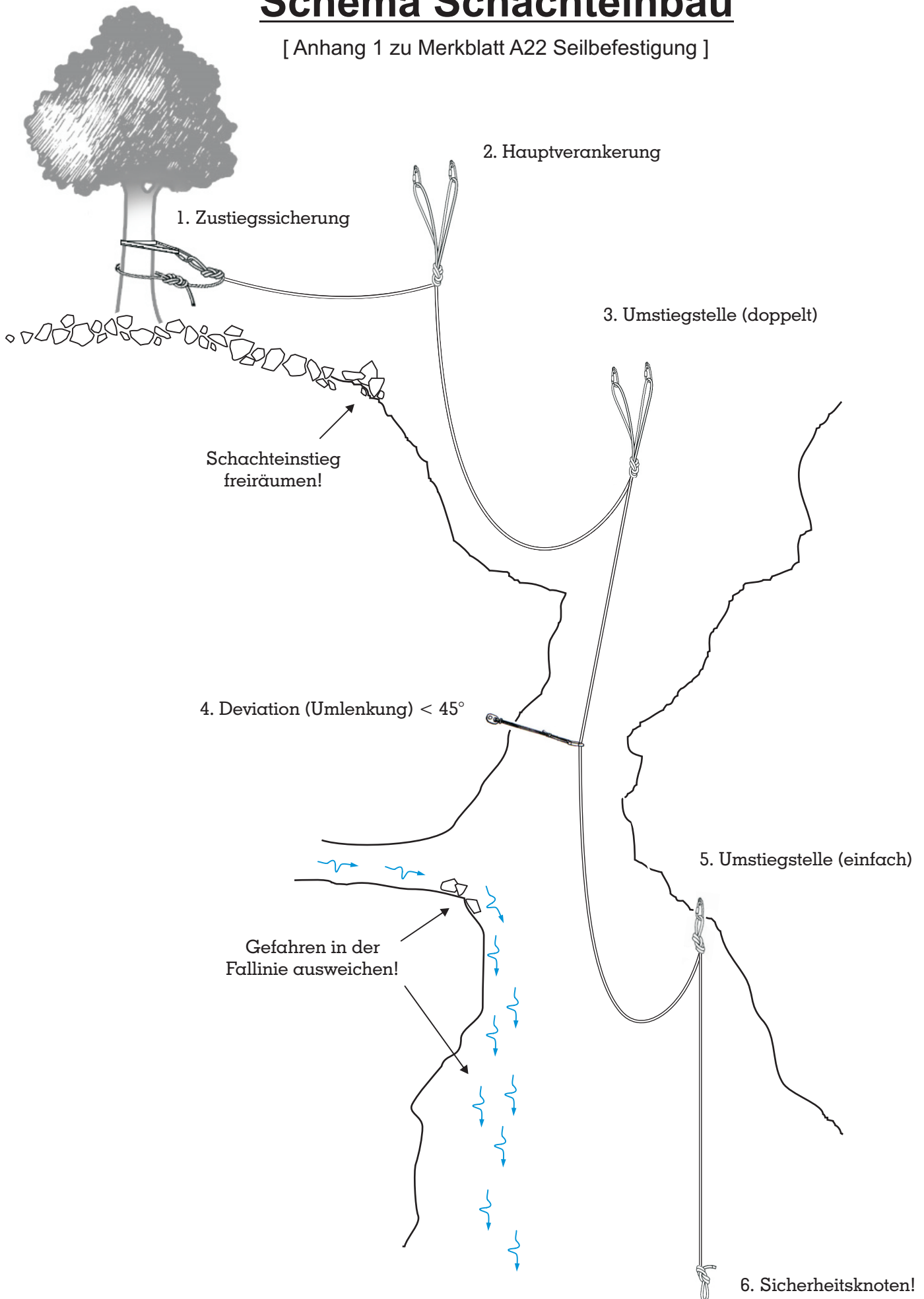
Der Sturzfaktor ist ein Maß für die auftretenden Kräfte, die bei einem Sturz ins Seil, bzw. dem Bruch einer Zwischenverankerung entstehen. Der Sturzfaktor ist eine dimensionslose Zahl zwischen 0 und 2 und errechnet sich aus der Fallhöhe, geteilt durch die Länge des Seiles, das den Sturz aufnimmt. Anders ausgedrückt: je länger das den Sturz auffangende Seil und je geringer die Sturzhöhe, desto kleiner ist der Sturzfaktor und damit die Belastung auf Körper und Verankerung.

Ein Beispiel: bei einem Sturz von 3 Metern in ein 6 Meter langes Seil, ergibt sich ein Sturzfaktor von 0,5. Höhlenseile (Statikseile) müssen einen Sturzfaktor von 1 aushalten. Dies ist auch der maximal mögliche Sturzfaktor in der Einseiltechnik, da, anders als beim Klettern, der Punkt an dem das Seil verankert ist niemals überstiegen wird und daher die Sturzhöhe nicht größer sein kann, als das abfangende Seil. Schachteinbauten müssen allerdings so vorgenommen werden, dass der Sturzfaktor möglichst gering gehalten wird! Bei der Wahl der Ankerposition ist daher immer darauf zu achten, dass bei einem möglichen Bruch dieser Verankerung, das auffangende Seil länger ist, als die Sturzhöhe!



Schema Schachteinbau

[Anhang 1 zu Merkblatt A22 Seilbefestigung]



Abseilen und Aufsteigen am Einfachseil

SRT – Single Rope Technique

Allgemeines zum Erlernen von vertikalen Befahrungstechniken

Seiltechnik für die Befahrung von Vertikalhöhlen sollte nicht im Selbststudium erlernt oder mittels „learning by doing“ in die Praxis umgesetzt werden. Auch dieses Skriptum stellt lediglich eine Lerngrundlage dar und ist alleine nicht ausreichend, um die beschriebenen Techniken ausreichend zu erlernen und zu beherrschen. Lass dich von erfahrenen Personen deines Höhlenvereins in sicherer Seiltechnik unterweisen und nimm nach Möglichkeit auch an Schulungen und Ausbildungen teil, bevor du Schachthöhlen befährst! Der VÖH bietet zu diesem Thema regelmäßige Ausbildungen an. (z.B.: Speläotraining Technik I und II).

Hinweise zu diesem Merkblatt

Die hier beschriebenen Inhalte und Techniken sind nicht allein das Werk des Autors, sondern das Resultat der Arbeit und der Erfahrungen des VÖH-Schulungsteams und vieler anderer Höhlenforscher und -forscherinnen. Sie stellen die derzeit aktuelle Lehrmeinung des VÖH und die Grundlage für unsere Ausbildungen dar.

Die Lehrmeinung erhebt damit aber keinesfalls Anspruch auf Vollständigkeit oder alleinige Gültigkeit. Es gibt auch andere Befahrungstechniken und Ausrüstungen, die ebenso zulässig und sicher sind.

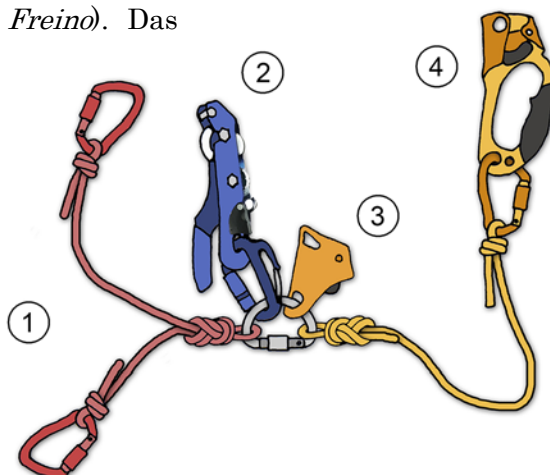
Wir haben uns auf die hier beschriebenen Techniken und Ausrüstungen als Lehrmeinung geeinigt, weil sie eine gute Kombination aus effektiver Befahrungstechnik (auch zu Forschungszwecken), relativ einfacher Erlernbarkeit, geringer Fehleranfälligkeit und dadurch hoher Sicherheit darstellen.

Die **richtige Bedienung** deiner Ausrüstung (Einlegen des Seiles, Blockieren, zusätzliche Bedienvarianten, Gefahrenhinweise...) wird in diesem Skriptum nicht extra erklärt, entnimm diese bitte der Gebrauchsanleitung des Herstellers. Die dort erklärte Handhabung, sowie die in diesem Merkblatt beschriebenen Techniken müssen für eine sichere und effektive Schachtbefahrung „blind“ beherrscht und regelmäßig angewendet bzw. geübt werden!

I. Das Schachtzeug

Die Ausrüstung für die hier beschriebenen Techniken wird in einem zentralen Schraubglied (Maillon) am Höhlengurt befestigt und besteht aus folgenden Komponenten:

- ① **Zwei Selbstsicherungen:** vorgefertigte oder aus dynamischem Seil (ø 9 oder 10 mm) selbst geknüpft mit zwei **Schraubkarabinern**.
- ② Dem **Abseilgerät** (hier *Stop*) mit **Bremskarabiner** (hier *Freino*). Das Abseilgerät sollte immer, auch beim Aufsteigen, im Maillon hängen, um eine Benützung ohne vorheriges Umhängen (und damit möglichem Verlust) durchführen zu können.
- ③ **Bruststeigklemme** (hier *Croll*) mit einem Brustgurt. (Der Brustgurt wird in den Abbildungen nicht gezeigt).
- ④ **Handsteigklemme** mit Sicherungsleine aus dynamischem Seil (ø 9 oder 10 mm) und Steigschlinge. (Die Steigschlinge wird in den Abbildungen nicht gezeigt).



Alle Abbildungen in diesem Merkblatt sind aus Eigenperspektive dargestellt, also so wie du die Ausrüstung an dir selbst sehen würdest.

II. Schachtbefahrung: Abseilen

In Höhlen erfolgt das Abseilen (und auch das Aufsteigen) an einem für die Dauer der Befahrung bzw. der Erforschung der Höhle fix eingebauten Einfachseil. Dazu haben sich folgende drei Abseilgeräte bewährt: **Rack**, **Simple** und **Stop**. Andere Geräte wie z.B. **Abseilachter** wären rein technisch zwar zulässig, bringen aber in der Höhlenbefahrung viele Nachteile mit sich und sollen daher nicht verwendet werden. Der Petzl Stop ist das gebräuchlichste, höhlentaugliche Gerät mit *Autoblockierfunktion* und bietet dadurch ein größeres Maß an Sicherheit. In diesem Merkblatt wird daher hauptsächlich auf die Befahrungstechnik mit dem Stop eingegangen. (Siehe dazu auch den *Warnhinweis Klammerreflex* weiter unten).

Vor dem Abseilen bzw. dem Einstieg in eine Schachthöhle ist zu beachten:

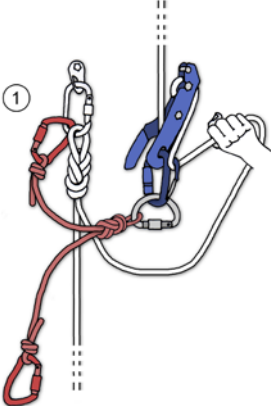
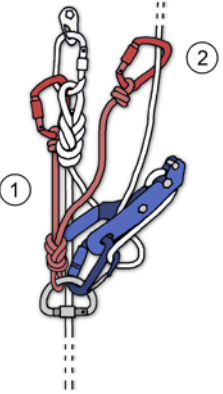
- Vor dem Einstieg in die Höhle bzw. in den ersten Schacht ist gegenseitig der **Partnercheck** (Erklärung siehe unten) durchzuführen.
- Bei der erstmaligen Befahrung eines Schachtes (auch in der Höhle), unbedingt **sämtliches loses Material (Steine, Äste, Schnee, Eis, u.ä.) vom Einstieg entfernen**, damit dieses nicht durch Seilbewegungen oder Nachkommende Personen in den Schacht fallen kann!
- Vor jedem einzelnen Abseilvorgang (so z.B. auch nach jeder Umstiegstelle) wird die Durchführung des „**ABS-Checks**“ (Erklärung siehe unten) empfohlen, um Gefahrenquellen und Fehler rechtzeitig zu erkennen und vermeiden zu können.
- Bei möglichem Felskontakt (z.B. in schrägen Schächten) sowie bei Steinschlaggefahr wird der **Schleifsack am Rücken** getragen, sonst mit einem **Schraubkarabiner unten am Zentralschraubglied oder Gurt** angehängt.
- Wird ein **Seil zum Einbau** in den Schacht mitgeführt, so wird das freie Ende nicht in den Schacht geworfen, sondern **im Schleifsack verstaute**. Dazu wird zuerst ein doppelter Achterknoten als **Endknoten** ca. 1 m vor dem Seilende geknüpft (und gut festgezogen) und der Rest in losen Schlingen darüber in den Schleifsack gelegt. So kann das Seil während dem Abseilen ohne zu verknoten oder hängen zu bleiben aus diesem herauslaufen und Steine können abgeräumt werden, ohne das Seil zu beschädigen.

Worauf ist beim Abseilen selbst zu achten:

- Bereits beim Schachtzustieg oder Quergängen vor dem Schacht, immer mit **mindestens einer Selbstsicherung** im Sicherungsseil einhängen. Wird zur Sicherung die **Handsteigklemme** verwendet (z.B. bei Zustiegen mit starkem Gefälle oder bei Quergängen), muss das Seil **auch in den Karabiner** der Handsteigklemme eingehängt werden (siehe Abbildung: *Sichern mit Handsteigklemme*), um im Falle eines Sturzes ein Verdrehen der Klemme im Seil zu verhindern.
- Während des Abseilens **umfasst eine Hand (= Bremshand) ständig das Seil** unter dem Abseilgerät, mit mindestens 2 – 3 Handbreiten Sicherheitsabstand! **Die Bremshand darf nur dann vom Seil genommen werden, wenn das Abseilgerät korrekt blockiert, d.h. abgebunden, oder die Selbstsicherung eingehängt wurde.**
- Knapp unterhalb von Seilverankerungen **besonders langsam, gleichmäßig und auf keinen Fall ruckartig abseilen** (bzw. aufsteigen), da hier die Belastung auf die Verankerung am größten ist. Je kürzer das Seilstück ist, umso weniger können Belastungsstöße durch die Seildehnung gedämpft werden.
- Die Abseilgeschwindigkeit wird ausschließlich durch die Bremshand kontrolliert** und nicht durch mehr oder weniger starkes Drücken des Blockierhebels am Stop. Die **Abseilgeschwindigkeit** sollte langsam genug sein, um Schäden am Seilmantel durch zu starke Wärmeentwicklung zu vermeiden.

- Zur besseren Kontrolle der **Abseilgeschwindigkeit** empfiehlt sich die Verwendung eines **Bremskarabiners**, z.B. Raumer *Handy* oder Petzl *Freino*. Besonders bei dünnen und/oder rutschigen Seilen. Es kann auch ein **normaler Karabiner** verwendet werden, dieser muss dann allerdings in den Karabiner des Abseilgerätes und nicht in das zentrale Schraubglied eingehängt werden, um ein gefährliches Einfädeln des Abseilgerätes darin zu verhindern! (siehe Abbildung: *Bremskarabiner*)
- Die Karabiner **der Selbstsicherung** immer **mit der Öffnung vom Felsen bzw. Seil weg** in der Umstiegstelle (bzw. in der Schlaufe des Knotens) einhängen, um Druck auf die Öffnung und damit ein eventuelles Aufdrücken zu vermeiden. (siehe Abbildung: *Abseilen 1*)
- Bei doppelten Verankerungen (z.B. mit Rettersitzknoten) ist **die Selbstsicherung immer durch beide Seilschlaufen des Knotens einzuhängen und nicht in einen der Karabiner**, um beim Versagen eines Ankers eine hohe Sturzbelastung auszuschließen! (siehe Abbildung: *Sichern an doppelten Verankerungen*)
- Nicht **vergessen**: nach Verlassen der Umstiegstelle „**Seil frei!**“ oder „**Libero!**“ nach oben melden.

Die Seilmanöver beim Abseilen: Umstiegstellen, Umlenkungen, Seilverlängerungen und andere Hindernisse:

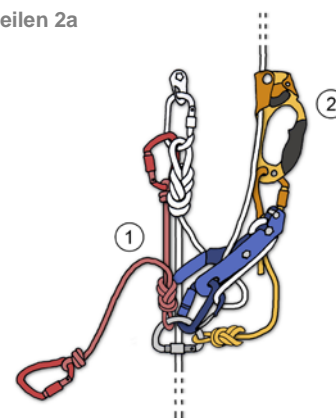
Abseilen über Umstiegstellen - Schritt 1 von 4	Abseilen 1
<p>Bis auf Höhe der Verankerung abseilen (bei kleinen Pendlern etwas darunter) und die kurze Selbstsicherung in den Karabiner der Verankerung einhängen ① und zuschrauben.</p> <p>Beachte: Die Öffnung des Karabiners der Selbstsicherung muss dabei vom Felsen bzw. dem Knoten wegzeigen, um eine Belastung auf die Öffnung zu vermeiden!</p> <p>Hinweis: Werden zum Einhängen der Selbstsicherung beide Hände benötigt (z.B. um sich bei Pendlern zur Verankerung hinziehen zu können), so wird das Abseilgerät vorher abgebunden (blockiert).</p>	
Abseilen über Umstiegstellen - Schritt 2 von 4	Abseilen 2
<p>Weiter abseilen, bis die kurze Selbstsicherung voll belastet und das Abseilgerät entlastet ist ①.</p> <p>Die lange Selbstsicherung wird jetzt in das nach oben führende Seil eingehängt ②, oder bei freihängenden Umstiegstellen die <i>Variante</i> (siehe unten) durchgeführt.</p> <p>Hinweis: Bei sicherem Stand an der Umstiegstelle, oder für sehr geübte HöhlenforscherInnen ist es nicht zwingend nötig, auch die lange Selbstsicherung einzuhängen.</p>	

Abseilen über Umsteigstellen - Schritt 2 von 4 / Variante

Bei **freihängenden Umsteigstellen** wird statt der langen Selbstsicherung die **Handsteigklemme** in das nach oben führende Seil eingehängt ②, um später durch die Steigschlinge eine **Entlastungsmöglichkeit** zum Aushängen der Selbstsicherung zu haben.

Tipp: Die Handsteigklemme möglichst tief (in Kinnhöhe oder darunter) einhängen. Bei langen Abseilstrecken (mit großer Seildehnung) kann die Klemme alternativ auch zwischen Knoten und Abseilgerät (in Richtung Knoten) eingehängt werden.

Abseilen 2a

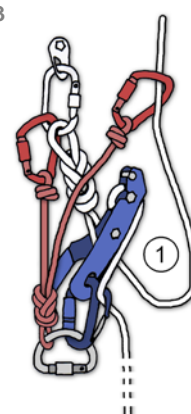


Abseilen über Umsteigstellen - Schritt 3 von 4

Jetzt wird das Abseilgerät geöffnet und in das **nach unten** führende Seil, **nahe am Knoten eingehängt** ① und danach möglichst weit nach oben (zum Knoten hin) gezogen.

Beachte: Werden zum Entlasten und Aushängen der kurzen Selbstsicherung (im nächsten Schritt) **beide Hände benötigt**, so muss das **Abseilgerät jetzt abgebunden** (blockiert) werden.

Abseilen 3



Abseilen über Umsteigstellen - Schritt 4 von 4

Nun kann die **kurze Selbstsicherung entlastet und ausgehängt** werden ①. Dabei ist das Abseilgerät entweder **abgebunden**, oder die **Bremshand ist am Seil!**

Beachte: Vor dem **Belasten des Abseilgerätes** ist dieses auf seine **korrekte Lage** hin zu überprüfen, so dass es nicht im Karabiner oder im Maillon verkantet. Auch die **richtige Belastungsrichtung des Karabiners im Anker** (längs, Öffnung nach unten) ist zu überprüfen.

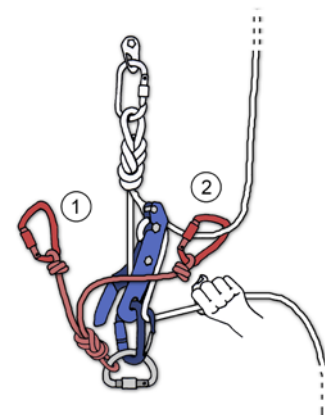
Tipp: Vor dem Fortsetzen des Abseilvorganges den *A.B.S. Check* (siehe Kapitel IV) durchführen.

Tipp: Ist die Seilschleife nach oben lang genug, kann z.B. mit dem Knie oder Fuß in diese gestiegen werden, um die kurze Selbstsicherung leichter entlasten zu können.

Nach erfolgreichem Umsteigmanöver wird mit der freien Hand noch die **lange Selbstsicherung** bzw. die **Handsteigklemme** ausgehängt ②, danach „*Seil frei!*“ oder „*Libero!*“ an die nachfolgende Person gemeldet und die Abseilfahrt fortgesetzt.

Beachte: Knapp unterhalb der Seilverankerung bzw. des Knotens besonders **langsam, gleichmäßig** und **auf keinen Fall ruckartig** abseilen!

Abseilen 4



Abseilen über Umsteigstellen mit großem Versatz (Pendler)

Pendler beim Abseilen

Bis auf **Höhe der Verankerung** abseilen und die **Handsteigklemme** in das Seil zur Zwischenverankerung eingehängen ①.

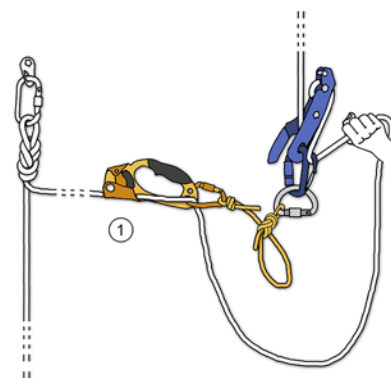
So weit wie ohne extremen Krafteinsatz möglich, **zur Verankerung hinziehen** und dabei die Handsteigklemme nachschieben.

Weiter abseilen, bis wieder **ein Stück zur Verankerung hingezogen** und die **Handsteigklemme nachgeschoben** werden kann.

Diesen Vorgang wiederholen, bis die Umsteigstelle erreicht ist und eine **Selbtsicherung** in die Seilverankerung eingehängt werden kann.

Handsteigklemme aushängen und weiter vorgehen wie beim **Abseilen über Umsteigstellen ab Schritt 2**.

Hinweis: Bei sehr horizontalen Pendlern kann es nötig sein, zur Umsteigstelle mit **beiden Steigklemmen** aufzusteigen.



Abseilen über Seilumlenkungen (Deviateure) und Seilschoner

Bis auf **gleiche Höhe** mit der Umlenkung (oder bis zum Seilschoner) abseilen.

Abseilgerät blockieren (abbinden), wenn zum Umhängen die Bremshand benötigt wird.

Den Karabiner der Umlenkung (oder den Seilschoner) **unterhalb des Abseilgerätes aushängen** und **darüber wieder einhängen**.

Den Abseilvorgang fortsetzen.

Tipp: Bei **großem seitlichem Versatz** (Pendler zur Umlenkung) kann es hilfreich und kraftsparend sein, die Selbstsicherung in die Umlenkung einzuhängen, um beide Hände für das Umhängen frei zu haben.

Beachte: Eine Umlenkung ist keine Zwischenverankerung und darf daher **nie mit dem vollen Körpergewicht belastet** werden! Das Abseilgerät wird bei diesem Manöver **nie vom Seil** genommen!

Wechsel vom Abseilen zum Aufsteigen

Das **Abseilgerät abbinden** (blockieren).

Danach die **Handsteigklemme** möglichst hoch in das Seil darüber einhängen.

Den Körper mit Hilfe der Steigschlinge aufrichten und die **Bruststeigklemme** zwischen der Handsteigklemme und dem Abseilgerät einhängen.

Sind **beide Steigklemmen am Seil**, kann das **Abseilgerät ausgehängt** und mit dem Aufstieg begonnen werden.

Absteigen mit den Steigklemmen

Um schnell ein kurzes Stück tiefer zu kommen, oder wenn an einem belasteten Seil abgestiegen werden muss, ist ein Wechsel auf das Abseilgerät nicht nötig bzw. möglich. Es kann ganz einfach wie folgt mit den Klemmen abgestiegen werden:

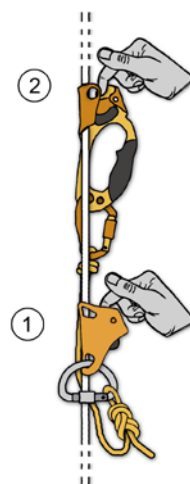
Körper in der Steigschlinge der Handsteigklemme aufrichten, die dadurch entlastete **Bruststeigklemme** durch einen Druck von oben auf die Klemmvorrichtung und gleichzeitigem Absenken des Körpers ein Stück nach unten schieben und wieder belasten ①.

Jetzt die **Handsteigklemme** durch einen Druck von oben auf die Klemmvorrichtung bis über die Bruststeigklemme nach unten schieben ②.

Den Vorgang wiederholen.

Beachte: Die Klemmen dürfen **nicht durch Druck auf die Hebel zum Öffnen der Klemmvorrichtung** gelöst werden, weil dabei die Gefahr besteht, die Klemme ungewollt ganz zu öffnen.

Absteigen mit Steigklemmen



Abseilen über Seilverlängerungen und Knoten - Schritt 1 von 2

Vor Erreichen des Knotens das Seil aus dem Bremskarabiner nehmen und **bis zum Knoten abseilen**.

Danach die **Handsteigklemme** in das Seil ein Stück darüber einhängen.

Den Körper in der Fußschlinge aufrichten, die **Bruststeigklemme** zwischen der Handsteigklemme und dem Abseilgerät einhängen und belasten.

Beachte: Ist an dem Knoten eine Schlaufe zur Sicherung vorhanden, muss vor dem Umsteigen zusätzlich eine **Selbstsicherung** darin eingehängt werden.

Abseilen über Seilverlängerungen und Knoten - Schritt 2 von 2

Sind beide Steigklemmen am Seil, kann das **Abseilgerät ausgehängt** und **unter dem Knoten wieder eingehängt** und blockiert (abgebunden) werden.

Mit beiden Klemmen möglichst weit **herunter an den Knoten absteigen**.

Durch Aufrichten in der Fußschlinge die **Bruststeigklemme entlasten, aushängen** und das Gewicht auf das Abseilgerät verlagern.

Beachte: Vor dem **Belasten des Abseilgerätes** ist dieses auf seine **korrekte Lage** hin zu überprüfen, so dass es nicht im Karabiner oder im Maillon verkantet.

Jetzt noch die **Handsteigklemme und eine ev. Selbstsicherung lösen** und die Abseilfahrt fortsetzen.

III. Schachtbefahrung: Aufsteigen

Die „Frosch- oder Raupen-Technik“

... ist die in Europa gängigste Steigtechnik. Das Passieren von Zwischenverankerungen, Knoten, Umlenkungen und ähnlichem ist mit dieser Methode sehr gut möglich. Daher ist sie auch die bevorzugte Technik der VÖH Lehrmeinung und wird auf unseren Kursen und Trainings unterrichtet. Benützt wird eine im zentralen Schaubglied (Maillon) befestigte und mittels Brustgurt nach oben gespannte **Bruststeigklemme** (z.B. *Petzl Croll*), sowie eine **Handsteigklemme** (z.B. *Petzl Ascension*), welche mit einer Steigschlinge versehen und mittels eigener Seilsicherung im Sitzgurt befestigt ist.

Eine Ergänzung zu dieser Methode stellt die Verwendung einer **Fußsteigklemme** dar. Dabei handelt es sich um eine Steigklemme ohne Griff, welche über Bänder und/oder Gurte an der Innenseite eines Fußes befestigt wird. Vor allem bei langen Schächten oder mit schweren Säcken steigert die Fußsteigklemme die Effizienz deutlich.

Das Aufsteigen

Beide Steigklemmen werden am Seil eingehängt und ein Fuß wird in die **Steigschlinge** gestellt. Mit den Händen wird die Handsteigklemme am Seil nach oben geschoben, wobei gleichzeitig das Bein angewinkelt wird. Dann wird der Körper durch **Ausstrecken des Beins in der Steigschlinge** wieder aufgerichtet, wodurch die Bruststeigklemme nach oben rutscht und wieder belastet werden kann. Nun wird die Handsteigklemme wieder hochgeschoben und der Vorgang wiederholt.

Siehe dazu auch den Absatz „*Hinweise zum kraftsparenden und effizienten Schachtaufstieg*“ weiter unten.

Die Seilmanöver beim Aufsteigen: Umsteigstellen, Umlenkungen, Seilverlängerungen und andere Hindernisse

Aufsteigen über Zwischenverankerungen - Schritt 1 von 3

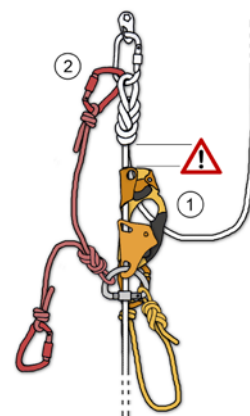
Aufsteigen, bis die Handsteigklemme etwa **zwei Fingerbreit unter dem Knoten der Verankerung** und die Bruststeigklemme knapp darunter ist ①. Dann die **lange Selbstsicherung** in den Karabiner der Verankerung eingehängen ②.

Beachte: Knapp unterhalb der Seilverankerung bzw. des Knotens besonders **langsam, gleichmäßig** und **auf keinen Fall ruckartig** aufsteigen, da hier die Belastung auf die Verankerung am größten ist, weil das Seil alle Bewegungen ungedämpft an den Anker weiter gibt.

Beachte: Die Öffnung des Karabiners der Selbstsicherung muss dabei **vom Felsen bzw. dem Knoten wegzeigen**, um einen Druck auf die Öffnung zu vermeiden!

Hinweis: Der Abstand der Handsteigklemme zum Knoten ist wichtig, um diese später zum Aushängen noch ein Stück nach oben bewegen zu können!

Aufsteigen 1



Aufsteigen über Zwischenverankerungen - Schritt 2 von 3

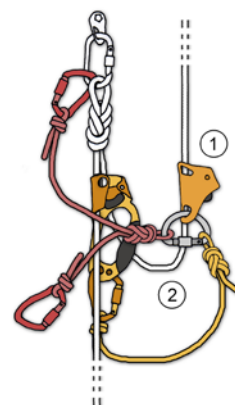
In der Steigschlinge aufstehen, die dadurch entlastete **Bruststeigklemme** aushängen und in das nach oben führenden Seil **möglichst hoch** wieder einhängen ①.

Tipp: Vor dem Aushängen der Bruststeigklemme kann das nach oben führende Seil mit einer Hand bereits nahe zur Klemme herangezogen werden, das erleichtert das Umhängen und spart Kraft.

Beachte: Das Seil soll nach dem Umhängen der Bruststeigklemme (und vor deren Belastung) so weit durch die Klemme **nach unten gezogen werden**, dass nur das nach oben führende Seil belastet wird und nicht das Stück unterhalb der Klemme in Richtung Knoten! ②

Ist dies nicht möglich, weil z.B. die Seilschleife zu kurz ist, kann alternativ auch **zuerst die Handsteigklemme** und **danach die Bruststeigklemme** umgehängt werden.

Aufsteigen 2



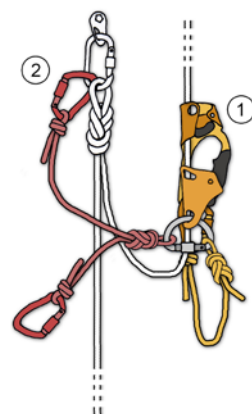
Aufsteigen über Zwischenverankerungen - Schritt 3 von 3

Jetzt wird die **Handsteigklemme** geöffnet und über der Bruststeigklemme in das nach oben führende Seil eingehängt.

Beachte: Die Klemme muss dabei **außen an der Schlaufe des oberen Seiles vorbei** und nicht durch diese hindurch (Verstricken) geführt werden.

Sind beide Klemmen am oberen Seil, kann die **lange Selbstsicherung ausgehängt** ② werden. **Bevor es weitergeht muss noch überprüft werden:** liegt der **Karabiner korrekt** in der Lasche (vertikal mit der Öffnung nach unten und zugeschraubt)? **Hängt das Seil frei nach unten** (oder wurde es versehentlich mit aufgezogen)? Erst danach wird „*Seil frei!*“ oder „*Libero!*“ an die nachfolgende Person gemeldet und der Aufstieg fortgesetzt.

Aufsteigen 3



Aufsteigen über Umlenkungen (Deviateure) und Seilschoner

So hoch wie möglich unter der Umlenkung (oder dem Seilschoner) aufsteigen. Den Karabiner der Umlenkung (oder den Seilschoner) **oberhalb der Steigklemmen aushängen** und **darunter wieder einhängen**. Den Aufstieg fortsetzen.

Beachte: Nach Passieren der Umlenkung, vor allem wenn sie direkt über dem Schachtgrund bzw. dem Seilende ist, unbedingt darauf achten, dass **das Seil wieder direkt durch die Umlenkung läuft** und nicht nachgezogen (und dadurch vom Schachtgrund gehoben) wird!

Tipp: Bei **großem seitlichem Versatz** (Pendler zur Umlenkung) kann es hilfreich und kraftsparend sein, die Selbstsicherung in die Umlenkung einzuhängen.

Beachte: Eine Umlenkung ist keine Zwischenverankerung und darf daher **nie mit dem vollen Körpergewicht belastet** werden! Die Steigklemmen werden bei diesem Manöver **nie vom Seil** genommen!

Wechsel vom Aufsteigen zum Abseilen

Das **Abseilgerät** unterhalb der Bruststeigklemme einhängen und abbinden (blockieren).

Die **Handsteigklemme** möglichst weit nach unten, knapp über die Bruststeigklemme schieben.

In der Steigschlinge aufrichten, die dadurch **entlastete Bruststeigklemme aushängen** und das Gewicht **auf das Abseilgerät** verlagern

Beachte: Vor dem Belasten des Abseilgerätes ist darauf zu achten, dass dieses **korrekt liegt** und **nicht im Maillon verdreht oder verkantet** ist.

Zuletzt noch die **Handsteigklemme aushängen** und die Abseilfahrt beginnen.

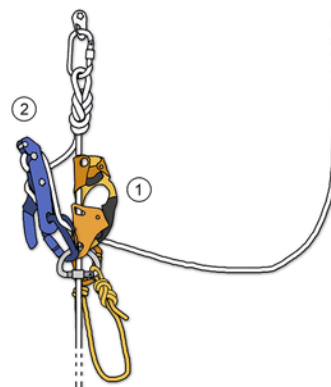
Aufsteigen über Umsteigstellen mit großem Versatz - Schritt 1 von 2

Aufsteigen, bis die Handsteigklemme etwa **zwei Fingerbreit unter dem Knoten der Verankerung** und die Bruststeigklemme knapp darunter ist ①.

Nun das **Abseilgerät** so unterhalb des Knotens in das von oben kommende Seil einhängen (und abbinden), dass damit **vom Knoten weg abgeseilt** werden kann ②.

Beachte: Knapp unterhalb der Seilverankerung bzw. des Knotens besonders **langsam, gleichmäßig** und **auf keinen Fall ruckartig** aufsteigen bzw. abseilen, da hier die Belastung auf die Verankerung am größten ist.

Aufsteigen über Pendler 1



Aufsteigen über Umsteigstellen mit großem Versatz - Schritt 2 von 2

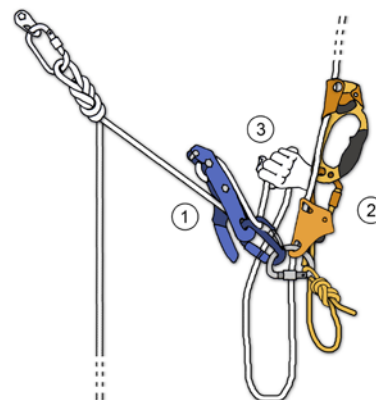
In der Steigschlinge aufrichten, die dadurch **entlastete Bruststeigklemme aushängen** und das Gewicht **auf das Abseilgerät** verlagern ①.

Beachte: Vor dem **Belasten des Abseilgerätes** ist dieses auf seine **korrekte Lage** hin zu überprüfen, so dass es nicht im Karabiner oder im Maillon verkantet.

Jetzt das **nach oben führende Seil** so weit wie möglich heranziehen und nacheinander erst die **Bruststeigklemme** und danach die **Handsteigklemme** darin einhängen ②.

Danach **bis in Fall-linie abseilen**, das nun entlastete Abseilgerät aushängen und den Aufstieg fortsetzen.

Aufsteigen über Pendler 2



IV. Anhang: Checks, Hinweise und Abbildungen

Der Partnercheck sollte **vor jeder Schachthöhlenbefahrung** und auch nach Wiederanlegen des Gurtzeugs (z.B. nach Rast, Biwak, WC-Gang...) gegenseitig gewissenhaft durchgeführt werden. Leider wird ein Bestehen auf den Partnercheck, vor allem unter erfahrenen HöhlenforscherInnen, als eher „uncool“ belächelt und daher oftmals ausgelassen. Dennoch hätte ein Partnercheck einige mitunter auch tödliche Unfälle in der Vergangenheit zu verhindern geholfen. Wer lieber etwas uncool ist, der/die überprüfe beim Partnercheck folgende Punkte:

- Gurt** korrekt angelegt, nicht beschädigt und alle **Gurtschlaufen** zurückgefädelt?
- Zentrales Schraubglied** (Maillon) zugeschraubt (mit der Öffnung nach links*)?
- Abseilgerät** korrekt angebracht und dessen **Karabiner** zugeschraubt? **Bremskarabiner** vorhanden?
- Steigklemmen** und **Selbstsicherungen** korrekt am Gurt angebracht?
- Reservelicht** griffbereit und funktionstüchtig?

* Die Öffnung nach links kann ein ungewolltes Aufschrauben durch das vorbeilaufende Seil beim Aufstieg verhindern.

Der ABS-Check (Anker, Bremse, Stop)

Kann helfen, gefährliche Fehler durch Routine, Gedankenlosigkeit und Unaufmerksamkeit (den sogenannten *Blackouts*) zu verhindern. Dieser Check wird nicht wie der Partnercheck gegenseitig, sondern von jeder Person selbst durchgeführt und zwar zu Beginn eines jeden Abseilvorganges. Also auch z.B. nach Passieren einer Umstiegstelle. Folgende Punkte werden beim ABS-Check jedes Mal und **möglichst bewusst** kontrolliert:

ANKER: Wie ist der Zustand der Verankerung meines Seiles?

- Ist der Anker selbst in gutem Zustand (Alter, Sitz, Rost etc.)?
- Ist die Schraube der Lasche festgeschraubt oder schon gelockert?
- Ist der / sind die Karabiner zugeschraubt (mit der Öffnung nach unten und vom Fels weg)?
- Sind die Knoten korrekt?
- Stimmt die Rückversicherung des Seiles (im Falle eines Versagens des Ankers)?

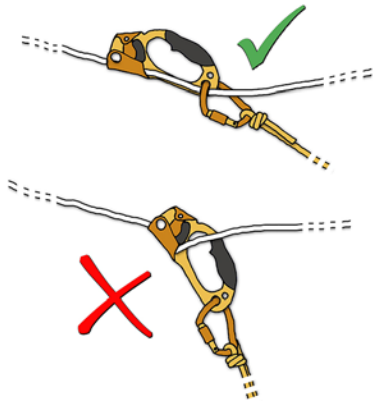
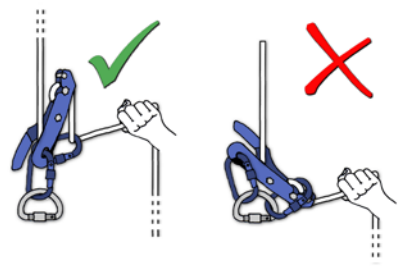
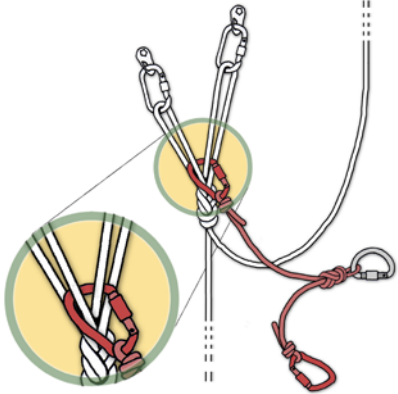
BREMSE: Ist meine Abseilvorrichtung/Seilbremse in Ordnung?

- Liegt das Seil korrekt im Abseilgerät?
- Liegt das richtige Seil im Abseilgerät?
- Ist der Karabiner bzw. das Schraubglied zwischen Abseilgerät und zentralem Schraubglied zugeschraubt?
- Ist das zentrale Schraubglied zugeschraubt?

STOP: Befindet sich unter mir eine sichere „Auffanglinie“?

- Befindet sich ein Knoten im Seilende?
- Reicht das Seilende bis zum Boden oder ist das „Ende“ eine Umstiegstelle?

Quelle: *ABS-Check gegen Blackouts beim Abseilen.* In: Berg und Steigen 3/06, Österreichischer Alpenverein

<p>Sichern mit Handsteigklemme</p> 	<p>Bremskarabiner</p> 	<p>Sichern an doppelten Verankerungen</p> 
<p>Wird zur Sicherung die Handsteigklemme verwendet (z.B. bei Zustiegen mit starkem Gefälle oder bei Quergängen), muss das Seil auch in den Karabiner der Handsteigklemme eingehängt werden (obere Darstellung), damit sich im Falle eines Sturzes die Klemme nicht im Seil verdreht!</p>	<p>Wird ein normaler Karabiner als Bremskarabiner verwendet (kein <i>Freino</i> oder <i>Handy</i>), ist dieser im Karabiner des Abseilgerätes einzuhängen und nicht im zentralen Schraublied, um ein Einfädeln des Abseilgerätes darin (und dadurch Ausschalten der Bremsfunktion) auszuschließen.</p> <p>(Siehe Gebrauchsanweisung).</p>	<p>Bei doppelten Verankerungen (z.B. Rettersitzknoten) muss die Selbstsicherung immer durch beide Seilschlaufen des Knotens eingehängt werden!</p> <p>Bei Versagen eines Ankers entsteht so keine zusätzliche Sturzbelastung auf den verbleibenden Anker.</p>

Hinweise zum kraftsparenden und effizienten Schachtaufstieg:

- Die Arbeit beim Aufsteigen soll hauptsächlich **von den Beinen** und möglichst wenig von den Armen geleistet werden, denn diese ermüden weitaus schneller. Dies wird durch eine möglichst senkrechte Haltung während der Hubbewegung erreicht (Brustgurt eng ziehen).
- Die **Handsteigklemme** sollte nur so weit nach oben geschoben werden, bis das Knie des Beines in der Steigschlinge maximal **auf Hüfthöhe** ist. Aus dieser Position steht die meiste Kraft für das Aufstehen zur Verfügung. Die Handsteigklemme höher zu schieben bringt zwar mehr Hub, ermüdet dafür aber rascher. Die Beine sollen beim Aufstehen eher nach hinten, direkt unter den Schwerpunkt des Körpers drücken.
- Rutscht das Seil zu Beginn des Aufstiegs nicht ordentlich durch die Bruststeigklemme, kann es entweder vor jedem Hub **zwischen den Füßen eingeklemmt**, oder von einer Person am Schachtgrund **unter Zug gehalten** werden. Nach einigen Metern Aufstieg hat das Seil unter einem meist genug Gewicht, um keine derartigen Probleme mehr zu machen. Tut es dies dennoch, ist meist das Schachtzeug falsch eingestellt, oder die Körperhaltung falsch.
- Solange das Seil völlig frei hängt, ist es am kraftsparendsten, **mit beiden Beinen zu steigen**. Bei Felskontakt ist es günstiger, mit nur einem Fuß in der Steigschlinge zu stehen und mit dem anderen **am Fels mitzusteigen**.
- Die **Einstellung des Schachtzeuges** spielt eine große Rolle beim effizienten Steigen: Der Sitzgurt und sein Abstand zur Bruststeigklemme, sowie der Brustgurt und die Länge der Steigschlinge müssen richtig angepasst werden. Tothub durch Auf- und Abwärtsrutschen der Bruststeigklemme, ein zu schräges Hängen im Seil und eine zu kurze oder zu lange Steigschlinge erfordert sehr viel zusätzlichen Kraftaufwand. Wichtig ist, dass der Sitzgurt gut passt und der Brustgurt fest angezogen ist (ev. nochmals nachziehen, wenn man im Seil hängt). Bei der Höhe der

Bruststeigklemme über dem Sitzgurt muss ein Kompromiss zwischen hohem Anschlagpunkt (=> aufrechter Lage, wenig Kraftaufwand in den Händen) und Steighub (je tiefer die Bruststeigklemme liegt, desto größer) gefunden werden. Es ist nicht immer sinnvoll, alles daran zu setzen, den maximal möglichen Steighub zu erreichen, da der Gewinn an Steiggeschwindigkeit mit höherem Kraftaufwand bezahlt werden muss. Ein Bergwanderer versucht auch nicht, ständig Riesenschritte zu machen. Der richtige Kompromiss lässt sich im Laufe der Zeit finden. Eine zusätzliche Fußsteigklemme hilft, das Seil durch die Bruststeigklemme zu befördern und reduziert den Tothub erheblich (siehe Kapitel "Steigklemmen").

- Steigschlingen aus gewöhnlicher Reepschnur weisen erhebliche Dehnung auf, daher ist eine dehnungsarme Dyneemaschnur oder Bandmaterial vorzuziehen (allerdings nur für die Steigschlinge und nicht für das Sicherungsseil).
- Beim Aufsteigen gilt es einen Rhythmus zu finden, der die Schwingungen des Seiles bestmöglich ausnützt. Dies bedingt, das zu Beginn eher langsamer und weiter oben dann etwas schneller aufgestiegen wird.

Warnhinweis *Klammerreflex* beim Petzl Stop

Bei allen Vorteilen des Petzl Stop mit seiner Autoblockierfunktion, birgt dessen Verwendung doch eine besondere Gefahrenquelle, die **unbedingt beachtet** werden muss: das Gerät schützt nicht vor dem **Klammerreflex**. Dieser ist ein evolutionär vererbter und dadurch tief verankerter Reflex, der bei einem plötzlichen Absinken des Körpers (z.B. Ausrutschen) ein festes Zugreifen der Hände auslöst. Umfasst eine Hand gerade den Bremshebel, so wird dieser ganz durchgedrückt und damit die Blockierfunktion aufgehoben. Der Klammerreflex kann nicht bewusst verhindert und auch durch Training nicht „verlernt“ werden.

Der einzige Schutz davor besteht darin, **die Bremshand während dem Abseilen nie vom Seil zu nehmen!**

Haftungsausschluss

Der Verband Österreichischer Höhlenforscher (VÖH), sowie die AutorInnen der Speläomerkblätter übernehmen keinerlei Gewähr für die Aktualität, Korrektheit oder Vollständigkeit der Informationen in den Speläomerkblättern. Haftungsansprüche gegen den VÖH und/oder gegen die AutorInnen der Speläomerkblätter, die sich auf Schäden wirtschaftlicher, körperlicher oder ideeller Art beziehen, welche durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen bzw. durch die Nutzung fehlerhafter und unvollständiger Informationen verursacht wurden, sind grundsätzlich ausgeschlossen.

Hinweise zu den Abbildungen

Alle Abbildungen in diesem Merkblatt sind aus **Eigenperspektive** dargestellt, also so wie du die Ausrüstung an dir selbst sehen würdest. Auf manchen Abbildungen wurde **ein Ausrüstungsteil aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen** (z.B. das Abseilgerät bei den Abbildungen zum Aufsteigen), dies bedeutet natürlich **nicht**, dass dieses Teil vom Maillon ausgehängt werden soll! Manche Ausrüstungsteile werden zur besseren Übersichtlichkeit **auf keinen Abbildungen dargestellt**, z.B. die Steigschlinge der Handsteigklemme oder der Brustgurt der Bruststeigklemme, auch diese Teile müssen am Schachtzeug natürlich vorhanden sein!

Alle Abbildungen in diesem Merkblatt wurden vom Autor selbst erstellt (2013).

Anregungen, Kritik, Vorschläge und andere Hinweise zu diesem Merkblatt sind erwünscht und werden vom Autor gerne unter schulung@hoehle.org entgegen genommen!

Literaturverzeichnis

Alpine Caving Techniques	Marbach, G. & Tourte, B. (2002): Speleo Projects
Caving Technical Guide	École Francaise de Spéléologie (2013): efs.ffspeleo.fr
Petzl	(2013) www.petzl.com
Sicherheit und Risiko in Fels und Eis	(Band I – III) Schubert, Pit (2006,2008): Bergverlag Rother
The Complete Caving Manual	Sparrow, Andy (2009): Crowood Press
The Complete Guide to Rope Techniques	Shepherd, Nigel (2001): Constable – London

Dank

Die Vorgängerversion (2007) dieses Merkblattes wurde von Margit Decker und Dieter Sulzbacher erstellt. Die aktuelle Version baut auf dieser auf und hat teilweise Inhalte daraus übernommen.

Danke für die vielen Hinweise, Korrekturen und Tipps von Margit Decker, Andreas Glitzner, Eckart Herrmann, Christa Markom, Lukas Plan, Thomas Resch, Dieter Sulzbacher und allen anderen kritischen HöhlenforscherInnen!



Im *Fledermausschacht* am Tonion, Steiermark. Foto: Lukas Plan

Schließen

Die Überwindung von Engstellen ist eine befahrungstechnische Schwierigkeit, bei der uns Ausrüstung und Material wenig helfen. Viele Höhlen sind aber so gebaut, daß man nur durch Engstellen in weitere, große Fortsetzungen gelangt. Entgegen der landläufigen Meinung ist Schließen nur selten ein körperliches, sondern in erster Linie ein psychisches Problem. Die körperlichen Grenzen liegen zumeist bei viel engeren Gangprofilen (bei durchschnittlich gebauten Personen bei etwa 40 x 25 cm!), auch verhindern dicke Bekleidung, angelegte Gurten und selbst ein Bierbauch nur selten das Durchkommen. Wer durch Engstellen in bereits erforschte oder noch unbekannte Höhlenteile vordringen möchte, sollte aber beachten:

- bergab ist es viel einfacher als bergauf
- außer bei bergab führendem Neuland immer Kopf voran schließen, ansonsten könnten Körperteile aufgrund hängenbleibender Bekleidung Schaden nehmen
- Hektik vermeiden und den Körper nie verspannen – dann steckt man! Alle Körperteile, die für eine bestimmte Bewegung nicht erforderlich sind, bewußt entspannen
- normalerweise ist es am günstigsten, den jeweils unteren Arm nach vorne (in Befahrungsrichtung) auszustrecken und den oberen Arm am Körper anzulegen
- klemmt der Brustkorb, bewußt mit dem Bauch atmen
- offenes Licht kann in Schlüfen gefährlich werden
- An Biegungen immer so drehen, daß die Oberschenkel als längster starrer Körperteil übrig bleiben
- Kameradenunterstützung ist durch ein Halteseil, Handzug, Gewähren des Fußes als Haltepunkt oder Drücken gegen wegrutschende Füße möglich
- V-förmige Schlüfe erfordern permanenten Kraftaufwand – es besteht also hier wirklich die Gefahr dass man stecken bleibt, wenn einen die Kraft verlässt

Schwierigkeitsskala für Engstellen

In einigen Bundesländern hat sich die von Michael Häusler 1985 (ursprünglich zu humoristischen Zwecken) vorgeschlagene Schlufschwierigkeitsbewertung durchgesetzt und in Raumbeschreibungen und auf Plänen durchaus bewährt (auch wenn die Schwierigkeit je nach Körperbau von Person zu Person schwanken kann):

Schwierigkeitsgrad I: Bückstelle

Stellenweise Niederknien oder seitliches Durchgehen.
 Kein Kontakt mit dem Fels. Schleifsack wird getragen.



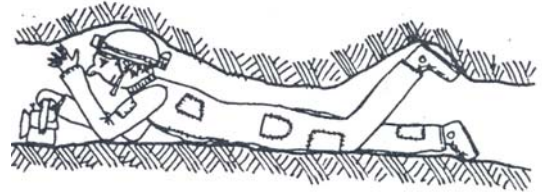
Schwierigkeitsgrad II: Krabbelstelle

Krabbeln auf Händen und Knien, Schleifsack wird nachgezogen, kaum Felskontakt.



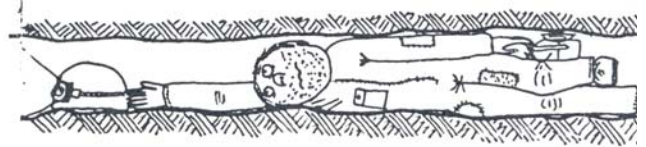
Schwierigkeitsgrad III: Kriechstrecke

Kriechen auf Ellenbogen und Bauch, Beine ausgestreckt nachgezogen oder seitlich angewinkelt. Wenig Felskontakt mit Rücken und Schultern.



Schwierigkeitsgrad IV: eng

Strecke wird auf Bauch und Brust rutschend bewältigt. Felskontakt mit Teilen des Körperquerschnittes. Kein Ausatmen nötig.



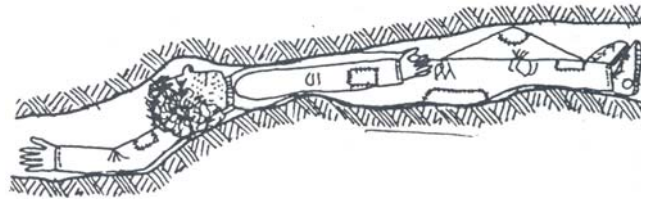
Schwierigkeitsgrad V: sehr eng

Gesamter Körperquerschnitt hat Felskontakt, Armhaltung und Lage im Schluf sind wichtig. Teilweises Ausatmen nötig. Helm wird hinderlich, Körperbeherrschung und Geschicklichkeit erforderlich.



Schwierigkeitsgrad VI: äußerst eng

Nur unter vollem Ausatmen und extremen Kraftaufwand möglich, mit Helm meist unmöglich, oft mehrere Versuche nötig, trainierten und erfahrenen Schliefern vobehalten.



Schwierigkeitsgrad VII: extrem eng

Zusätzlich intensive Konzentration und psychische Beschäftigung mit dem Schlufproblem nötig. Teilweise nur mit Kameradenhilfe und unter Verletzungsrisiko befahrbar.

Literatur

Häusler, M. (1985): Schwierigkeitsbewertung von Schlüfen. – Höhlenkundliche Mitteilungen, Wien, 41 (10): 183-186

Häusler, M. (1985): Schließen. Problemloses Überwinden von Engstellen in Höhlen vom ersten Grad bis zum Sportschließen. – 32 Seiten, erhältlich im Nachdruck über den Lv f. Hk i. Wien & NÖ.

Biwakieren in Höhlen

Die expeditionsmäßige Höhlenforschung gerät in neue Dimensionen, wenn ein Forschungsziel einen oder mehrere unterirdische Tagesmärsche von der Oberfläche entfernt liegt. In diesem Fall wird es notwendig, Biwak(s) einzurichten. Bei längeren Talanstiegen wird auch gelegentlich im Eingangsbereich von Höhlen biwakiert. Ob Biwaks aus reiner Abenteuerlust, ohne zwingende Gründe ökologisch vertretbar sind, soll im Kapitel Höhlenschutz erörtert werden.

Grundsätzliches

Mehrtägige Höhlenaufenthalte werfen spezielle **Sicherheitsaspekte** auf: Passiert ein Unfall, ist es bei größeren Distanzen zur Oberfläche oft problematisch bis unmöglich, Hilfskräfte zu informieren. Hilfsmaßnahmen laufen daher in der Regel erst Stunden nach der beabsichtigten Rückkehr, also im Extremfall mit tagelanger Verspätung an. Fundierte Kenntnisse in Kameradenrettung und das Mitführen entsprechenden Materials sind daher unerlässlich! - Die früher übliche Einrichtung von Nachrichtenverbindungen (Telefonleitung) zu Biwakplätzen hat sich aufgrund des großen Aufwands und der Störanfälligkeit nicht sehr bewährt.

Bei einmaligen Vorstößen in entlegene Höhlenteile, etwa tiefe Schachtzonen, die sich nicht in einem Tag bewältigen lassen, wird man meist mit einem **Notbiwak** das Auslangen finden und die Ausrüstung entsprechend reduzieren. **Fixe Biwaks** richtet man sinnvollerweise in größeren Höhlensystemen ein, wo sie für mehrere Expeditionen als Forschungsstützpunkt dienen.

Der Biwakplatz

Für die Auswahl eines geeigneten Biwakplatzes sind neben der "strategisch" günstigen Lage natürlich Kriterien wie **Bodenbeschaffenheit** (ideal: Sand), **Trockenheit** und **Wetterführung** entscheidend. Besonders letztere kann - beim Aufbau kaum verspürt - zum "Schlafraubfaktor" werden. - Wichtig ist das Vorhandensein von **Trinkwasser** in Biwaknähe. Denken sollte man auch an "gewisse Geschäfte", deren Verrichtung möglichst ohne vorherigen Hindernis-Parcours gewährleistet sein sollte. - Der Autor erinnert sich übrigens auch an ein Biwak, bei dem sich unerwarteterweise ausgerechnet der zuvor dafür gewählte Ort als Schlüssel zu neuen Fortsetzungen entpuppte...



Raucherkarhöhle/Stmk. – Unterwelt-Biwak
 Fotos: G. Knobloch



Feuertalsystem / OÖ - Biwak b. Vorstoß in die „Sahara“

Ausrüstung:

Folgende Liste von Einrichtungsgegenständen stellt eine Art Maximal-Standard dar, der bei verringertem Komfortbedürfnis natürlich nach Bedarf reduziert werden kann:

- **Plastikplanen** als Unterlage und gegen Tropfwasser
- **Unterlagsmatte** Schaumstoffmatte oder "selbstaufblasende" Matte (wegen mangelnder Isolierung eher keine Luftmatratze!)
- **Hängematte** plus **Befestigungsmaterial** benötigt man, wenn der erwünschte Untergrund nicht zur Verfügung steht
- **guter Schlafsack** (no, na) – Manche schwören auf Daune andere auf Hohlfaser. Erstere ist leichter und hat das kleiner Packmaß, ist aber teurer und empfindlich gegen Feuchtigkeit
- **Wasserdichte Plastik-Container** bewähren sich besonders in Fix-Biwaks, insbesondere wenn sie gleichzeitig als *Hocker* verwendet werden können. Sie dienen der Aufbewahrung von Schlafsäcken und Kleidung - ein Säckchen "Silca-Gel" dazu schadet sicher nicht.
- **Campingtisch** aus Alu-Sprossen (im besseren Fachhandel und fallweise beim "Hofer") lässt sich sogar im Schleifsack verstauen, fällt aber unter "Luxus" – meist erfüllt diese Funktion ein geeigneter Steinblock
- **Kocher:** da geht nichts über einen Benziner (guter alter "Phoebus" oder z.B. MSR). Zur Not tut's auch ein Gaskocher. Puristen (wie der Autor) schwören allerdings auf "Espit" (hat die Größe einer Zigarettenschachtel, erzeugt aber giftige Dämpfe!). Ausreichend **Brennmittel** nicht vergessen!
- **Taschenöfen** mit Kohlestäben (die Benziner gehen recht schnell kaputt) sind kein Markenzeichen von "Weicheiern" sondern schlicht und einfach empfehlenswert, so man nicht gerade in tropischen Höhlen biwakiert.
- **Kerzen** bewähren sich sehr zur Ausleuchtung gewisser Wege und Örtlichkeiten (siehe oben)
- **Verpflegung:** ob gefriergetrocknet oder Ham and Eggs (letztere haben wirklich schon den Weg in Biwaks gefunden!) - das muss jeder für sich entscheiden. - Nicht vergessen: Utensilien zum Sammeln von Tropfwasser (falls keine ordentliche Wasserstelle in Biwak-Nähe)!
- **Kleidung:** Merke: es gibt kein Biwak, wo dich nicht irgendwann einmal ordentlich friert (gilt natürlich für unsere Breiten). Also: beim Gewand nicht sparen! - Unbezahlbar (und trotzdem oft vergessen): Nachthäubchen!
- **Hausverstand** ist wohl das wichtigste "Utensil" bei der Zusammenstellung der - für den geplanten Einsatz - ideal abgestimmten Ausrüstung.

Nach dem Biwak:

...bleiben die Spuren desselben leider meist als Denkmal für die heroischen Taten seiner Benutzer vor Ort zurück. Da aber inzwischen (hoffentlich) niemand mehr an der Richtigkeit des modernen Höhlenschutz-Gedankens zweifelt, könnte der Ruhm in diesem Fall ein zweifelhafter sein.

Also: Nehmt's euren Dreck wieder mit nach draußen - und zwar ohne wenn und aber!

Planung von Höhlentouren

Rechtzeitige und sorgfältige Planung ist das Um und Auf einer erfolgreichen Tour, daher hier ein paar Worte zur Tourenplanung.

Vor der Tour

Ein Großteil der Planung spielt sich natürlich vor der Tour ab – es ist sinnvoll, sich rechtzeitig vorher (je nach Höhle: Tage bis ev. Monate) Gedanken über ein paar Punkte zu machen:

1. Informationen beschaffen

Zunächst einmal ist zu klären:

Darf man überhaupt? Stichwort: Genehmigung des Grundeigentümers, Besonders Geschützte Höhle (siehe Abbildung)! Je nach Bundesland gelten andere Bestimmungen. Für manche Höhlen gibt es auch ein spezielles Befahrungsverbot für die Wintermonate.

Ist die Höhle versperrt bzw. wo besorgt man sich den Schlüssel?

Wie sieht's dort drinnen aus? Antwort liefern Raumbeschreibungen, Höhlenpläne oder Kenner der Höhle.

Welche Gefahren (Steinschlag, Wasser etc.) drohen? Man bedenke auch, dass der Schwierigkeitsgrad und die Länge der geplanten Höhlentour dem schwächsten Mitglied der Gruppe angepasst sein muss! Problematisch können sein: Schwierig zu befahrende Schächte und Canyons, Engstellen, Wasser führende Höhlenteile,...

Welches Material braucht man? Gibt es Einbauten, und wenn ja wie alt / in welchem Zustand sind diese?

Wie sieht der Zustieg zur Höhle aus? In welchem Gelände liegt die Höhle, wie leicht / schwierig ist sie zu finden? Gibt es GPS-Koordinaten oder ist die Höhle sogar auf einer Karte eingezeichnet? Welche Ausrüstung braucht man für den Zustieg? Gibt es Gefahren beim Zustieg (Lawinen, Steinschlag...)?

Information liefern mir: Erfahrene Höhlenforscher, Höhlenvereine. Pläne und Raumbeschreibungen findet man im Höhlenkataster des jeweils zuständigen Vereins, in Katasterbüchern oder / und in höhlenkundlichen Publikationen (Vereinsmitteilungen, Die Höhle, etc.)

2. Material beschaffen

Man ist sich nun darüber im Klaren, dass die Höhle befahren werden darf und kann, jetzt fehlt noch die nötige Ausrüstung. Einbaumaterial (Seile, Verankerungen etc.) kann teilweise bei örtlichen Höhlenvereinen ausgeliehen werden. Genügend Reserven mitnehmen!

Ein paar Tage vor der Tour:

3. Wetterbericht beachten!

Je nach Lage der Höhle spielt natürlich das Wetter eine mehr oder weniger große Rolle für den reibungslosen Ablauf der Tour. Man bedenke, dass auch der gefahrlose Zu- und Abstieg meist vom Wetter abhängig ist.

Besondere Vorsicht ist geboten bei **hochalpinen Schächten**, hier ist die Gefahr eines überraschenden Wassereinbruches nach Gewittern gegeben, dies gilt ebenso für **talnahe Quellhöhlen**. Das betrifft insbesondere Siphone, die sich rasch mit Wasser füllen und somit den Rückweg versperren können. Aber es muss gar nicht so schlimm kommen – es ist schon frustrierend genug, wenn man gar nicht erst in die Höhle kann, weil durch den normalerweise nur feuchten Canyon auf einmal ein knietiefer Bach rauscht...



Betretungsverbotstafel, Höhlenschutzbelehrung und Kennzeichnung einer Besonders Geschützten Höhle (Trockenes Loch, NÖ)

Wintertouren haben hier den Vorteil, dass die Höhlen meist weniger Wasser führen, allerdings ist der Zustieg zu dieser Jahreszeit oft anspruchsvoller (Schneelage und insbesondere Lawinengefahr). Auch sind viele Höhleneingänge mit Schnee verschlossen, außerdem werden viele Höhlen von Fledermäusen als Winterquartier genutzt und sollten deshalb im Winter nicht befahren werden.

Im Frühjahr kann die Schneeschmelze zu unerwarteten Wassermengen führen, im Sommer sind vor allem im Hochgebirge Gewitter oft problematisch und schlecht vorhersagbar. Wie man sieht, können die besten Bedingungen in unseren Breiten während Schönwetterperioden im Herbst gegeben sein.



Wasseraktive Höhle (Saubachhöhle, NÖ).

Wenn möglich sollte man sich vor der Tour ein Alternativprogramm für den Schlechtwetterfall zurecht legen. So kann unter Umständen vermieden werden, dass manche Teilnehmer die Tour auch bei widrigsten Verhältnissen „durchziehen“ wollen.

4. Packen

Was man alles mit dabei haben sollte: Rucksack für den Zustieg, Schleifsack (bei kleineren Touren reicht einer für 2-3 Personen), mindestens 2 voneinander unabhängige Lichtquellen (z.B. Karbidlampe und elektrische Beleuchtung), evtl. Reservebatterien und –karbid, Schlaz, Helm, Schleifsackapotheke (insbes. Verbandszeug und Alu-Rettungsdecke), Proviant und Getränk, genug Wechselgewand (auch für den Zu- und Abstieg), evtl. Schachtausrüstung, Höhlenplan.

Für den Zustieg: Orientierungshilfsmittel (Karten, GPS-Empfänger...), zusätzliche (Alpin)Ausrüstung (Regenbekleidung, Biwaksack, Tourenski, Schneeschuhe, ...)

Bevor's nun wirklich losgeht, ein bisschen was zur:

5. Sicherheit

Die Gruppengröße sollte optimalerweise 3-4 Personen betragen. Falls eine Person verunfallt, können dann immer noch 1-2 Personen die Höhle verlassen, ohne den Verletzten alleine zurücklassen zu müssen.

Alarmzeit bekannt geben: Nicht zu großzügig, aber auch nicht zu knapp. Großzügige Alarmzeiten haben den Vorteil, dass man nicht in Stress gerät, wenn man wider Erwarten etwas länger in der Höhle bleiben möchte oder kleinere Probleme zu Zeitverzögerungen führen. Sie haben aber auch den Nachteil, dass man im Notfall umso länger auf das Eintreffen der Höhlenrettung warten muss, wenn die Alarmierung nicht von den in der Höhle befindlichen Personen durchgeführt werden kann. Ein Richtwert für die Alarmzeit wäre ca. 3 Stunden mehr als die späteste geplante Rückkehrzeit.

Die Alarmzeit muss bei einer verlässlichen Person, die sich außerhalb der Höhle befindet, hinterlegt werden, benötigte Informationen sind: Name der Höhle, Katasternummer (wegen Eindeutigkeit!), bei größeren Höhlen: Höhlenteil, Alarmzeit (mit Datum, um bereits mehrmals vorgekommenen Missverständnissen vorzubeugen), Anzahl und Namen der Teilnehmer, Telefonnummer der Höhlenrettung (Bundesnotrufnummer: 02622/ 144, oder Notrufplan).

Während der Tour

1. Pausen

Genug einkalkulieren! Sinnvoll ist es, in der Mitte der Tour eine größere Pause (zum Jausnen, Karbid wechseln etc.) einzuplanen. Der Pausenplatz sollte trocken und sicher (vor Steinschlag etc.) sein, beim Rasten nicht direkt auf den Höhlenboden sondern auf Schleifsack, Seil und dergleichen. setzen.

2. Orientierung

Ist nicht ganz einfach, aber wozu gibt es Hilfsmittel? Es erweist sich als sinnvoll, den **Höhlenplan** bei der Hand zu haben (z.B. in der Brusttasche des Schlazes), evtl. in einer Klarsichthülle um starker Verschmutzung vorzubeugen, und auch regelmäßig einen Blick darauf zu werfen um den Wegverlauf nachzuvollziehen. Nicht nur bei markanten Kreuzungen ist es sinnvoll, auch einen **Blick retour** zu machen, damit man sich einprägt, wie der richtige Weg beim Rückweg verläuft.

Achtung in großen Hallen, es ist mitunter schwierig, den Ein- bzw. Ausgang zu lokalisieren, da die Reichweite der Lampen oft nicht ausreicht. In großen, unübersichtlichen Hallen oder Gängen besteht außerdem die Gefahr, beim Suchen des Weiterweges im Kreis zu laufen. Zur Not können Steinmännchen aufgestellt und nachher wieder abgebaut werden. Bleibende Markierungen (Kreide, Lack und „Ariadnefäden“) sind aus Höhlenschutzgründen unbedingt zu unterlassen.

Generell ist es wichtig, dass alle Teilnehmer selbständig wieder aus der Höhle finden können. Wenn nur einer den Rückweg kennt und dieser verunfallt, können die anderen sonst keine Hilfe holen. Die Gefahr besteht vor allem dann, wenn einer den Weg kennt und ihm die anderen nur folgen, ohne sich Zeit für die Orientierung zu nehmen!



Planstudium (Trockenes Loch, NÖ).

3. Umkehrpunkt

Ganz wichtig: Rechtzeitig umkehren, also noch bevor jemand ernsthaft konditionelle Probleme bekommt. Vor allem bei Schachthöhlen ist der Aufstieg wesentlich anstrengender als der Abstieg. Generell muss das Tempo und die Länge der Tour dem Schwächsten angepasst werden. Es ist auch zu bedenken, dass der Rückweg oft länger dauert als der Hinweg, bedingt durch Müdigkeit der Teilnehmer, eventuelle Orientierungsprobleme und Aufstiege.

4. Ende der Tour

Zum Teil haben tragische Unfälle gezeigt, dass am Ende der Tour erhöhte Unfallgefahr besteht, da die Anspannung vorbei ist und die Konzentration nachlässt. Auch nahe dem Eingang und natürlich beim Abstieg können noch erhebliche Gefahren gegeben sein (Abstürzen, Rückweg bei Dunkelheit etc.). Erst „abschalten“ wenn absolut keine Gefahr mehr besteht.

Nach der Tour

Die Tour ist vorbei, alles hat geklappt und alle sind wieder gut draußen und voller Tatendrang für die nächste Höhlenbefahrung, aber ein paar Dinge müssen noch erledigt werden:

Zuerst einmal die Alarmzeit abmelden! Erst dann darf man müde das nächste Wirtshaus aufsuchen...

Wird die Heimreise gleich nach der Tour mit dem Auto angetreten, kann durch die Müdigkeit erhebliche Unfallgefahr (Sekundenschlaf) bestehen. Besser ist es, sich auszuschlafen und erst danach heimzufahren – es hat schon mehrere gravierende Autounfälle nach Höhlentouren gegeben!

Material (Leihmaterial) reinigen (und retournieren). Gegebenenfalls den Schlüssel retournieren.

Evtl. eine Fahrtenmeldung oder einen Fahrtenbericht schreiben (der örtliche Höhlenverein wird es danken).

Umweltschonende Höhlenbefahrung

Die Höhle mit ihrem Inhalt und ihren Lebewesen ist ein sehr verletzlich Gebilde, das empfindlich auf jede Veränderung reagiert und sich innerhalb menschlicher Zeitmaßstäbe praktisch nicht erneuert. Ein abgebrochener Tropfstein etwa ist unwiederbringlich verloren, selbst die Berührung kann das weitere Wachstum unterbrechen oder Spuren hinterlassen. Daher lautet die Devise für jede Höhlenbefahrung:

Nimm nichts mit außer Fotos
Lass nichts zurück außer Fußspuren
Schlag nichts tot außer Zeit

Take nothing but pictures
Leave nothing but footprints
kill nothing but time

Nimm nichts mit

- Die Mitnahme von Souvenirs ist tabu; auch Sinterbruchstücke im Bodenschutt prägen das Erscheinungsbild einer Höhle und können von wissenschaftlichem Wert sein.
- Vieles, was in der Begeisterung vor Ort eingesteckt wird, ist zu Hause unattraktiv und wertlos. Mach andere Teilnehmer der Höhlentour darauf aufmerksam.
- Wenn pro Jahr nur 50 Personen eine Höhle besuchen und jeder nimmt sich nur ein Sinterbruchstück mit, dann sind in nur 100 Jahren 5000 „schöne“ (mitnahmewürdige) Höhleninhalte entnommen: vom Schmuck der Höhle ist nichts mehr übrig.
- Proben für wissenschaftliche Zwecke sollten nur in Kooperation mit Fachleuten entnommen werden und wenn deren wissenschaftliche Auswertung auch gesichert ist.

Lass nichts zurück

Alles, was in die Höhle hineingeschafft wird, muss auch wieder heraus! Nimm dafür ausreichende Säcke und Behälter mit.

- Die gesamte Ausrüstung – auch jene, die kaputtgegangen ist
- Altkarbid und Altbatterien
- Fäkalien
- Alle sonstigen Abfälle wie Verpackungen und Essensreste

Auch nachfolgende Höhlenbesucher wollen die Höhle möglichst im Urzustand erleben, daher:

- Keine Markierungspfeile hinterlassen, zur Orientierung gibt es Höhlenpläne und Beschreibungen.
- Vermessungspunkte dezent markieren.
- Keine Inschriften und Graffitis an den Wänden hinterlassen – dafür eignet sich ein Höhlenbuch besser.
- Auch Steinmänner sind unnötig – es gibt vielbesuchte Höhlen, wo man den richtigen Weg vor lauter Steinmännern nicht mehr findet, weil jeder herumirrende Besucher seine eigenen Steinmänner aufgestellt hat. In ausgedehnten Höhlen mit vielen Zielen helfen sie ohnehin nicht weiter.
- Nicht unnötig den Höhlenboden zertrampeln. Eine Spur genügt: In großräumigen Höhlenteilen wird ein ausgetretener Pfad eingehalten – Höhlensedimente sind wissenschaftlich von besonderem Interesse und deshalb schützenswert. Jede zusätzliche Spur bildet nicht nur ein unschönes Mal, sondern verleitet nachfolgende Besucher ebenfalls zu Fehlritten. In manchen besonders schönen Höhlen hat es sich eingebürgert, vor dem Betreten von sintergeschmückten Räumen die Stiefel und schmutzigen Overalls abzulegen.

Schlag nichts tot

- Kein Lagerfeuer im Höhleneingang, keine Fackeln in der Höhle.
- Vorsicht mit der Flamme deiner Karbidlampe, nach Möglichkeit Karbid- durch LED-Lampen ersetzen.
- Im Winter Verzicht auf den Besuch von Fledermausquartieren (➔ siehe Merkblätter C61, C62).
- Keine Verunreinigung von Höhlenbächen.
- Vor allem in den Eingangsteilen von Höhlen ist Vorsicht geboten, denn hier leben besonders viele Tier- und Pflanzenarten auf engstem Raum.

Abfallbelastung in der Höhle problematischer als an der Oberfläche

In Karstgebieten wird das Wasser – wenn überhaupt – nur durch die Bodendecke an der Oberfläche gefiltert. Alles, was in der Höhle ins Wasser geschüttet wird, gefährdet empfindliche Lebewesen und kann das Trinkwasser anderer verschmutzen. Essensreste bilden den Nährboden für Schimmelpilze.

Wie funktioniert die Ver- und Entsorgung während der Höhlentour?

Proviand wird am besten in wasserdicht verschließbaren Beuteln oder Weithals-Plastiktonnen verstaut. Diese Tonnen werden in einer Größe gewählt, mit der sie in einen Schleifsack passen, und werden zusammen mit dem gesamten Gruppenmaterial auf die mitgeführten Schleifsäcke aufgeteilt. Im Lauf der Höhlentour werden schrittweise die Vorräte entnommen und der Abfall darin verstaut.

Die Notdurft sollte vor der Tour erledigt werden. Dauert die Tour lange, dient eine Tonne (mit Plastiksack innen) als Abort und Altkarbidbehälter und wird wieder aus der Höhle hinausgetragen. Als Urinflasche eignet sich eine leere PET-Flasche.

Müdigkeit und Erschöpfung – die Basis der Nachlässigkeit:

Leider zeigt sich immer wieder, dass bei Müdigkeit und schwerem Gepäck alle guten Vorsätze verloren gehen: man achtet nicht mehr auf die zarten Sintergebilde an der Decke, man „verzichtet“ auf die Mitnahme von Altkarbid oder redet sich ein, dass man das umfangreiche Befahrungsmaterial wohl bei der nächsten Tour an die Oberfläche zurücktragen wird.

Daher soll die Tourenplanung so erfolgen, dass die Gruppe noch fit und bei Laune ist, wenn man an die Oberfläche zurückkehrt.

Behelfsmäßige Befahrungsmethoden

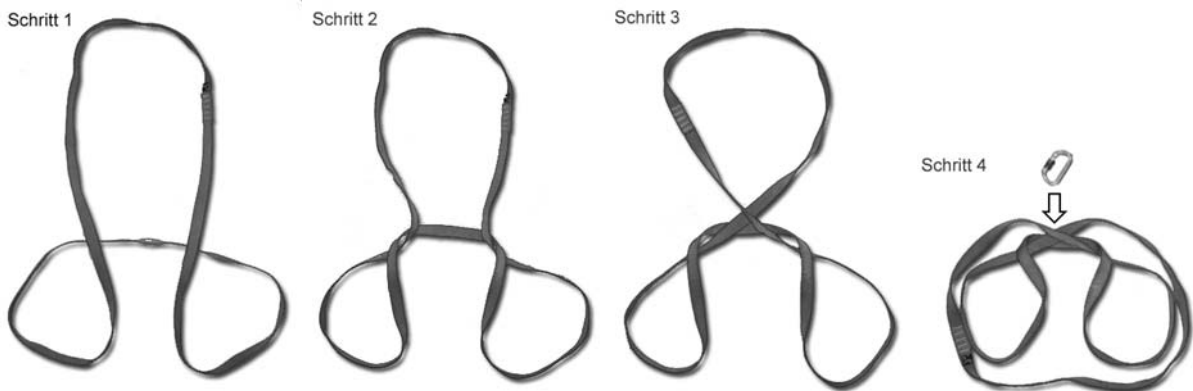
Höhlenforscher diskutieren viel und gern über die Vorzüge gewisser Abseilgeräte, verwenden viel Zeit um ihr Schachtzeug zu optimieren und ihre Technik zu verfeinern. Doch was geschieht, wenn einmal eine Klemme bricht oder das Abseilgerät im falschen, nämlich weit entfernten Schleifsack verstaут ist oder gar beim Umhängen in einen bodenlosen Spalt verschwindet? Jeder Höhlenforscher kann sich plötzlich mit einer Situation konfrontiert sehen, in der Improvisation gefragt ist. Im Folgenden sollen einige hierfür sehr brauchbare Techniken und Tricks erläutert werden.

Behelfsmäßiges Gurtzeug

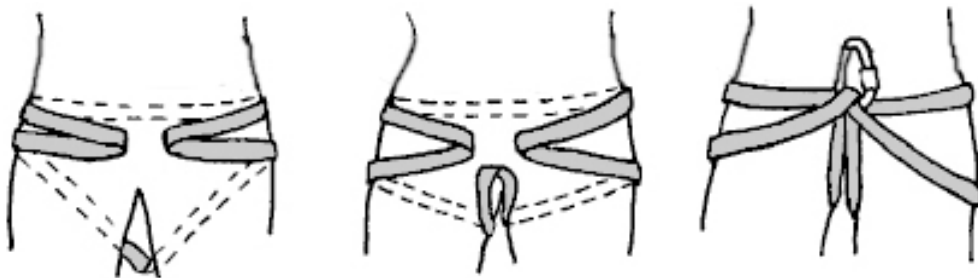
Bandschlingensitze

Um einen behelfsmäßigen Gurt aus Bandschlingenmaterial herzustellen, gibt es die verschiedensten Möglichkeiten. Einige der Gängigsten seien hier erwähnt.

Sitzgurt aus einer Bandschlinge (nach Dirk Leber):



Eine andere, etwas einfachere Version eines Bandschlingensitzes sieht so aus:



Und eine (etwas unbequemere) Möglichkeit, die auch mit kurzen Bandschlingen funktioniert:



Bei Verwendung derartig improvisierter Sitzgurte ist zusätzlich das Tragen eines Brustgurtes (im Notfall auch nur eines behelfsmäßigen) empfehlenswert, da man sehr leicht nach hinten kippen kann.

Abseilen

Halbmastwurf (HMS)

Der Halbmastwurf eignet sich vor allem, um (behelfsmäßig) an einem Einfachseil abzufahren. Dafür empfiehlt sich ein HMS-Karabiner, zur Not eignen sich aber auch alle anderen, möglichst runden Schraubkarabiner. Ein Nachteil dieser Methode ist die entstehende starke Verkrangelung des Seiles (die ev. bei Umstiegstellen problematisch werden kann). Anmerkung: Wenn das Auslaufende Seil parallel zum Lastseil gehalten wird, verkrangelt das Seil nicht so stark.

Benötigtes Material: 1 (HMS) Karabiner



Karabinerbremse

Die Karabinerbremse ist auch an **Doppelseilen** verwendbar, eignet sich auch für lange Abseilstrecken und verkrangelt im Gegensatz zum HMS-Knoten das Seil nicht. **Es ist besonders darauf zu achten, dass das Seil nicht über die Karabineröffnung läuft.** Um eine größere Bremswirkung zu erzielen, können auch zwei Querkarabiner verwendet werden. Alternativ dazu lässt sich eine Karabinerbremse auch mit nur einem Karabiner und einem anderen, länglichen Gegenstand (z.B. Felshaken, Eisschraube – Vorsicht bei scharfen Kanten!) herstellen. **Benötigtes Material:** 2 (1) Karabiner (und ev. anderes Material)

Achtung! Sowohl Karabinerbremse als auch Dülfer Sitz (siehe unten) stellen wegen ihrer Fehleranfälligkeit lediglich Notfalltechniken dar!



Dülfer Sitz (nach Hans Dülfer 1892-1915)

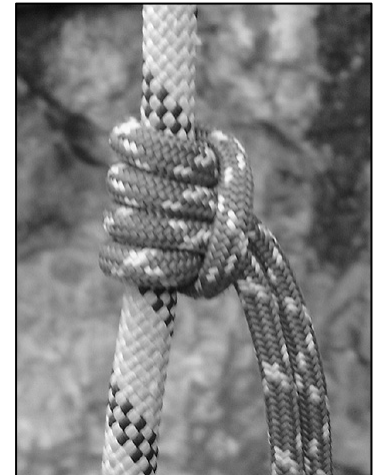
Auch der Dülfer Sitz sei hier erwähnt. Er eignet sich aufgrund der großen Hitzeentwicklung durch Reibung wenn überhaupt dann nur für kurze, nicht senkrechte Abseilstrecken (z.B. auf steilen Stellen mit Halteseilen) und **nur auf fester, dicker Kleidung und mit Handschuhen.** Das Seil wird wie in der linken Abbildung durch die Beine und um den Rumpf geschlungen. Eine andere Variante ist, das Seil nur durch die Achseln zu legen (rechte Abbildung).

Aufsteigen

Prusikknoten

Der Prusikknoten eignet sich als nützlicher Ersatz für Seilklemmen. Er ist vielseitig anwendbar, blockiert zuverlässig und ist auch nach starker Belastung leicht wieder lösbar. Mögliche Anwendungen: Aufstieg am Einfachseil, Rücklaufsperre bei Flaschenzügen, Selbstsicherung (Ohnmacht) beim Abseilen...

Benötigtes Material: Reepschnur



Karabinerklemmknoten (Bachmann Knoten)

Eine andere Variante des Klemmknotens ist der Bachmann Knoten. Er besteht aus einem Karabiner und einer Reepschnur und kann verwendet werden, wenn der Prusikknoten aus bestimmten Gründen nicht anwendbar ist (z.B. ungünstiges Verhältnis der Durchmesser von Seil und Reepschnur). Er fixiert ausgezeichnet auch auf verschmutzten oder eisigen Seilen. Er kann auch mit Bandschlingenmaterial geknüpft werden und benötigt keinen Schraubkarabiner.

Benötigtes Material: Karabiner, Reepschnur oder Bandschlinge.

Schlingknoten

Wenn keine Reepschnur für einen Prusikknoten oder Karabinerklemmknoten zur Verfügung steht, kann auch mit einer **Bandschlinge** ein brauchbarer Klemmknoten geknüpft werden. Der Schlingknoten klemmt nicht so zuverlässig wie der Prusik und sollte vor Belastung möglichst festgezogen werden.

Benötigtes Material: Bandschlinge



Tibloc

Sehr empfehlenswert ist die Tibloc-Notklemme der Fa. Petzl. Mit 39 g wiegt sie weniger als eine Reepschnur und bildet richtig angewendet eine vollständige und extrem vielseitige Klemme. Anwendungen: Aufstieg am Einfachseil, Flaschenzug, Rücklaufsperre... **Wichtig: das Seil muss wie in der Abb. unbedingt auch durch den Karabiner laufen!**

Benötigtes Material: Tibloc, Karabiner

Petzel Stop

Kurze Aufstiege können aufgrund des Klemmmechanismus auch mit diesem Abseilgerät bewältigt werden. Es muss allerdings das auslaufende Seil kräftig mit der Hand nach oben gezogen werden, was vor allem bei dicken Seilen kräfteraubend ist.

Risikoprävention: „Spielregeln“

Geh nie allein!

Schon ein kleines Missgeschick (ein eingeklemmter Fuß, das Versagen eines wichtigen Ausrüstungsgegenstandes,...) kann für den Alleingeher schwerwiegende oder gar tödliche Folgen haben.

Immer 3 unabhängige Lichtquellen mitnehmen!

Auch beste Markenprodukte fallen aus. Wenn Du in so einem Fall Deine einzige Reservelampe fallen lässt, sieht es finster aus. Eine Mini-LED (Schlüsselanhänger) als dritte Lichtquelle belastet den Schleifsack nicht und kann nicht nur praktisch sondern auch lebensrettend sein.

Ziel, Teilnehmer und beabsichtigte Dauer bekanntgeben!

Sonst sucht Dich niemand! Wenn Du Deine Verwandten nicht belasten willst, dann informiere Freunde, Forscherkollegen, oder einen Hüttenwirt. Im Zuge einer Expedition immer auf einem gemeinschaftlichen Tages- oder Netzplan ein- und austragen!

Alarmzeit vereinbaren!

Nur so ist eine zeitgerechte Rettung sichergestellt. Im Fall eines Unfalls kann das Team je nach kalkulierter (kalkulierbarer!) Zeit bis zum Eintreffen der Rettung bestgeeignete Maßnahmen setzen.

Niemanden Zurücklassen!

Auch noch am Rückweg von der Höhle bleibt mindestens ein zweites Teammitglied beim schwächsten / langsamsten Teilnehmer.

Trage in der Höhle immer einen Helm!

Fast jeder erfahrene Höhlenforscher kann sich an Momente erinnern, wo er wegen eines unbeachteten Deckenvorsprungs an harmloser Stelle ohne Helm bewusstlos zu Boden gegangen wäre. Aber ist das fernab der Zivilisation und bei Temperaturen um 0°C harmlos?

Wetterbericht beachten!

Es ist nicht nur die Hochwassergefahr in der Höhle: Blitzeinschläge von Gewittern, Nebel auf kahlen Hochplateaus, Wintereinbrüche, die föhnbedingt angestiegene Lawinengefahr und einiges mehr kann durch die Nutzung der Wetterdienste vermieden werden.

Pflege Deine Ausrüstung!

Lass Deine Ausrüstung nach der Tour nicht tagelang lehmig in nassen Säcken vergammeln. Ein verrostetes Zentralschraubglied, ein durchgescheuertes Abseilgerät oder ein zerschlissener Sitzgurt sind nicht cool, sondern einfach nur ein Zeichen von Dummheit!

Nie ungesichert fremde Einbauten benutzen!

Für den Zustand von Einbauten, deren Herkunft und Zweck unbekannt sind, kann Dir niemand garantieren. Nur weil aus einem Schlot ein verlockendes Seil herabhängt, ist noch lange nicht gesagt, dass dieses auch oben fest verankert ist.

Keine fremden Einbauten und Ausrüstungen entfernen!

Du kannst damit das Leben anderer gefährden! Es sei denn, es ist zweifelsfrei bekannt, dass niemand in der Höhle ist und die eingebauten Seile auch nicht mehr benötigt werden. Auch ein Lebensmitteldepot kann für eine fremde Expedition wichtig sein.

Risikoprävention: Natürliche Risiken

Da wir Menschen nicht an den Lebensraum Höhle angepasst sind, bringt uns der Aufenthalt unter Tag objektive Gefahren, denen wir mit Vorsicht, Verstand und Erfahrung begegnen sollten. Neben der Gefahr für unser Leben und unsere Gesundheit sind zunehmend rechtliche Konsequenzen von objektiv gefährlichen Tätigkeiten zu bedenken. Juristisch bilden Höhlenforscher eine „Gefahrgemeinschaft“.

In mitteleuropäischen Höhlen stellen Verstürze, Eis- und Steinschlag sowie Hochwässer die Hauptgefahren dar. In tropischen Ländern kommen einige hierzulande fast unbekannte, biologische Gefahren hinzu. Nicht vergessen sollte man in einem Gebirgsland wie Österreich die allgemeinen alpinen Gefahren, insbesondere bei winterlichem Zustieg zur Höhle.

Versturz

Die meisten Höhlen sind mindestens Jahrtausende alt und die Gefahr des Einsturzes ist grundsätzlich sehr gering. Dennoch gibt es in vielen Höhlen kurze einsturzgefährdete Abschnitte an Störungszonen im Gestein oder Bereiche, die bis zur Decke mit labilem Versturzmateriale erfüllt sind. Zudem ist zu beachten, dass tief im Höhleninneren zwar die das Gestein auflockernde Frostsprengung wegfällt, diese dann aber andererseits fehlt, um tonnenschwere, „absturzbereite“ Blöcke vor einem menschlichen Besuch in den Abgrund zu befördern.

Vorsichtsmaßnahmen: Gefahrenzeichen sind frisch aussehende (unverlehnte) Felspartien, umherliegende Steine und Felsblöcke, Risse im Gestein oder gar das Fehlen einer kompakten Raumbegrenzung, das Vibrieren verkeilter Blöcke und die Bewegung größerer Schutthalden beim Betreten sowie das mürbe Zerfallen von Gesteinsbrocken beim Anklopfen oder Angreifen. Verstürze immer nur einzeln durchqueren, niemals schräg nach oben führende „Hängeverstürze“ ausräumen, Befahrungshinweise und Plansignatur: beachten. Bei wackeligen Felsblöcken auf Befahrungsversuche verzichten. Stabilisierungs- und Stützversuche (Felsanker, PU-Schaum,...) sind eher zweifelhaft!

Hacheln sind bizarre Felsgebilde, die oft meterweit wie Messer in den Höhlenraum ragen. Die durch Korrosion sehr langsam entstandenen Gebilde können tonnenschwer sein, aber schon bei der leisesten Berührung abbrechen und zu Boden stürzen.

Vorsichtsmaßnahmen: Berührung vermeiden oder notfalls aus sicherer Position Anklopfen/Abschlagen/Abtreten.

Stein- und Eisschlag

Stein- und Eisschlag (und herabfallende Ausrüstungsgegenstände) sind zu fast 100% das Ergebnis menschlicher Aktivität und Unvorsichtigkeit. Bei Eishöhlen ist zu beachten, dass die aus hohen Schloten herabsausenden Trümmer auf Eisböden auch noch weit zur Seite schlitern können, auch Steine prallen von der Schachtwand ab, weshalb Nischen in der Schachtwand nur bedingt Schutz bieten. Daher zur **Gefahrenvermeidung:**

1. Beim Schachteinbau räumt der erste abseilende Forscher jede Schachtstufe so weit ab, dass später kein Stein losgetreten werden kann (egal wie lange es dauert!) Davor das Seil aufziehen bzw. beim Abseilen aus Schleifsack herauslaufen lassen!
2. Der erste Forscher seilt sich grundsätzlich langsam ab und prüft, beklopft und säubert die Schachtwand im Bereich der Abseilstrecke.



Versturzmauer mit frischen Nachbrüchen im Krampusschacht, Rax, NÖ.



„Wabeneis“: schön anzusehen, aber ein Signal für Eisabbau und drohende Eisschlaggefahr!

3. Weitere Forscher folgen erst (einzeln!) nach, wenn der vorhergehende Forscher einen steinschlagsicheren Platz erreicht hat. (Ausnahmen nur in Notsituationen und bei der Vermessung / Fotodokumentation, wo die Beteiligten in ständigem Kontakt stehen müssen).

4. Verzicht auf die Befahrung von Eishöhlen in der Tauphase (erkennbar am trüben, oberflächlich gemusterten „Wabeneis“!). Tageszeit (Schneesmelze!), herumliegende Eistrümmer, Steinschlagspuren an den Wänden, vorhandene Befahrungshinweise und Plansignatur () beachten.

Hochwasser

In alpinen Höhlen liegen die Wassertemperaturen nur wenige °C über Null. Da genügt schon das geringe Anschwellen eines Tropfwassergerinnes (z.B. auch durch nachmittägliche Schneesmelze bei strahlendem Schönwetter!), dass der Wiederaufstieg in einem Schacht zum Kampf auf Leben und Tod wird. In Wasserhöhlen kann man schon durch einen kleinen, weit entfernten Regenguss an der Oberfläche unterkühlt oder eingeschlossen werden.



Halbsiphon

Erkennen der Gefahrenzonen: Blankgewaschener Fels in Schächten (auch wenn gerade kein Wasser fließt!), Schaumreste an Decke und Wänden von zeitweise überfluteten Gangstrecken, Restwasserbecken, eingeschwemmtes Material (Äste, Abfall, ...), Verschwinden von Spuren früherer Begehungen.

Gefahrenvermeidung: Wetterprognosen beachten, bei hochwassergefährdeten Höhlen die kalte Winterperiode nützen (wenn es der Zustieg erlaubt), Seile nie in wassergefährdeten Schachtbereichen einbauen, auch wenn es noch so bequem wäre. Ausrüstung nie im Hochwasserbereich liegen lassen.

Verhalten bei Hochwasser: Panik vermeiden (Gefahr von Folgeunfällen!), keine „Ausbruchsversuche“ durch das Hochwasser unternehmen – meist geht der Wasserstand schon nach kurzer Zeit wieder zurück – sondern möglichst hochgelegene, trockene Räume aufsuchen. Weiteres Verhalten wie bei anderen Höhlenunfällen.

Blitzschlag

Unfälle durch Blitzschlag sind in wasserführenden Schachthöhlen bis in weit über 100 m Tiefe dokumentiert. Nischen und Höhlen bilden nur bei entsprechendem Abstand zum Fels Sicherheit.

Vorsichtsmaßnahme: Vermeidung wasserführender Schächte. Längeren Aufenthalt (Schachtposten, tagnahe Biwaks) im Nahbereich von Gerinnen – vor allem bei offensichtlich gewitterbedingtem Anschwellen – vermeiden.

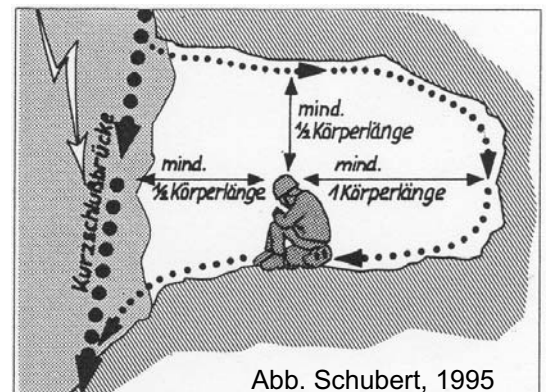


Abb. Schubert, 1995

Vereisung

Seile und Kletterstellen in Eingangsnähe können sich bei entsprechender Witterung – insbesondere Wechsel zwischen Frost- und Tauwetter – binnen weniger Stunden mit einer zentimeterdicken Eisglasur überziehen. Der Wiederaufstieg mit Steigklemmen wird dann zum Heldenkampf.

Gefahrenvermeidung: Seile in tagnahen Schächten mit Ausnahme des Sommers nie im Spritzwasserbereich hängen lassen und/oder laufender Kontakt zur Oberfläche und Wetterprognose.

Notmaßnahme: Seil mit Hammer von Eis befreien. Shunt (Petzl) statt normaler Steigklemme verwenden (auch zum Sichern beim Abseilen auf vereisten Seilen).

Hinweis: Gletscherhöhlen (Höhlen im Eis) erfordern wie das Höhlentauchen eigene Spielregeln und Befahrungstechniken und sollten grundsätzlich nur mit erfahrenen Gletscherkundlern (Glaziologen) besucht werden. Spannungszustände im Eis können schon bei leichter Berührung zu bergschlagartigen Einstürzen führen; Eingangsbereiche und aufliegendes Schuttmaterial können jederzeit nachstürzen; Tagesgang der Schmelzwässer beachten!

Fuchsbandwurm & Co.

Vor allem engräumige Kleinhöhlen werden häufig von Füchsen, Dachsen und verschiedenen Kleinsäugetern aufgesucht. Diese Tiere können verschiedene gefährliche Krankheiten und Parasiten übertragen. Die Übertragungsgefahr auf den Menschen ist zwar vermutlich gering, aber jedenfalls möglich. Fuchsbandwurm und Tollwut sind unheilbar und tödlich! Wieviele andere derartige Krankheiten und Pilzinfektionen in Eingangsschlüfen von Höhlen möglich sind, ist weitgehend unerforscht.

Gegenmaßnahmen: Gummihandschuhe, Finger nicht abschlecken, feuchte Nasen nicht mit der schmutzigen Hand abwischen, bei staubigen Höhlen oder sichtbaren Kotplätzen Mundschutz tragen.


Gefährliche Gase

In österreichischen Karsthöhlen sind nur sehr wenige, durch Kadaver oder Müll (ev. auch durch eingeschwemmte Biomasse) verursachte Fälle von erhöhten Giftgaskonzentrationen in schlecht belüfteten Höhlen dokumentiert. Künstliche Hohlräume wie Keller, Brunnen und Bergwerke sind jedoch grundsätzlich potentielle Gefahrenbereiche durch CO₂ und Grubengas. In Höhlen anderer Gebiete (z.B. Tschechien, Ungarn, Namibia) treten immer wieder oder sogar regelmäßig zu hohe CO₂-Konzentrationen auf. In Österreich ist dies bisher lediglich aus dem Gugansschluckloch (1836/116, Frankenfels, NÖ) während der Sommermonate nachgewiesen.

Vorsichtsmaßnahmen: Im Gegensatz zur landläufigen Meinung ist das Erlöschen einer Karbidlampe keinesfalls ein brauchbarer Indikator für das Vorhandensein von CO₂. Es sind viele Fälle (vor allem aus dem Weinbau) dokumentiert, in denen eine Kerze, die als CO₂-Anzeiger mitgebracht wurde, noch brannte, während deren Träger tot daneben lag. Bei Eintreten typischer Alarmzeichen wie plötzliche, unerklärliche Kopfschmerzen, Übelkeit, nicht anders erklärbare plötzliche Müdigkeit, Schwindel oder Hyperventilation, die aber keinesfalls immer auftreten müssen, sollte man erhöhte CO₂-Konzentration als Verursacher in Erwägung ziehen und die Höhle schleunigst verlassen. Einzig sichere Vorgangsweise ist die Verwendung entsprechender Messgeräte bei der Befahrung von Objekten, in denen die Luftverhältnisse unklar sind.

Alpine Gefahren

Insbesondere bei winterlichem Höhlenzustieg ist das gesamte Spektrum alpiner Gefahren zu beachten (Lawinen, Steinschlag, Gewitter, Schlechtwettereinbrüche, ...). Als Lehrbuch kann empfohlen werden:

 SCHUBERT, P. (1995): Sicherheit und Risiko in Fels und Eis. Erlebnisse und Ergebnisse aus 25 Jahren Sicherheitsforschung des Deutschen Alpenvereins. – DAV, München, 2. akt. Aufl., 272 S, ISBN 3-7633-6000-X

Außerhalb Mitteleuropas

Histoplasmose

In vielen, vor allem tropischen Weltregionen verbreitete, sehr schlecht heilbare Pilzkrankung der Lunge. Die Pilzsporen werden mit dem Fledermauskot verbreitet. In manchen tropischen Fledermaushöhlen ist auch die Gefahr gegeben, sich über die Atemwege mit der Pest zu infizieren.

Gefahrenvermeidung: Fledermaushöhlen in wärmeren Regionen meiden, insbesondere die Kothaufen unter den Nistplätzen. Dort Mundschutz verwenden.

Gefährliche Tiere

Je nach Region können dem Höhlenforscher vor allem höhlenbewohnende Insekten (Giftspinnen, Wespen, Wildbienen), Reptilien (Giftschlangen) und Großsäuger (z.B. Malayanbär) gefährlich werden.

Gefahrenvermeidung: Gefahrensymbole auf Plänen, Verhaltensregeln und Hinweise in Forschungsberichten beachten; vorbeugender Kontakt zu Forschern mit regionaler Erfahrung.

Risikoprävention: Persönliche Risiken

Bei der Durchsicht von Unfallstatistiken und -analysen stellt man fest, dass der weitaus größte Teil von Höhlenunfällen nicht durch das „Blinde Walten des Schicksals“ (Zitat vermutl.: Purtscheller 1895), sondern durch subjektive Fehlleistungen verursacht wurde. Die folgende Zusammenstellung typischer (häufiger) subjektiver Unfallursachen soll weitere Unfälle vermeiden helfen, erhebt aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Und: den Wert ständigen risikobewussten Mitdenkens und eines gewissen Maßes an Phantasie kann auch der beste Kurs, die beste Lehrschrift nicht ersetzen! Die nachfolgenden Beispiele sind aus der Praxis gegriffen, es wurde aber versucht, sie soweit zu abstrahieren, dass kein direkter Bezug zu einem tatsächlich stattgefundenen Unfall hergestellt werden kann. Die Auflistung besitzt keine Reihung nach Wichtigkeit oder Häufigkeit.

Ermüdung bzw. "Übermüdung"

Wer müde wird, verliert nicht nur an Wachsamkeit, er wird auch in seinen aktiven Handlungen nachlässig: Im Allgemeinen neigt der Mensch dazu, bei Müdigkeit die nicht unmittelbar notwendigen Handlungen – und damit Energie – einzusparen. Das ist dann zum Beispiel das Einhängen der Selbstsicherung an einer Umsteigstelle oder in einem Quergang. Generell gilt daher: Gegen Ende der Höhlentour wird es am gefährlichsten.

Fazit: *Nach der Höhlentour nächtens auf der Autobahn überschlagen. An einer gut abgesicherten Stelle und trotz besten Kletterkönnens abgestürzt.*

➔ Zeitrahmen für die Tour vorher je nach Kondition und Allgemeinverfassung (vorher Stress am Arbeitsplatz?) aller Beteiligten planen und festlegen – und dann auch einhalten, auch wenn es noch so toll weiterginge. Besser einmal um die Einhaltung des Zeitplans streiten, als einen Unfall erleben. Während der Tour die anderen beobachten und bei Anzeichen von Ermüdung Pausen vorschlagen (am besten: „ICH bin müde, machen wir eine Trinkpause!“, auch wenn in Wirklichkeit die anderen Müdigkeit zeigen).

(Selbst-)Überschätzung, Überforderung

„Da will ich auch mit!“ – wer hat nicht schon einmal versucht, Erfahrenere/Geübtere dazu zu überreden, einen bei einer Tour mitzunehmen, die man sich selbst (alleine) nicht zutrauen würde, wer wurde nicht schon selbst einmal in dieser Weise bedrängt? Das Dumme daran ist, dass der Unerfahrene die möglichen Gefahren einer solchen Tour gar nicht erkennen kann.

Fazit: *Ein unvorhergesehenes Ereignis während der Tour bringt selbst die Erfahrenen an ihre Grenzen. Daher konnten sie in der kritischen Situation nicht mehr auf den Gast aufpassen und dieser blieb an einem schwierigen Seilquergang im Wasserfall hängen. Der Staatsanwalt klagt an, dass die erfahrene Gruppe den Anfänger in eine so schwierige Tour überhaupt mitgenommen hat.*

➔ Man sollte sich daher – in beiden Rollen – vorher bewusst machen, was bei ungeplanten Ereignissen oder Schwierigkeiten passieren würde. Der Erfahrene sollte den weniger Geübten mit Beispielen klarlegen, wie gefährlich die Mitnahme wäre und sich selbst fragen, ob nicht etwa der willkommene „Träger“ selbst zur Last werden könnte.

Gruppendruck, Gruppendynamik

Jeder kennt das: in der größeren Gruppe hat man Dinge unternommen, die man vielleicht zu zweit oder dritt niemals gewagt hätte. Bei der Tourenplanung will aber keiner als Feigling dastehen, und jeder denkt dann von den anderen: „Na, wenn die alle kein Problem darin sehen, dann wird es schon gehen, wahrscheinlich haben sie mehr Erfahrung, und ich bilde mir das mit dem Schlechtwetter nur ein...“

Fazit: *Eine zwölköpfige Gruppe durchwegs erfahrener Forscher wurde vom Hochwasser eingeschlossen. Nachher rätselte man, dass keinem der Beteiligten die drohende Unwettergefahr aufgefallen ist.*

➔ Selbstbewusstsein entwickeln! Wer in der Gruppe auf bestimmte Gefahren-Zusammenhänge hinweist, wirkt in Wirklichkeit kompetent, wird als besonders erfahren angesehen. Das Phänomen Gruppenzwang im Team ansprechen!

Rettungswagensyndrom

Das von Rettungseinsätzen bekannte Phänomen (Verletzter stirbt bei Eintreffen der Rettung oder beim Eintreffen der Rettung im Spital) tritt auch in gewöhnlichen und vorerst harmloseren Situationen auf: am Ende der Höhlentour lässt plötzlich die Anspannung und Konzentration nach, „es ist geschafft“, man ist plötzlich „nicht mehr voll bei der Sache“.

***Fazit:** Absturz aus Unachtsamkeit beim Umziehen oder abschließendem Gruppenfoto nach dem Höhlenausstieg.*

➤ Problem kurz vor dem Ende der Höhlentour ansprechen: „Jetzt müssen wir noch gut nach Hause kommen!“.

Suchtähnliche Reizsteigerung

Was landläufig als „Adrenalinsucht“ bezeichnet wird, kann vor allem bei jungen oder sehr aktiven Höhlenforschern – wie bei Sportlern – in die Sackgasse eines unmerklichen, ständig wachsenden Risikoverhaltens führen. Der Mensch strebt unbewusst grundsätzlich nach Reizsteigerung, bei körperlicher Anstrengung wird dies durch zusätzliche hormonelle Substanzen verstärkt.

***Fazit:** Im Lauf der Jahre unternahm X mit steigender Erfahrung immer schwierigere, extremere Touren. Er war einer der besten und erfahrensten Schachtforscher. Von einem winterlichen Alleingang in die Y-Höhle ist er nicht mehr zurückgekehrt.*

➤ Versuche dich leistungsmäßig einzustufen und überlege dir, ob der gleich routinierte Z diese Tour wagen würde, und was ihm dabei zustoßen könnte. (Die Möglichkeit, sich vorzustellen, dass einem selbst etwas zustoßen kann, ist meist blockiert – Selbstvertrauen ist an sich auch ein wichtiger Schutzmechanismus). Analysiere deine letzten zehn Höhlentouren: wenn eine ständige Tendenz zum Extremieren erkennbar ist, unternimm als nächstes bewusst eine harmlosere, einfachere Tour. Überlege dir, ob die extremen Aktionen zum Erreichen deines Forschungsziels wirklich notwendig sind. Als Höhlenforscher hast du den Vorteil, dass du nicht unter medialem Leistungsdruck stehst!

Das Hoppala – der Unfall der Extremen

Die Liste der in scheinbar harmlosen oder gar lächerlichen Situationen verunglückten Extrembergsteiger, -sportler und -höhlenforscher ist lang!

***Fazit:** M, der am Fest zur Feier der Riesenhöhlenentdeckung seinen Schlüssel vergessen hatte, rutschte beim Überklettern der Gartenmauer ab und stürzte so unglücklich auf den Rücken, dass er seither an den Rollstuhl gefesselt ist.*

➤ An einer Lösung wird noch gearbeitet! Mit dem Lesen dieser Zeilen hast du einen wichtigen Schritt gesetzt.

Spezialisten-Dilettantismus

Wer mit dem Finger auf Bergsteiger zeigt, die wegen Lichtmangels aus der A-Höhle gerettet werden mussten, sollte besser darüber nachdenken, ob er selbst noch nie die Grenzen anderer Disziplinen gestreift hat, und sich dabei womöglich nicht allzu professionell verhalten hat (ungesicherter Kletterzustieg zur Höhle, Querung von Lawinhängen bei der Winterexpedition, ...)

***Fazit:** Während der Dezemberexpedition in die B-Höhle verursachte ein Wintereinbruch extreme Kälte und meterhohe Schneeverwehungen. Zwei Teilnehmer erfroren sich beim Abstieg ins Tal mangels geeigneter Ausrüstung einige Finger und mussten sich einer wochenlangen schmerzhaften Heilbehandlung unterziehen.*

➤ Mach nur was du gelernt hast. Wenn du mit Schi zur Höhle gehst, solltest Du etwas von Schitouren verstehen usw.



Entdeckerrausch

Vor allem jüngere Forscher neigen dazu, bei der Entdeckung von Neuland auf Rückweg und Zeitplan zu vergessen und nicht mehr umkehren zu wollen (Die Sensation verdrängt alle Vernunft). Der Rückweg bestraft diese mangelnde Vorsicht mit großer Zuverlässigkeit! Entdeckerrausch kann in allen Situationen auftreten, in denen der einzelne für sich völlig neues erlebt – also nicht nur im Neuland.

Fazit: Beinbruch beim ungesicherten Erklettern der Felsstufe zu einer unausleuchtbaren Halle / nach großartigen Entdeckungen waren die Forscher so übermüdet, dass am Rückweg einer unbemerkt zurückblieb und sich in der Höhle verirrte. Er konnte erst nach drei Tagen gefunden werden und ist mangels Biwakausrüstung vermutlich an Unterkühlung gestorben.

➔ „Wer noch denken kann, bremse die anderen!“ (frei nach Asterix). Macht euch gegenseitig bewusst, dass ihr wiederkommen könnt, wenn die geplante Zeit für das entdeckte Neuland nicht ausreicht. Vielleicht sogar mit einer besseren Kamera-Ausrüstung, um tolle Bilder zu machen, mit einer größeren Mannschaft usw.

Es liegt nirgendwo ein Stein herum, der „deine Nummer trägt“, sondern jeder von uns trägt – ziemlich die gleichen – evolutionär bedingten Mängel (mangelnde Anpassung an ein bestimmtes Gefahrenumfeld wie Höhle oder Straßenverkehr) mit sich herum. Daran müssen wir arbeiten!

Behelfsmäßige Kameradenrettung

Was versteht man unter Kameradenhilfe?

Unter Kameradenhilfe versteht man die Hilfeleistung, die die Mitglieder einer Gruppe einem Kameraden im Notfall sofort anbieten können. Kameradenhilfe kann das Verbinden einer Wunde, die Hilfestellung bei befahrungstechnischen Problemen oder auch der gute Zuspruch (psychologische Hilfe) sein.

Wann ist Kameradenhilfe notwendig bzw. wo liegen ihre Grenzen?

Grundsätzlich ist Kameradenhilfe (Erste Hilfe, Zuspruch...) immer zu leisten, sobald eine Person ihrer bedarf, z.B. nach Unfällen oder bei Erschöpfung. Bevor man jedoch versucht, mit einem verletzten Kameraden die Höhle zu verlassen, sollte man sich nachfolgende Fragen stellen und erst dann weitere Maßnahmen treffen:

- ➔ Lässt es die Beschaffenheit der Höhle sowie der Zustand des hilfebedürftigen Kameraden zu, ohne Fremdhilfe aus der Höhle zu steigen?
- ➔ Können am Weg aus der Höhle befahrungstechnisch alle Passagen auch mit besagtem Kameraden bewältigt werden?
- ➔ Ist der Verletzungsgrad gering, bzw. eine Verschlechterung des Zustandes auszuschließen?
- ➔ Bin ich (oder sind die Gruppenmitglieder) überhaupt in der Lage, eventuell auftretende Schwierigkeiten zu meistern (medizinisch, technisch, psychologisch)?

Sollte eine dieser Fragen mit nein beantwortet werden, so ist die Alarmierung der Höhlenrettung sofort (den Umständen entsprechend) einzuleiten!

Seiltechnik für die Kameraderrettung

In manchen Fällen kann es notwendig sein, einem in Not geratenen Kameraden unverzüglich seiltechnische Hilfestellung zu geben. Dies kann z.B. die Unterstützung bzw. Sicherung von stark ermüdeten Personen, aber auch die Rettung eines Verletzten mittels Flaschenzug umfassen.

Speziell bei der Befahrung von Schächten mittels Einseiltechnik kann es bei längerem Hängen im Seil, hervorgerufen z.B. durch Verletzung oder Erschöpfung, zum Hängetrauma kommen. Das ist jener Zustand, der schon nach 15 Minuten durch die verminderte Blutzirkulation (regungsloses Hängen im Gurt) auftreten kann und lebensbedrohend ist. Hier setzt die Kameradenhilfe an, denn sie ist die einzige Hilfe, die in so kurzer Zeit verfügbar ist. Es versteht sich von selbst, dass eine solche Rettungsmaßnahme einiger Übung bedarf, um sie im Bedarfsfall effizient einsetzen zu können.

Benötigtes Rettungsmaterial

- Hilfsseil (bzw. Reepschnur): Länge ~5 m, Durchmesser mind. 7 mm
- Schachtausrüstung - bestehend aus Bruststeigklemme, Handsteigklemme, Sicherungsschlinge und Abseilgerät
- 1 Abseilgerät (vom Retter oder vom Verletzten nehmen)
- 1 Schraubkarabiner (vom Retter mitzubringen)
- 1 HMS- Karabiner (vom Retter mitzubringen)

Ablauf der Rettung

1. Aufstieg oder Abstieg (mit Klemmen) bis zum Verunfallten, die Positionierung des Retters oberhalb des Verletzten ist für den Rettungsverlauf günstiger.
2. Abseilgerät (egal ob vom Retter oder vom Verletzten) mit einem Karabiner ins zentrale Schraubglied des Verletzten einhängen. Das freie Seil unterhalb des Retters und des Verletzten in dieses Abseilgerät einlegen, Abseilgerät abbinden.
3. Einhängen der kurzen Selbstsicherungsschlinge des Retters in den Karabiner des Abseilgerätes.
Der Helfer muss sich jederzeit vom Verunfallten lösen können! Dies ist nicht möglich, wenn sich das Abseilgerät direkt im zentralen Schraubglied des Retters befindet und der Verletzte dazugehängt wird.
4. Ein Ende des Hilfsseils mittels Achterknoten (mit Ankerstich) am zentralen Schraubglied des Verunfallten fixieren - durch einen Umlenkkarabiner in der obersten Steigklemme führen(*)- und mit einem HMS (abgebunden) in einem (HMS-) Karabiner am zentralen Schraubglied des Retters fixieren.
(*): Handsteigklemme des Verletzten nehmen, um die eigene Bewegungsfreiheit zu erhalten, Sicherungsschlinge der Klemme zum Gurt des Verletzten muss aber gelöst, notfalls abgeschnitten werden.
5. Jetzt muss der Retter seine Bruststeigklemme lösen – dies geschieht, indem er sich in seine Steigschlinge stellt, seine Bruststeigklemme aushängt, und gleichzeitig das Hilfsseil durch den HMS straff zieht und diesen anschließend abbindet.
6. Nun wird die Handsteigklemme des Retters vom Seil ausgehängt.
7. Mittels Gegenzug wird die Bruststeigklemme des Verunfallten entlastet und ausgehängt.
8. Jetzt kann der Retter den abgebundenen HMS lösen und das Hilfsseil so lange nachlassen, bis der Verletzte und der Retter im Abseilgerät hängen.
9. Nicht benötigtes Material kann nun vom Seil entfernt und mitgenommen werden.
10. Zuletzt seilt sich der Retter mit dem Verunfallten ab.

Abseilen mit einem Verletzten über eine Umstiegstelle (Zwischenverankerung)

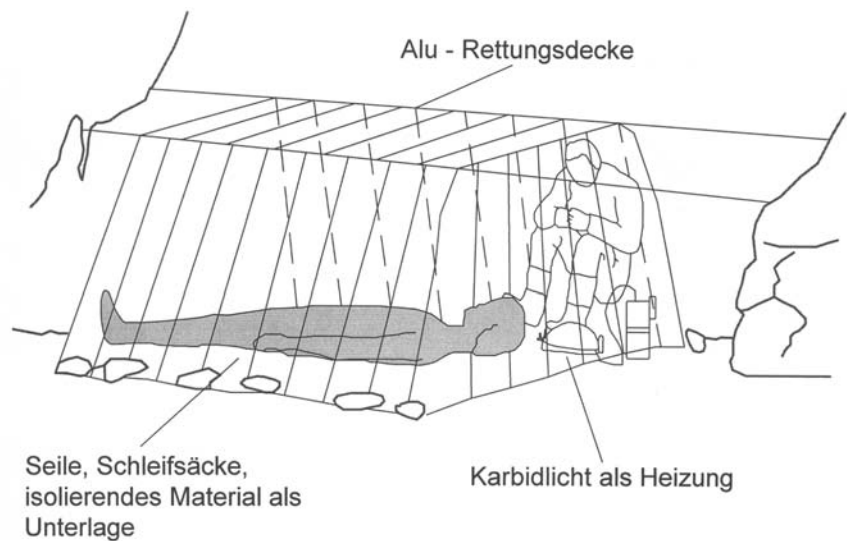
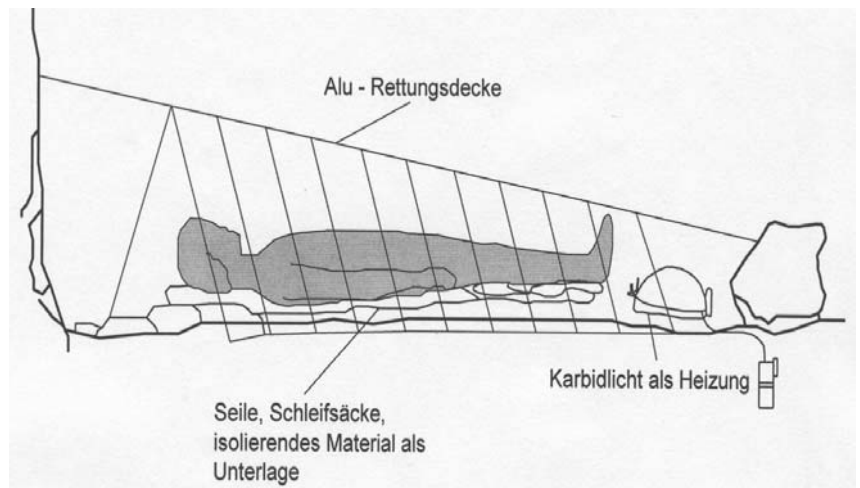
1. Wie im vorigen Kapitel seilt sich der Retter mit dem Verletzten gemeinsam ab, und zwar so weit, bis sich das Abseilgerät und die Zwischenverankerung auf selber Höhe befinden.
2. Kurze Selbstsicherung des Verletzten in die zu passierende Zwischenverankerung einhängen.
3. Ein Ende des Hilfsseils wird mittels Achterknoten (mit Ankerstich) am zentralen Schraubglied des Verunfallten fixiert – mit einem Umlenkkarabiner in die Zwischenverankerung eingehängt – und mit einem abgebundenen HMS in einem Karabiner am zentralen Schraubglied des Retters fixiert. Dabei muss das Hilfsseil so weit wie möglich gespannt werden. Wird das Hilfsseil nicht genügend gespannt, so lässt sich das Abseilgerät im Hauptseil nicht entlasten (Seilschleife unter der Zwischensicherung).
4. Durch weiteres Abseilen überträgt sich die Last auf das Hilfsseil und das Abseilgerät wird entlastet.
5. Das Abseilgerät kann ins Seil unter der Zwischenverankerung eingehängt und fixiert werden.
6. Selbstsicherung aushängen.
7. Jetzt kann der Retter den abgebundenen HMS lösen und das Hilfsseil so lange nachlassen, bis der Verletzte und der Retter wieder im Abseilgerät hängen.
8. Karabiner und Hilfsseil aus der Zwischenverankerung aushängen und Abseilfahrt fortsetzen.

Nach erfolgter Rettung ist manchmal eine Erholungsphase angebracht – dies kann in einem schnell aufgestellten Wärmzelt wie nachstehend beschrieben erfolgen.

Das Wärmezelt

Zur Überbrückung von längeren Wartezeiten kann es vorteilhaft bzw. notwendig sein, ein behelfsmäßiges Zelt aus Alu- Rettungsdecken zu bauen. Mit ein paar Metern dünner Reepschnur (alternativ wird von manchen Höhlenforschern, auf Grund geringen Gewichts und ausreichender Reißfestigkeit, zum Abspannen eines Notzeltes auch gern Zahnseide mitgenommen) und einer Aludecke kann man ein Zelt bauen, das vor Tropfwasser, Zugluft und Unterkühlung schützt.

Ist Karbidlicht vorhanden, so soll dieses zum Heizen des Zeltes verwendet werden. Die Karbidfalle ist eine effektivere Heizung als man vermutet! Zur Isolation gegen Bodenkälte können Seile, Schleifsäcke oder andere isolierende Gegenstände aufgelegt werden. So kann aus vorhandenen Ausrüstungsgegenständen ein Lager errichtet werden, in dem man sich einigermaßen erholen kann.



Folgende Ausrüstungsgegenstände sind für eine behelfsmäßige Rettung empfehlenswert:

- ➔ 1 HMS- Karabiner; (zum Abseilen, Sichern, Flaschenzugbau und zur Kameradenrettung vom Seil)
- ➔ 2 Schraubkarabiner
- ➔ 1 Reepschnur, Durchmesser mindestens 7 mm, Länge 5 m; (als Hilfsseil für Flaschenzug oder zur Kameradenrettung vom Seil)
- ➔ 1 Alu Rettungsdecke;
- ➔ dünne Reepschnur oder Zahnseide; (Hilfsmittel für Wärmezeltbau, Zur Not können auch einzelne Litzen aus einem kurzen Seilstück gefädelt werden).

Lotung von Schachttiefen

Bei der Erforschung neuer Schachtstrecken ist es von Interesse, die Schachttiefe vor dem Abstieg einschätzen zu können. Drei Methoden sind dafür gebräuchlich:

1 Messung mit Laserdistanzer

Die Standard-Methode moderner Forschung!

- Vorteile: schnell, einfach, genau.
- Nachteile: Fehlmessung durch Verfehlen des Schachtgrundes (wenn unabsichtlich eine Stelle der Schachtwand angepeilt wird), bei trichterförmig beginnenden Schächten oder gewundenen Canyon wo keine direkte Sicht zum Schachtgrund gegeben ist, kann die Messung nur Minimalwerte bringen („Der Schacht ist sicher tiefer als...“).

2 Lotung durch Steinwurf

Bei der Erstbefahrung von Schächten ist es aus Sicherheitsgründen ohnehin erforderlich, Absätze von losen Steinen zu säubern. Diese Abräumarbeit kann zur Bestimmung der Tiefe der nächsten Schachtstufe genutzt werden. Dazu ist die 1950 von O. Schauberger eine durch Versuche ermittelte „Fallzeitkurve“ nach wie vor ein gut brauchbares Hilfsmittel:

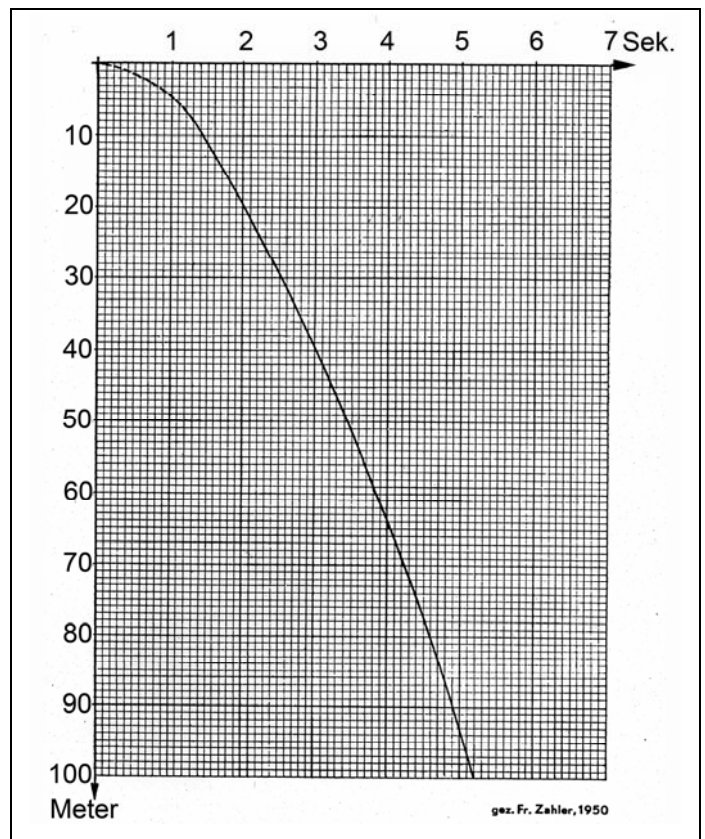
Die „Fallzeitkurve“ gibt das Verhältnis der Schachttiefe zur Zeit zwischen dem Loslassen des Steins bis zum Vernehmen des Aufprallgeräusches an.

Hinweise:

- Das Steinwerfen sollte in Tropfsteinhöhlen, Fledermausvorkommen, bei möglichen Knochenfunden am Schachtgrund und der Möglichkeit von Zusammenschlüssen zu bekannten Höhlenteilen mit Einbauten unterlassen werden.
- Möglichst runde, nicht plattige Steine und Uhr mit Stopp-Funktion verwenden.
- Als Faustregel kann man folgende Formel verwenden: $\text{Zeit [Sekunden]} \text{ zum Quadrat} \times 5$. Dies passt recht gut bis 50 m darüber werden die tiefen überschätzt - zumindest im Vergleich zur gezeigten Kurve (135 m bei 5,2 sec statt 100 m).

3 Lotung mit Maßband

Nur in wenigen Fällen praktikabel, da sich das Maßband und die notwendige Anhängelast (z.B. Karabiner) gerne in der Schachtwand oder im Blockwerk am Schachtgrund verhängen oder die Last auf Absätzen liegen bleibt. Außerdem ist das Aufsetzen der Last bei tieferen Schächten wegen des Eigengewichts des Bandes und der Reibung an Schachtwänden kaum mehr spürbar. Nur selten hängt das Maßband ab der Schachtkante frei durch die Luft.



Empirisch ermittelte Fallzeitkurve nach Schauberger 1951.

Weiterführende Literatur:

Schauberger, O. (1951): Über die Bestimmung der Tiefe von Naturschächten. – *Die Höhle*, 2 (2): 17-19.

Leichtausrüstung

Höhlenforschung ist materialintensiv und meistens mit unangenehmer Schleppelei verbunden. Fast alle Höhlenforscher bekommen früher oder später Knieprobleme, die nicht nur die Lebensqualität beeinträchtigen, sondern auch wesentlich teurer kommen, als etwa die Ersparnis durch schwerere Billigausrüstung (Beispiele: Stahl- oder Aluschraubglieder; Normale „Gummistiefel“ im Baumarkt sind billiger, wiegen aber wesentlich mehr als Spezialstiefel, ganz abgesehen von Komfort und Sicherheit). Es zahlt sich auch aus, vor jeder Tour zu überlegen, welche Ausrüstung wirklich notwendig ist. Die Gegenüberstellung dreier persönlicher Ausstattungen (Gewichtsangaben in Gramm) soll dazu Anregungen geben – verschiedene Kombinationen aus den gegenübergestellten Varianten werden je nach Höhle sinnvoll sein!



schwere Ausrüstung



Standard



Gewichtsoptimiert

Helm + Lampe (Scurion)* (mit Karbidlampe☺)	900 (2100)	Leichthelm + Lampe (Petzl DUO 14 LED)*	660	Leichthelm + Lampe (Petzl Myo XP)*	530
Superschlaz	1550	Normalschlaz	1300	Behelfskleidung (z.B. ausrangiertes Goretex)	720
Handschuhe robust	220	Gummihandschuhe mittel	100	Gummihandschuhe leicht	50
Schutzstiefel (zB Plastik, Baumarkt)	2300	Speleostiefel	2000	Thermo-Schutzstiefel (zB Dunlop Purofort)	1680
Speleo-Komfortgurtzeug	1060	Speleogurtzeug leicht	640	Alpin-Leichtgurtzeug	410
Rack + Karabiner	610	Petzl Stop + Karabiner	410	Achter + Karabiner	190
Komfortsteigzeug	600	Standardsteigzeug gewichtsoptimiert	420	Behelfssteigzeug (Klemmen: Petzl Tibloc)	320
Selbstsicherung	260	Selbstsicherung	260	Selbstsicherung	260
Standard-Schleifsack 28 l + Karabiner	900	Nylon-Schleifsack 28 l (wasserdicht) + Karabiner	780	Behelfssack Nylon 6 l + Leichtkarabiner	130
SUMME (Gramm)	8400 (9600)		6570		4290
<i>Anwendungsbeispiel: leicht erreichbare Wasserhöhlen mit großen Räumen und lehmigen Schächten</i>		<i>Anwendungsbeispiel: lange Höhlentouren mit Schächten</i>		<i>Anwendungsbeispiel: kleine Höhlen, Höhlen mit nur kurzen Schächten, aber sehr langem Zustieg</i>	

* jeweils inklusive Batterien bzw. Karbid+Wasserfüllung

Weitere Möglichkeiten: Unterwäsche, Seile, Biwakausrüstung, Kamera, Messgeräte, Verpflegung, Einbauzug (nicht immer ist eine Bohrmaschine eine Erleichterung!). Andererseits darf Gewicht sparen nicht die Sicherheit gefährden. Dieses Merkblatt will nicht dazu anregen, z.B. tiefe, wasserführende Schächte mit ungenügender Kleidung und Ministeigzeug zu befahren!

Leichteinbau mit AS (*Amarrage souple = anpassungsfähige Verankerung*)

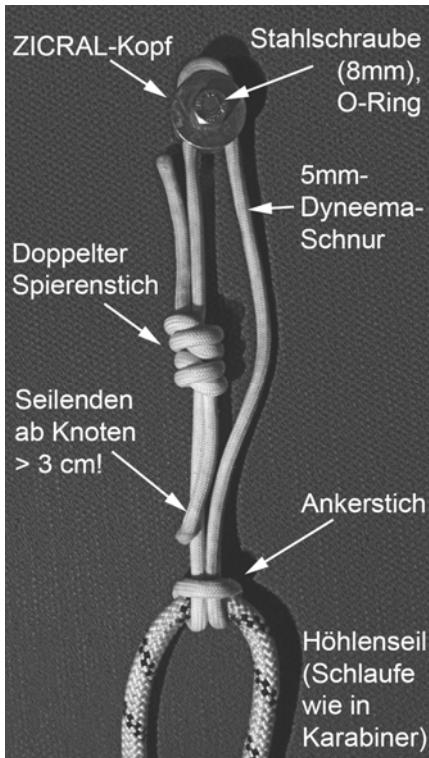


Abb. 1: Grundeinheit



Warnung Nichts für Anfänger! Die Dyneema®-Schnur hat ungewöhnliche Eigenschaften. Andere als die hier und auf der Folgeseite dargestellten oder in Kursen erlernten Anwendungen und Knoten oder das Nicht-Einhalten der hier geforderten Pflege können tödliche Folgen haben!

Die AS sind ultraleichte Verankerungen für Dübel mit 8-mm-Innengewinde (Spit, HKD, ...) und, nach Entfernen der INOX-Stahlschraube, auch für Durchsteckanker, und zwar an der Wand (Haltekraft 11 kN) oder an der Höhlendecke (16 kN) verwendbar. Empfehlenswert sind 35 cm und 60 cm lange Schlingen (100 bzw. 150 cm Schnur erforderlich), wobei ausschließlich Schnüre aus 100% Dyneema® verwendet werden dürfen.

Vorteile

Eine Einheit mit 35 cm langer Schlinge ersetzt Lasche und Karabiner und wiegt nur 36 Gramm, erspart aber zugleich 5-10 Gramm (10-20 cm) Seil. Die Länge der Verankerung kann einfach variiert werden ➔ Abb. 2.

Die Dyneema®-Schnur hat die mehrfache Haltekraft normaler Reepschnüre; sie ist zudem statisch wie ein Stahlseil und sehr abriebfest. Daher kann sie sogar STATT dem Seil über Kanten hängen ➔ Abb. 3

Zugleich kann die Schlinge an natürlichen Verankerungen verwendet werden (z.B. statt Bandschlingen), wobei der ZICRAL-Kopf nicht entfernt werden muss. Mittels Ankerstich können 2 oder mehrere AS zu längeren Schlingen oder für Y-Verankerungen an 2 Haltepunkten verknüpft werden.

Einfache Anwendungen

sind aus den Abbildungen auf diesem und dem Folgeblatt b ersichtlich. Da die Schnur sehr glatt ist, können Knoten auch nach Belastung leicht gelöst werden. Die Schlinge wird in der Höhle möglichst NICHT aufgeknötet, darf aber nicht über längere Zeiträume unter/nach Belastung hängen- bzw. verknötet bleiben. Knoten NACH dem Höhleneinsatz daher wieder vollständig öffnen, ansonsten langfristig Verlust der Haltekraft. AS ist daher nur für die Forschung und nicht für Dauereinbauten geeignet.

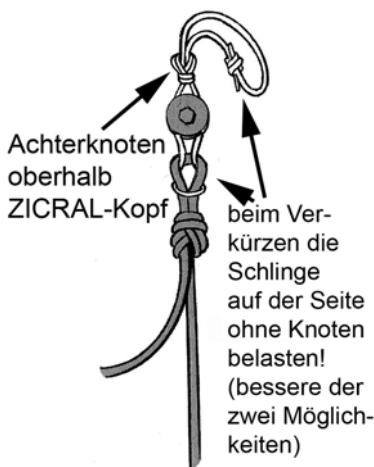


Abb. 2: Längen Anpassung

Fortgeschrittene Anwendung

Die AS erlaubt eine ungewöhnliche Vielfalt an kreativen Schachteinbauten (Name!). Diese dürfen aber nur nach ausgiebigem Studium der Literatur und Training durch erfahrene Anwender – aber niemals durch blindes Ausprobieren – eingesetzt werden!

Vorsicht mit offenem Licht, die Dyneema®-Schnur besitzt einen niedrigen Schmelzpunkt! Nicht als Sicherungsschlinge oder Hauptseil verwenden, sie ist absolut statisch!

Für die AS-Technik keine „Dyneema-Reepschnüre“ aus dem normalen Bergsporthandel verwenden – diese haben meist einen normalen Polyamid-Mantel. Ablängen der Schnur nur nach Anleitung des Herstellers!

Im Folgenden werden einige einfache Anwendungen der AS dargestellt. Die Zeichnungen sind (ohne Text) dem Buch von Marbach & Tourte entnommen.

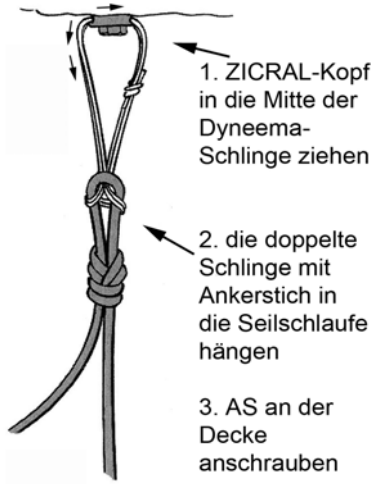


Abb. 3: AS als Deckenverankerung

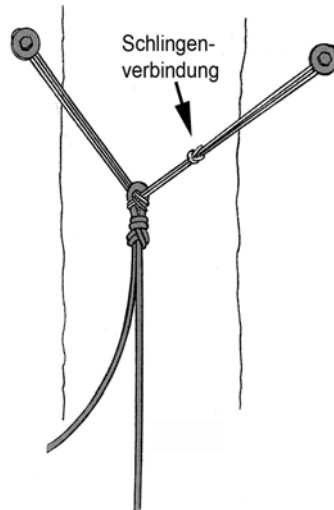


Abb. 4: Ypsilon-Seilbefestigung an zwei AS



Abb. 5: Ypsilon-Befestigung an einer normalen Lasche und einer AS

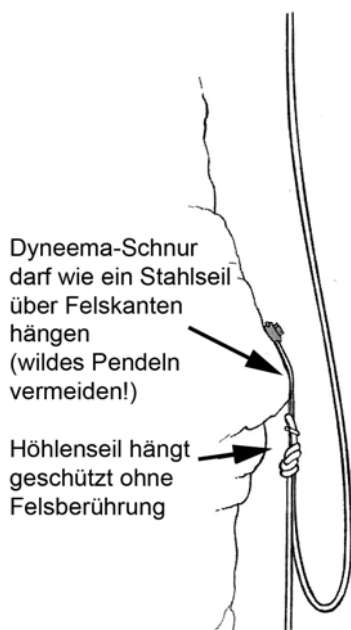


Abb. 6: AS als Seilschutz (z.B. Spit über Reibestelle)

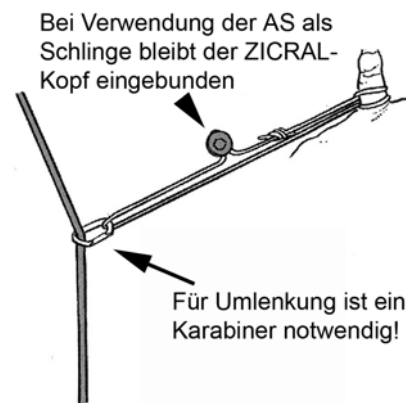


Abb. 7: Die AS-Einheit kann wie eine Bandschlinge an natürlichen Verankerungen verwendet werden

Literatur, Information

- 📖 Arnaud, J. (2005): *La cordelette dyneema® en speleologie*. – Les cahiers de L'EFS Nr. 13, Lyon, 32 S.
- 📖 Marbach, G., Tourte, B. (2000): *Alpine caving Techniques. A complete Guide to Safe and Efficient Caving*. – 1st English Edition, Speleo Projects, 320 S, ISBN 3-908495-10-5

Grundelemente der Höhlendokumentation

Die wichtigste Tätigkeit des Höhlenforschers im Gelände ist die Dokumentation neu entdeckter Höhlen(teile) und die Weitergabe dieser Daten an die Allgemeinheit, insbesondere an den jeweils zuständigen katasterführenden Verein zum Wissensaustausch mit anderen Höhlenforschern und als Grundlage für den Höhlenschutz und für weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen.

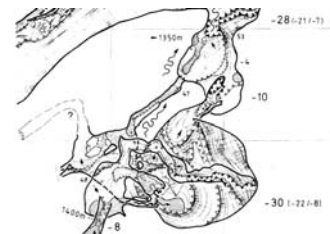
Der Höhlenforscher ist dabei fachübergreifend tätig. Seine Dokumentationen sollen für Fachleute aus unterschiedlichen Wissenszweigen verständlich und nutzbar sein. Daher sollte sich der Höhlenforscher Basiswissen in den relevanten Fachgebieten wie Geologie, Hydrologie, Biologie u. a. aneignen.

Zumeist, jedenfalls bei jeder Erstforschung handelt es sich um Zustandsbeschreibungen in Form von **Momentaufnahmen**. Vor dem Hintergrund der Klimaforschung und steigender Naturschutzinteressen wird in Zukunft die Dokumentation zeitlicher **Veränderungsprozesse** eine zunehmende Bedeutung erlangen. Von zahlreichen Höhlen und Karstgebieten liegen dafür bereits vergleichbare Forschungsdaten vor, die über Jahrzehnte zurückreichen.

Woraus besteht eine Höhlendokumentation?

Plandokumentation:

Darstellung der erforschten oder untersuchten Höhlen(teile) in Grundriss, Längsschnitt usw. Höhlenforscher sind als letzte Neuland-Entdecker des Erdballs vor allem Kartographen!



Textdokumentation:

In einem **Forschungsbericht** werden die durchgeführten Tätigkeiten und die erforschten Objekte beschrieben. Kleinere Berichte werden üblicherweise in den höhlenkundlichen Vereinszeitschriften publiziert, größere Zusammenhängende Forschungen in eigenen Publikationen. Messdaten etc. werden meist nur im Katasterarchiv abgelegt.



Bild- und Tondokumentation:

Festhalten der Höhlen(teile) und Höhleninhalte auf Fotos, in Filmen und Zeichnungen etc.

Von besonderer Bedeutung ist ein Foto des Höhleneinganges, darüber hinaus sollten diese Medien für Besonderheiten der jeweiligen Höhle genutzt werden (vor allem um Dinge zu zeigen, die für andere unerreichbar sind).



Messungen, Aufsammlungen, Proben:

Eine fachspezifische Sammlung von Daten (z.B. Temperatur- und Radonmessungen) und Material (Knochen, Höhlentiere, Sinter, Sedimente,...) ist nur in enger Zusammenarbeit und unter Anleitung von Wissenschaftlern sinnvoll.



Veröffentlichungen wie **Vorträge, Ausstellungen, Internet-Sites** und **Zeitungsberichte** dienen vor allem der Allgemeinbildung, der Präsentation der eigenen Leistungen zwecks Projekt-Unterstützung, gutem Einvernehmen mit Grundeigentümern, usw. – sie können aber die Dokumentationsarbeit nicht ersetzen!

Das Österreichische Höhlenverzeichnis

Als 1949 der Verband Österreichischer Höhlenforscher gegründet wurde, stand als eine wesentliche Aufgabe die Schaffung eines flächendeckenden Höhlendokumentationssystems sofort im Zentrum der Arbeit. Seit dieser Entscheidung werden Daten von Höhlen in Österreich und im Bayerischen Alpenraum nach einheitlicher Struktur gesammelt und dokumentiert.

Im Österreichischen Höhlenverzeichnis (ÖHV) werden alle bekannten Höhlen mit einer **eindeutigen Katasternummer**, bestehend aus der Kennziffer des Gebietes und der fortlaufenden Höhlennummer, sowie einen Höhlennamen erfasst. Darüber hinaus werden gemeinsam festgelegte Informationen zu jeder Höhle festgehalten. Es sind dies:

- Gemeindecodex (gibt Aufschluss über Bundesland und Gemeinde),
- Bezeichnung mehrerer Eingänge,
- Kennzeichnung des Schutzes,
- Längen und Tiefen in Größenklassen,
- Ganglänge, Höhenunterschied, Horizontalersteckung,
- Höhlenart (Typ)
- Stand der Erforschung (Code),
- Nummer der ÖK50 (oder/und ÖK50-UTM)
- BMN-Koordinaten (oder/und UTM-Koordinaten), Genauigkeit der Koordinatenangabe
- Seehöhe und Lageangabe.

Über diese Informationen im ÖHV hinaus werden alle vorhandenen Unterlagen (Berichte, Fotos, Pläne usw.) nach Katasternummern geordnet bei den katasterführenden Vereinen in einem Höhlenkataster (➔ MB B3) archiviert.

Hierarchisches Gliederungssystem

Zur Archivierung der österreichischen und bayerischen Höhlen wurde ein hierarchisch gegliedertes, naturräumlich begrenztes Gliederungssystem entwickelt. Zur Grenzziehung wurden vorwiegend hydrographische Tiefenlinien, selten geologische Grenzen oder (insbesondere in Plateaubereichen) markierte Steige verwendet, und die Grenzen wurden anhand der topographischen Karte 1:50 000 verbal festgelegt.

Insgesamt besteht das *Kennziffersystem* des Höhlenverzeichnisses aus vier Hierarchieebenen:

Großeinheiten (1000, 2000, 3000 und 6000, in Ungarn 4000 und 5000). Diese Großeinheiten werden jeweils von West nach Ost in **Hauptgruppen** unterteilt (z.B.: 1100 bis 1900 usw.). Diese Hauptgruppen werden weiter gegliedert in **Untergruppen**, diese wiederum in die kleinsten, verbal umschriebenen **Teilgruppen** (insgesamt 537) gliedert.

Innerhalb einer Teilgruppe, die nun durch eine vierstellige Kennziffer festgelegt ist, werden die Höhlen, mit Schrägstrich von der Teilgruppennummer getrennt, fortlaufend nummeriert. Dadurch ist auch gewährleistet, dass Höhlen gleichen Namens zumindest durch die unterschiedliche „**Katasternummer**“ unverwechselbar festgehalten sind. Außerdem ist so bereits durch die Katasternummer eine grobe Zuordnung der Lage der Höhle innerhalb Österreichs möglich. Das Teilungsschema wird auf der folgenden Seite graphisch dargestellt.

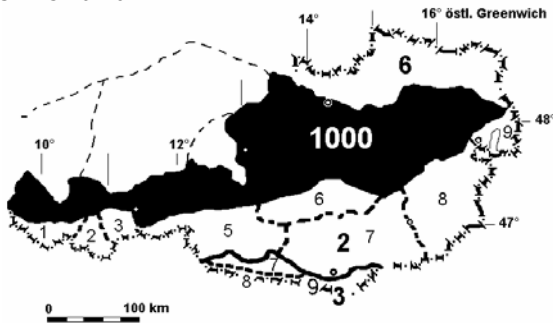
Da die Grenzziehungen auf naturräumlicher Basis erfolgten, spielen administrative Grenzen (Bundesländergrenzen) kaum eine Rolle. An der Grenze zu Deutschland überschreiten die Teilgruppen südlich der Donau auch die Staatsgrenze (von den österreichischen Bundesländern Vorarlberg, Tirol und Salzburg zum deutschen Bundesland Bayern).

Weiterführende Informationen

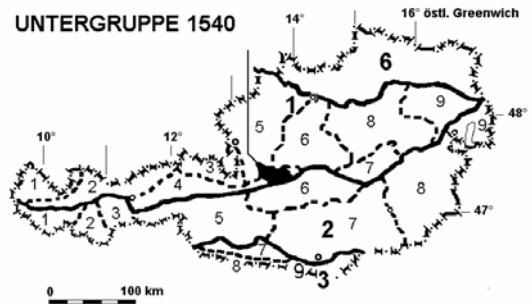
- 📖 Stummer, G.; Plan, L. (2002): *Speldok-Austria. Handbuch zum Österreichischen Höhlenverzeichnis inklusive bayerischer Alpenraum.* – VÖH & KHA am NHM/Wien, Speldok 10, Wien, 132 S..

Beispiel zur hierarchischen Gliederung anhand einer konkreten Höhle:

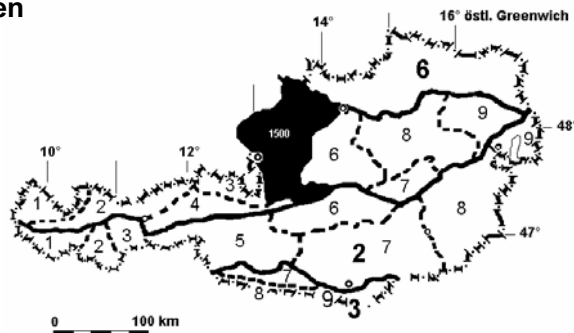
Großeinheit 1000: Nördliche Kalkalpen und
Alpenvorland



Untergruppe 1540: Dachstein



Hauptgruppe 1500: Westliche Salzkammergut-
alpen



Teilgruppe 1547: Krippenstein – Dachstein-
Höhlenpark



1547/17: Dachstein-Rieseneishöhle

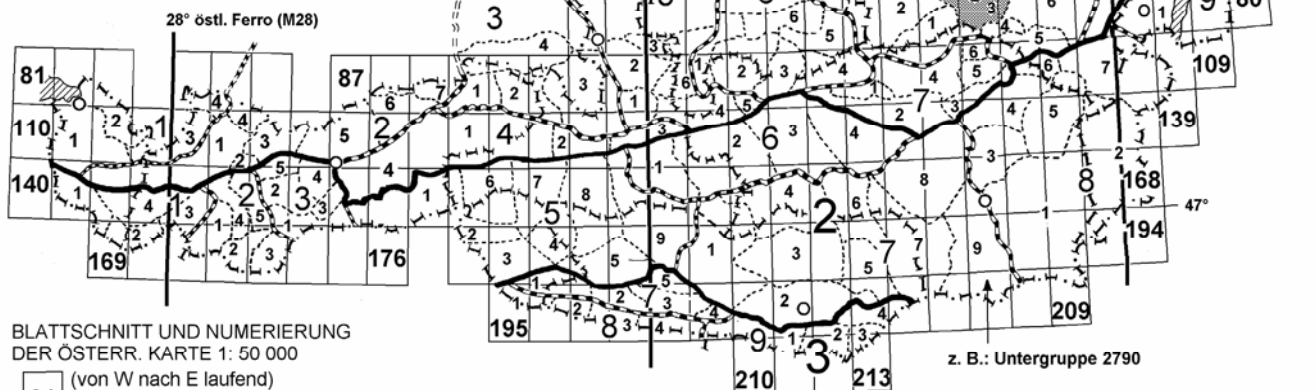
1547/17a: Unterer Eingang

Überblick über die hierarchische räumliche Gliederung des ÖHV bis zur Untergruppe:

DIE KLEINSTE EINHEIT (Teilgruppe,
4. Stelle der Kennziffer) IST NICHT
MEHR AUSGEWIESEN

KENNZIFFER	STELLE	BEZEICHNUNG	SIGNATUR
1	1.Stelle	GROSSEINHEIT	
8	2.Stelle	HAUPTGRUPPE	
3	3.Stelle	UNTERGRUPPE	

DAS BEISPIEL KENNZEICHNET DIE
UNTERGRUPPE 1830 (siehe Raster
in der Karte)



BLATTSCHNITT UND NUMERIERUNG
DER ÖSTERR. KARTE 1: 50 000

81 (von W nach E laufend)

--- BUNDESGRENZE - - - LANDESGRENZE O LANDESHAUPTSTADT

Neuaufnahme einer Höhle

In der Aufbauphase des Österreichischen Höhlenverzeichnisses (ÖHV; bzw. des Höhlenkatasters der Vereine) sind auch Höhlen mit derart mangelhaften Unterlagen aufgenommen worden, dass sie nicht wiederauffindbar oder nicht eindeutig zuzuordnen waren. Mit den heutigen Mitteln sollte dies nicht mehr der Fall sein. Wird daher nun eine Höhle neu ins Kennziffersystem (ÖHV, Kataster) aufgenommen, ist vorerst festzustellen in welcher Teilgruppe die Höhle liegt, und bei dem für diese Gruppe zuständigen katasterführenden Verein um eine Katasternummer zu ersuchen. Um Doppelmeldungen und sogenannte "Katasterleichen" zu vermeiden, ist folgende Regel als Beschluss der Generalversammlung des Verbandes Österreichischer Höhlenforscher 1983 festgeschrieben worden:

Neu entdeckte Höhlen werden von den zuständigen Katasterführern nur dann mit einer Nummer in das Österreichische Höhlenverzeichnis aufgenommen, wenn über diese Höhle Unterlagen vorgelegt werden, die eine sichere Wiederauffindbarkeit (Lage- und Zugangsbeschreibung, Koordinaten, Seehöhe) und eine eindeutige Identifizierbarkeit (Beschreibung, Plan, Foto) garantieren.

Wiederauffindbarkeit

Wenn eine im ÖHV erfasste Höhle (etwa im Zuge umfassender Untersuchungen, Fragestellungen oder zur weiteren Bearbeitungen) wieder besucht werden soll, muss sie auch wieder auffindbar sein. Dazu dienen vor allen die topographischen Daten (Lage- und Zugangsbeschreibung, Koordinaten, Seehöhe sowie Nummer der ÖK) und administrativen Festlegungen (Bundesland, Verwaltungsbezirk und Gemeinde).

Die **topographische Verortung** ist für die Wiederauffindbarkeit die Wichtigste. Die **Lagebeschreibung** führt vorerst in einen eingegrenzten Bereich. Die **Zugangsbeschreibung** hält dazu den günstigsten Zugang fest (Koordinaten reichen dazu nicht) und erwähnt auch eventuell vorhandene Beschränkungen. Die exakteste Lageverortung stellen die **Koordinaten** (Bundesmeldenetz/UTM-Koordinaten) dar, die auf verschiedenste Weise erhoben werden können und für die ein Genauigkeitsgrad angegeben werden sollte. Die **Seehöhe** eines Höhlenobjektes ist in Zusammenhang mit den Koordinaten und der Zugangsbeschreibung ein unverzichtbares Element der „Wiederauffindbarkeit“. Um überhaupt die für die Wiederauffindbarkeit zur Verfügung stehenden Informationen nutzen zu können, ist die **Angabe der topographischen Grundlage** (ÖK oder andere Kartenwerke) erforderlich. Sehr häufig wird diese Information (obwohl sie im ÖHV vorgesehen ist) nicht angeführt (sie ergibt sich zwar indirekt aus anderen Informationen – etwa Koordinaten – doch die Recherche ist mühsam).

Die **administrative Verortung** einer Höhle (ihre Lage innerhalb eines Bundeslandes, eines Verwaltungsbezirkes oder einer Gemeinde) stellt zwar in der Regel kein Kriterium zur „Wiederauffindbarkeit“ dar, ist jedoch vor allem hinsichtlich der gesetzlichen Lage (Höhlenschutz) oder anderer verwaltungstechnischer und politischer Zuständigkeiten von Interesse.

Identifizierbarkeit

Auch wenn man aufgrund von topographischen Lageangaben eine Höhle aufgefunden hat, steht noch immer nicht eindeutig fest, ob es sich um das gesuchte Objekt handelt (insbesondere wenn viele Höhlen in unmittelbarer Nähe liegen). Es ist daher erforderlich, über die Lage hinaus weitere Informationen über diese Höhle zu besitzen. Eindeutig ist eine Markierung der Höhle mit der Katasternummer (in Salzburg etwa durch dauerhafte Metallplättchen der Behörde). Als eindeutiger „Fingerabdruck“ sind auch eine **Lageskizze**, ein **Höhlenplan**, eine **Höhlenbeschreibung** und **Fotos** des Höhleneinganges und des Höhleninneren geeignet.

Schlussbemerkung

Jeder Höhlenforscher, der eine Höhle (nach den hier beschriebenen Grundsätzen) bearbeitet, sollte bedenken: Er selbst kennt die Lage und die Besonderheiten ganz genau. Grundsätzlich hält er das, was er kennt, nicht für sich, sondern für weitere Nutzungen (Kataster, ÖHV, wissenschaftliche Bearbeitungen) fest. Darüber hinaus scheinen viele Berichterstatter Angst zu haben, ihre Beobachtungen und Kenntnisse zu Papier zu bringen. Das ist völlig falsch. Hinweise (Sagen, Hinweise aus der Bevölkerung, Beobachtungen und Meinungen), auch wenn nicht alle auf ihren „Wahrheitsgehalt“ überprüft werden können, sind überaus wertvoll.

Systematische Prospektion im Gelände

- ☺ Die Erkundung unerforschter Karstgebiete zählt zu den spannendsten Aktivitäten der Höhlenforschung.
- ☹ Bei unsystematischer Durchführung ohne entsprechende Vorbereitung kann sie allerdings leicht zu einem mühsamen, aber erfolglosen Herumstiefeln im Gelände geraten oder zur vermeintlichen Entdeckung längst erforschter Höhlen führen.

Vorinformation + Hilfsmittel

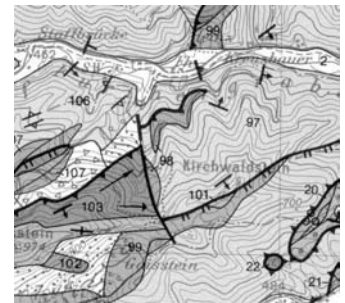
- **Höhlenverzeichnisse und Höhlenkataster:** sind in einem Gebiet schon Höhlen bekannt, erforscht; wie viele, wie weit liegt das zurück, wie sehen diese Höhlen aus?
- **Höhlenkundliche Literatur:** Bibliotheken der Vereine und des VÖH nutzen!
- **(Alpin-)Literatur:** vor allem Gebiets-, Wander- und Kletterführer
- **Landkarten:** in Österreich die Österr. Karte 1:50.000 (digital: austrian map) und die Gebietskarten des ÖAV 1:25.000. Landkarten geben Auskunft über die Geländebeschaffenheit und Gewässernetz. Gute Karten zeigen auch geologische- und Karststrukturen. Manchmal sind Geländebezeichnungen in den Karten Hinweise auf Höhlen (z.B. „In den Eislöchern“). Eingetragene Höhlen und verdächtige Bezeichnungen sind in Mitteleuropa aber praktisch vollständig höhlenkundlich ausgewertet.

Ausschnitt aus der AV-Karte 14a, Gosaukamm, 1:10.000:
 Aus guten Landkarten sind Störungslinien gut ablesbar.



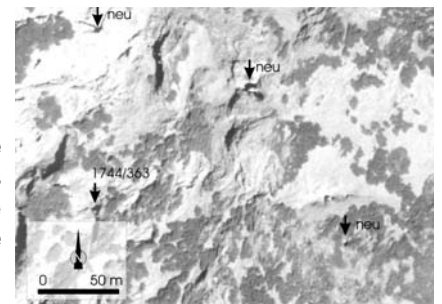
- **Geologische und Geomorphologische Karten** (in Österreich v.a. die „Geolog. Karte der Rep. Österreich 1:50.000; zu beziehen bei der Geolog. Bundesanstalt): Verbreitung verkarstungsfähiger Gesteine, wichtige Störungslinien usw.

Ausschnitt aus der Geologischen Karte
 der Republik Österreich 1:50.000



- **Karstverbreitungskarten:** Überblick über Karstformen, Höhlen und Quellen
- **Karten der Niederschlagsverteilung** und andere thematische Karten (GIS-Systeme der Landesbehörden abfragen!)
- **Luftbilder, Orthophotos** (in Österreich: Bundesamt f. Eich- und Vermessungswesen), **Infrarotbilder**

Orthophoto (= entzerrtes Luftbild) mit Schachteinstiegen. Die Höhle rechts unten in den Latschen wäre wahrscheinlich ohne dieses Hilfsmittel nicht entdeckt worden. Im Gegensatz zu Landkarten ist die natürliche Beleuchtung aus einer südlichen Richtung, was für unsere 3d-Wahrnehmung ungewohnt ist.



vor Ort:

- **Geländefotos** vorher gezielt aus der Luft (für Plateaus) oder von benachbarten Bergen (für Steilflanken, Teleobjektiv!) aufnehmen
- **Befragung** von Einheimischen, Gebietskennern, Förstern und Waldarbeitern

Werkzeug im Gelände

- **Arbeitskarten** von vergrößerten Kartenausschnitten in SW, mit eingetragener Vorinformation
- **Farbkopien** von vergrößerten Kartenausschnitten (1:10.000)
- **Geländefotos** mit Eintragung von möglichen Höhlenportalen
- **GPS-Gerät**
- **Höhenmesser:** ideal sind Multifunktions-Armbanduhren
- **Vermessungsgeräte, Maßband, kl. Zeichenmappe**
- **Fernglas**
- **Markierungsfarbe:** Kreide od. Dispersionsfarbe für Messpunkte, nicht im Gelände „herumkleckern“ – das sorgt für Unmut beim Grundeigentümer!
- **Fotoapparat:** digital für rasche Auswertung oder reine Dokumentation besser (z.B. Höhleneingangsfotos), Diafilm wenn hohe Auflösung benötigt wird (Gelände- und Luftbilder)
- **Helm + Lampe:** LED-Stirnlampe für Erkundung ausreichend!
- **Leichtschluz + Handschuhe:** ev. genügt alte Regen-Überkleidung
- **Kletterseil** für außen und innen! Abgesehen von Begehungen im Klettergelände ist es beim Erkunden nicht sinnvoll, mehr als ca. 40 m mitzunehmen
- **Leichtsteigzeug:** z.B. 2 Tibloc-Klemmen
- **Alpin- und Kletterausrüstung** (je nach Gelände)

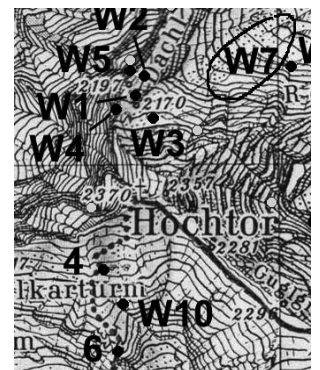
Wie bereitet man die Geländebegehung vor?

1. gesammelte Unterlagen auf Höhlenhinweise durchsehen
2. Höhlenhinweise möglichst genau in die Arbeitskarte einzeichnen
3. geologische u. topographische Karten, Luftbilder, Geländefotos werden auf Bereiche mit hoher Höhlenwahrscheinlichkeit (Störungslinien, Strukturen, Schluchten etc.) durchgesehen und diese eventuell ebenfalls in die Arbeitskarte übertragen
4. Zielgebiet und (bei konkreten Hinweisen) Wegrouuten festlegen. (Es besteht die Gefahr, dass beim Aussteigen aus dem Auto einfach in die „schöne Landschaft“ hineinspaziert wird.)

Was ist bei der Geländebegehung zu tun?

- Wie nachfolgend beschrieben, wird das Gelände möglichst systematisch begangen.
- Von jedem entdeckten Höhleneingang (und auch von auffallenden Nicht-Höhlen!) wird die **Seehöhe** und **Lage** bestimmt (barometrisch, Lage mittels GPS und/oder Rückwärtseinschnitt und Karteneintragung) und ein **Foto** aufgenommen.
- Die so erfassten Höhlen werden mit **Arbeitsnummern** festgehalten (nicht beschriftet!) bzw. in der **Arbeitskarte eingetragen** und eine **Notiz** geschrieben: z.B. Charakteristik, Wetterführung, Eis, wie weit begangen, notwendiges Material,... (nach 1-2 Tagen im Gelände erinnert man sich nicht mehr!)

▶
 Arbeitskarte mit unterschiedlichen Farb- und Zifferncodes für fertig dokumentierte Höhlen, noch zu bearbeitende Objekte etc. Je nach Bedarf können Ausschnitte aus der ständig aktualisierte Karte in unterschiedlichen Vergrößerungen ausgedruckt ins Gelände mitgenommen werden.



- Der begangene Weg oder Geländeabschnitt wird in der Arbeitskarte eingetragen (Linie, Schraffur)

Wie sucht man systematisch?

- Teamarbeit: aus Sicherheitsgründen nie allein gehen! Die Arbeit in Kleingruppen kann frustrierend sein, weil man „nicht weiterkommt“, Gruppen über 5-6 Personen sollten sich und das Gelände aufteilen, sonst entsteht hoher Kommunikationsaufwand. Achtung: die mögliche „Tagesleistung“ wird oft überschätzt!
- Bequemes, übersichtliches Gelände wird streifenweise mit ständigem Blick- oder zumindest Rufkontakt abgegangen. So vermeidet man Lücken oder Doppelbegehungen.
- Für schwierigeres, unübersichtliches Gelände werden Geländemarken (z.B. Wege, Felswände,...) vereinbart und die so abgegrenzten Geländeflecken in Zweierteams (Sicherheit!) begangen.
- Zu vereinbarten Uhrzeiten trifft man sich wieder und bespricht die jeweiligen Entdeckungen und das weitere Vorgehen. Bei Empfang sind Handys, ansonsten kleine Funkgeräte sehr hilfreich.

Soll man die entdeckten Höhlen sofort befahren und vermessen?

Das hängt von den jeweiligen Schwierigkeiten an der Oberfläche und in der Höhle ab:

- Wird ein flaches Karstplateau nach Schachteinstiegen abgesucht, wird man die entdeckten Schächte später gesondert untersuchen, weil man ja leicht wieder hinkommt und eine Menge an Befahrungsmaterial mitschleppen müsste.
- Wird steiles Klettergelände oder ein sehr entlegenes Gebiet abgegangen, wo z.B. eher nur horizontale Kleinhöhlen zu erwarten sind, sollte man diese auch gleich dokumentieren, da ein neuerlicher Zustieg mühsam und schwierig (und die Motivation wiederzukommen gering) wäre, aber die Höhlenaufnahme keine besonderen Zusatzmühen bereitet.
- ➔ Zwischen diesen beiden Extremen muss je nach Situation ein geeigneter Kompromiss gesucht werden! Soweit die Höhlen schnell, gefahrlos und ohne besonderes Material begangen werden können, sollte man sie jedenfalls untersuchen, um möglichst gute Vorinformationen für eine spätere genaue Erforschung zu liefern.

Nachbereitung

- Für spätere eigene Aktivitäten oder nachfolgende Forscher wird kurz festgehalten, wer wann unter welchen Bedingungen welches Gelände begangen hat.
- Von jedem Loch werden Lage und Notiz wiedergegeben (z.B. „*verstürzter Schluf mit starker Wetterführung*“) und eine Karte mit der Eintragung des begangenen Geländes beigelegt.
- Diese Unterlagen sollten in den Katasterarchiven zugänglich gemacht werden. Bei einer späteren „Hauptexpedition“ ist man über die eigenen Notizen selbst froh. Leider ist die Dokumentation von Geländebegehungen hierzulande noch recht unüblich. Aus diesem Grund werden manche Gebiete von verschiedenen Forschergenerationen und -gruppen wiederholt abgegrast, was nicht sehr sinnvoll ist.



Nach der Begehung wird das begangene Gelände
in einer Kartenkopie festgehalten.



Wie findet man große Höhlen?

Ausgedehnte Höhlen zu finden ist eine Hauptmotivation für uns Hobby-Höhlenforscher. Hat man einmal ein Gebiet mit guten Voraussetzungen für Höhlenbildung (► *Merkblätter C*) ausgewählt, geben folgende Dinge Hinweise auf erhöhte Erfolgsaussichten:

- Gebiete, die lt. Karte von wenigen großen Karstquellen entwässert werden.
- Höhenlagen, in denen in der Umgebung ausgedehnte „Höhlenniveaus“ oder Höhlenhäufungen festgestellt wurden.
- In Landkarten oder im Gelände erkennbare Störungslinien wie Gräben, Schluchten.
- Steilabfälle von Plateaus.
- Im Winter ausgeschmolzene Höhleneingänge oder Stellen der Oberfläche. Der Frühwinter ist eine gute Zeit, um wetterführende Höhlen zu suchen! Wärmebildkameras sind leider sehr aufwändig und nur wenigen zugänglich.
- Noch eher in den Kinderschuhen stecken geophysikalische Methoden, diese werden aber zukünftig beim Aufspüren größerer oberflächennaher Räume eine Rolle spielen.
- Oberflächliche Karstformen, besonders Dolinen, Schwinden, Quellen.

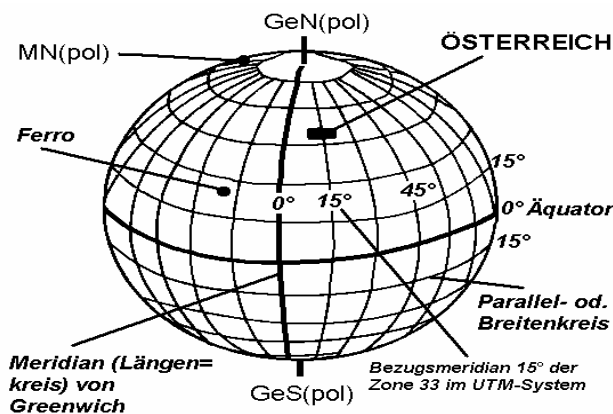
Auch in sehr gut verkarsteten Gebieten muss man mit einem Verhältnis in der Größenordnung von 1:100 rechnen: Auf 100 „Nieten“ kommt vielleicht eine wirklich ausgedehnte Höhle. Diese findet man aber auch nur dann, wenn man **alle** Höhlen genau untersucht und bis in den hintersten Winkel erforscht.

Viele Höhlen wurden ohne großen technischen Aufwand entdeckt, aber nur wenige ohne körperliche Mühe, beharrliche Neugier und Ausdauer!

Kartenprojektionen

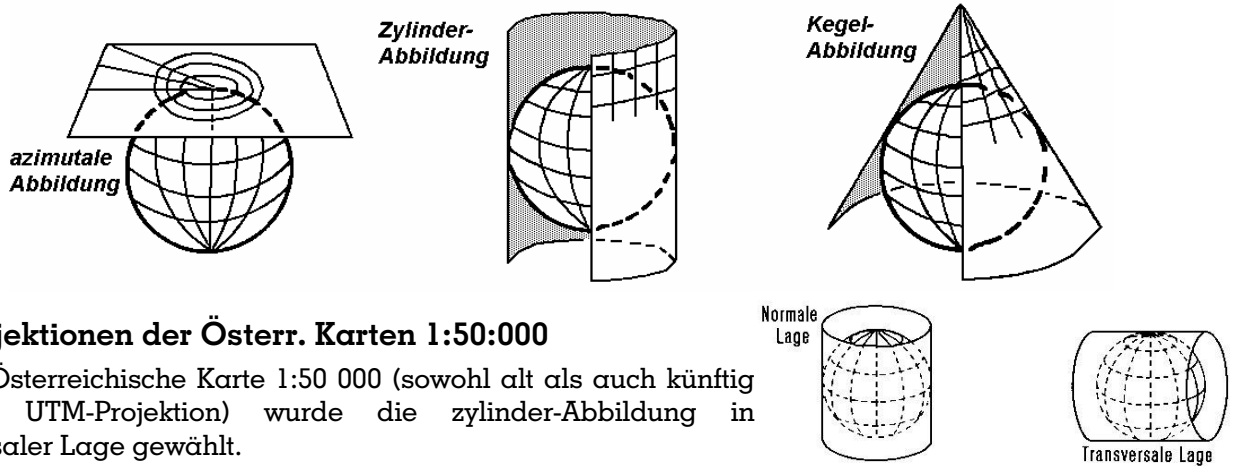
Der Höhlenforscher hat laufend mit nach geographisch nord orientierten Karten und nach magnetisch Nord orientierten oder auch nach Gitternord (BMN, UTM) orientierten Höhlenplänen und Vermessungsdaten zu tun (➔ MB B25). Ein Basiswissen über das Gradnetz der Erde und über Kartenprojektionen dient daher dem besseren Verständnis.

Die (unregelmäßige) Form der Erde wird als **Geoid** bezeichnet (und vereinfacht als **Ellipsoid** bzw. ganz einfach als Kugel angesprochen). Diese unregelmäßige Form lässt sich jedoch nicht in eine Karte projizieren, daher nähert man das Geoid einem Ellipsoid an. Dieses Ellipsoid kann nun mathematisch exakt definiert werden und durch verschiedene Projektionsarten verebnet (= in eine Kartenebene gebracht) werden.



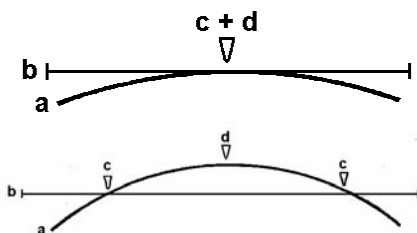
Die Erde wird in Nord-Süd-Richtung von Meridianen (Längengraden) überzogen, die ihren "Nullpunkt" im Meridian von Greenwich (Sternwarte bei London) haben. Man spricht von östlicher und westlicher Länge. Der für die Gradabteilung der ÖK50 (alt) herangezogene Nullmeridian von Ferro (auf einer der Kanarischen Inseln) liegt 17° 40' westlich Greenwich. Die Breitenkreise beginnen am Äquator und steigen zum jeweiligen Pol nördlich oder südlich zum Wert 90° an. Durch die geographische Länge und Breite kann daher jeder Punkt der Erde festgelegt werden (Geographische Koordinaten).

Der magnetische Nordpol ist nicht stabil und liegt derzeit rund 1500 km vom geographischen Nordpol entfernt im Norden Kanadas. Auf der Grundlage eines festgelegten Ellipsoids (ist für verschiedene Länder unterschiedlich, auch für die alte ÖK50 und die neue ÖK50-UTM) können nun durch geeignete Projektionsverfahren Karten „verebnet“ werden. Die häufigsten Projektionsarten sind:



Die Projektionen der Österr. Karten 1:50:000

Für die Österreichische Karte 1:50 000 (sowohl alt als auch künftig neu in UTM-Projektion) wurde die zylinder-Abbildung in transversaler Lage gewählt.



ÖK50 (alt): TMP (Transversale Mercator-Projektion, Gauß-Krüger-Projektion). Der transversal gelagerte Zylinder berührt das Ellipsoid an den Haupt- (Bezugs)meridianen 28°, 31° und 34° östl. Ferro. Ausgehend **ÖK50-UTM (neu):** UTM (Universale Transversale Mercator-Projektion). von diesen Hauptmeridianen werden 3° breite Streifen verebnet.

Der transversal gelagerte Zylinder nimmt die Meridiane 12° und 15° östl. Greenwich als Hauptmeridiane (berührt das Ellipsoid aber dort nicht) und es werden 6° breite Streifen abgebildet (Zonen 32 und 33).

a: Erdoberfläche, b: Abbildungsebene, c: Schnittmeridian (Berührungsmeridian), d: Hauptmeridian (Bezugsmeridian) des Koordinatensystems

Methoden zur Lageermittlung

Dank der Koordinatensysteme, GPS und der öffentlich nutzbaren Geographischen Informationssysteme (GIS) der Gebietskörperschaften (z.B. STEGIS in der Steiermark) hat die Lageermittlung innerhalb der letzten Jahre die größten Fortschritte in der Höhlendokumentation gebracht. Je nach Situation kommen folgende, auf weiteren Merkblättern näher beschriebene Methoden zum Einsatz:

1. Landkarte

Liegt eine Höhle an einem markanten Geländepunkt (Gipfel, Scharte, Einzelgebäude,...) oder ist sie ev. sogar lagerichtig eingezeichnet (nicht immer ist der Eintrag korrekt), kann die Lagebestimmung allein mit Hilfe einer topographischen Karte erfolgen. Diese Situationen sind aber oft nicht gegeben und zudem ist meist eine der folgenden, genaueren Methoden anwendbar. Allerdings ist zur *Beschreibung* der Lage einer Höhle in jedem Fall eine Landkarte erforderlich. Zwecks Nachvollziehbarkeit (Ortsnamen, Schreibweisen,...) sollte nach Möglichkeit eine amtliche Karte (AMAP) oder ein anderes gebräuchliches Kartenwerk (z.B. Alpenvereinskarten) verwendet werden. ➔ MB B8-9

2. Orthofoto und Satellitenbilder

Von einigen Bundesländern liegen flächendeckend digital über Internet kostenlos abrufbare Orthofotos vor, die mittels Zoom-Funktion bis zu einem Maßstab von 1:1000 vergrößert werden können und in denen eine punktgenaue Koordinatenangabe im gewünschten Koordinatensystem abgerufen werden kann. Abgesehen von stark abgeschatteten Schluchten oder Flächen mit geschlossener Waldbedeckung sind damit hervorragende Genauigkeiten erzielbar, im freien Felsgelände sind selbst kleine Schachteinstiege identifizierbar. Außer den öffentlichen Produkten sind Orthofotos, da relativ teuer, nur im Rahmen größerer Projektpartnerschaften verfügbar. Das Internet-Produkt „Google-Earth“ ist in Österreich derzeit erst für einzelne Gebiete hoch aufgelöst, erreicht aber auch dort nicht die Qualität der amtlichen Orthofotos. Technisches über Orthofotos ➔ MB B13

3. GPS

Die heutige Standard-Methode! Sie wird daher in ➔ Merkblatt B21 ausführlich dargestellt. Selbst beim Einsatz anderer Methoden sollte zur Kontrolle eine GPS-Einmessung erfolgen. Die GPS-Technik findet ihre Grenzen allerdings bei geländebedingt eingeschränkter Sicht, am Fuß hoher Felswände und in dichten Wäldern. Zudem muss ausdrücklich vor einer Fehlinterpretation der auf den Geräten angezeigten „Genauigkeit“ (= aufgrund der jeweiligen Satellitenkonstellation mathematisch *anzunehmende* Messgenauigkeit) gewarnt werden. Die im privaten Bereich verwendeten Geräte sind zur Orientierung konstruiert und eigentlich keine Vermessungsgeräte!

4. Geodätische Lageermittlung (Vorwärts-/Rückwärtseinschnitt)

Diese Technik kann bei schlechtem GPS-Empfang immer noch notwendig oder zur Orientierung vorteilhaft sein. Außerdem kann auch einmal der GPS-Empfänger nicht zur Hand sein. Zur genauen Lagermittlung ist die Sicht auf genau verortete Fixpunkte und die Kenntnis der Deklination wichtig. Eine nach wie vor wichtige Anwendung ist in der Höhenermittlung (➔ MB B22) gegeben. ➔ MB B23

5. Bussolen- oder Theodolit-Außenvermessung

Bis vor wenigen Jahren war die Einmessung von Höhlen mittels **Theodolit** (trigonometrischer Anschluss an das amtliche Festpunktnetz) die einzige Möglichkeit einer genauen Lageermittlung, und daher für die Kartierung von Höhlenballungsgebieten und größerer zusammenhängender Höhlen unerlässlich. Die Arbeit mit dem Theodolit erfordert aber spezielle Ausbildung, ist teuer und aufwändig.

Bussolenvermessungen an der Oberfläche sind zur Darstellung des Geländes über den Höhlen, zur Orientierung insbesondere bei Höhlenballungen oder zum Anschluss versteckt liegender Eingänge an einen Punkt mit freier Sicht für GPS nach wie vor wichtig. Dabei kann die selbe Technik wie in der Höhle angewandt werden. ➔ MB B26-33

Weiterführende Informationen:

www.geoland.at mit Links zu den amtlichen GIS-Systemen der Bundesländer

www.bev.gv.at mit Informationen zu den amtlichen Kartenprodukten, v.a. digitalen amtliche Karte AMAP

Lageermittlung mit GPS

Allgemeines

GPS ist die Abkürzung für Global Positioning System, eine Technik, die in den 70er-Jahren vom amerikanischen Militär entwickelt wurde und seit den 80er-Jahren in Betrieb ist. Seit den 90er-Jahren sind Handgeräte zu erwerben, deren Genauigkeit erstaunliche Ausmaße angenommen hat während die Preise in erschwinglichen Höhen geblieben sind. Somit eignen sich diese Geräte hervorragend zur Einmessung neuer und zur Auffindung bekannter Höhlenportale.

Ursprünglich wurde dem Signal vom amerikanischen Verteidigungsministerium ein künstlicher Fehler hinzugefügt (SA = **S**electiv **A**vailability), um für andere User die Genauigkeit zu vermindern (Streuung rd. 100m). Am 1.5.2000 wurde diese SA abgeschaltet, wodurch die Genauigkeit für zivile Nutzer sprunghaft von 100 auf 20 m anstieg. Durch weitere technische Verbesserungen (z.B. EGNOS) liegt die heutige Genauigkeit bei durchschnittlich gutem Empfang bei rd. 5 - 10 Metern.

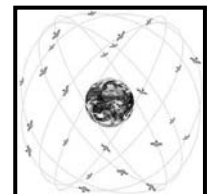
Für die Verwendung solcher GPS-Empfänger sind allerdings einige Grundkenntnisse Voraussetzung oder zumindest sehr hilfreich. Die eigentliche Funktion des gesamten Systems muss dem User zwar nicht detailliert bekannt sein, zum Verständnis der zu erreichenden Genauigkeit oder auch nur zur Erweiterung des Bildungshorizonts sollen die Eckdaten hier trotzdem angeführt werden:

Die 3 grundlegenden Segmente

Das GPS besteht aus 3 grundlegenden Segmenten:

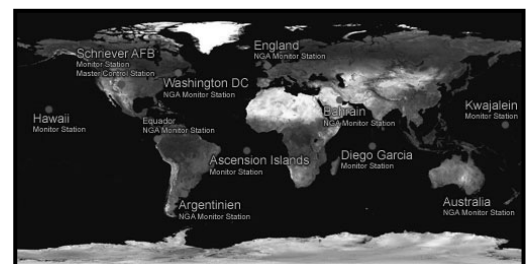
➤ Weltraumsegment

Mindestens 24 Satelliten kreisen mit einer Geschwindigkeit von rd. 14000 km/h in einer Höhe von rd. 20000 km um die Erde, was eine Umlaufzeit von ca. 12 Stunden ergibt. Die Bahnen verlaufen in 6 Ebenen die jeweils um einen Horizontalwinkel von 60° versetzt sind, und alle unter einer Inklination (Erhebungswinkel) von +55° zur Äquatorebene geneigt sind. Diese Bahnkonstellation wurde gewählt, um einerseits eine unnötige Häufung über den Polen zu verhindern, aber andererseits doch genug Satelliten über den Polen zum reibungsfreien Betrieb zu haben. Überall auf der Erde sind jederzeit mindestens 4 Satelliten zu sehen, in den besiedelten Regionen üblicherweise mehr.



➤ Kontrollsegment

Das Kontrollsegment (auch Bodenstation genannt) besteht aus einer Master Control Station (in Schriever bei Colorado Springs), die für die Auswertung der Daten zuständig ist, welche aus den 10+5 Monitorstationen (verteilt über die ganze Welt) permanent übermittelt werden.



➤ Benutzersegment

Der GPS-Empfänger ist heute ein kompaktes Gerät in der Größenordnung eines Handys. Mindestens 12 Kanäle garantieren ein gleichzeitiges Empfangen und Abarbeiten von ebenso vielen Satelliten. Speichermöglichkeit für Punkte und Routen gehören zur Grundausstattung. Optional werden Geräte mit elektronischem Kompass, barometrischem Höhenmesser, Basis- und Detailkarten, SD-Speicherkarten, Autorouting-Programmen, PC-Schnittstelle u.a. ausgestattet.



Positionsbestimmung

Stark vereinfacht sendet jeder Satellit folgende Informationen aus:

- ich bin Satellit Nr...
- meine Position ist gerade...
- diese Nachricht wurde zum Zeitpunkt ... abgeschickt

Natürlich werden auch Bahndaten übermittelt, die für unser Verständnis aber außer Acht gelassen werden dürfen.

Die Positionsbestimmung erfolgt nun in folgenden Schritten:

1. der Empfänger vergleicht die Zeit der Signalsendung mit der Empfangszeit
2. aus dieser Zeitdifferenz wird die Entfernung zum Satellit errechnet
3. mittels „Trilateration“ wird aus mehreren Entfernungen die Position errechnet

„**Trilateration**“ bedeutet, dass ein unbekannter Punkt im Raum durch Entfernungsmessung zu 3 bekannten Punkten eindeutig bestimmt werden kann (Kugelschnitt). Für unseren Anwendungsbereich kommt allerdings noch eine Unbekannte hinzu – *die Zeit*. Obwohl unser GPS-Empfänger mit einer Quarzuhr ausgestattet ist, die schon recht genaue Zeitangabe liefert, so ist sie sicher nicht mit den hochpräzisen Atomuhren der Satelliten zu vergleichen. Diese „falschen Entfernungen“, die durch den Uhrenfehler unseres Empfängers ermittelt werden, nennt man Pseudorange, haben aber zumindest den Vorteil, dass sie alle um den *gleichen Betrag* falsch sind. Wird nun zur Trilateration ein 4. Satellit herangezogen (Überbestimmung), so erhalten wir 3 statt 1 Schnittpunkt. Die Zeit im Empfänger (und somit auch die Pseudorange) werden nun rechnerisch so lange korrigiert, bis die 3 Punkte zu einem einzigen Schnittpunkt zusammenfallen. Pseudorange werden nun zu richtigen Entfernungen und unsere Empfängeruhr mit der Atomuhr der Satelliten synchronisiert.

Fehlerquellen bei der GPS-Messung

- Selectiv Availability (SA)
Dieser künstliche Fehlereinfluss wurde am 1.5.2000 abgeschaltet und besteht somit nicht mehr
- Satellitengeometrie
„schleifende Schnitte“ liefern schlechte Ergebnisse. In der Praxis sollte man darauf achten, dass die Satelliten möglichst gut verteilt sind. Anhäufungen bzw. Anordnung in einer Linie sind unter „schlechte Geometrie“ einzuordnen und liefern entsprechend schlechtere Ergebnisse.
- Satellitenumlaufbahnen
Die leichten Schwankungen der Satellitenumlaufbahnen (z.B. durch Gravitationskräfte) werden durch regelmäßige Kontrollen korrigiert und sind für uns vernachlässigbar.
- Mehrwegeeffekt
Durch Reflexion (z.B. nahe an Haus- oder Felswänden) kann es zur Reflexion des Signals und somit zur Verfälschung der Laufzeit kommen. Verschiebung des Standpunktes wäre dann vorteilhaft. Der Fehler liegt aber meist nur im 1m-Bereich
- Atmosphärische Effekte
Ionosphäre (± 5 m) und Troposphäre ($\pm 0,5$ m) beeinflussen die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Radiosignale. (WAAS / EGNOS liefert Lösungen zu diesem Problem)
- Uhrenungenauigkeit
liefert Fehler von ~ 2 m
- Rundungsfehler
liegen bei ~ 1 m
- Relativistische Effekte
Allgemeine und Spezielle Relativitätstheorie verfälschen unsere Uhren. In Summe gehen die Satellitenuhren rund 38 Microsekunden langsamer als unsere Empfängeruhren. Durch Herabsetzung der Taktung der Satelliten-Atomuhren wird dieser Fehler eliminiert.

Diese theoretische Fehlerbilanz (ohne EGNOS-Korrektur) ergibt eine Genauigkeit von rd. ± 15 m. Ein Wert, den die Praxis durchaus bestätigt. Wie man aber erkennt, haben die atmosphärischen Effekte den weitaus größten Anteil an diesem Fehler, ein Umstand den es in den vergangenen Jahren zu eliminieren galt. Dies führt uns nun zu den Begriffen „DGPS“, „WAAS“ und „EGNOS“.

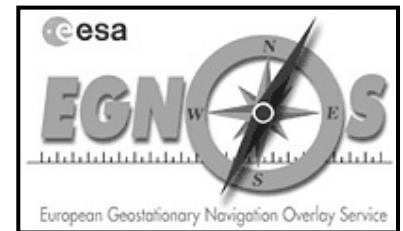
Unter „**DGPS**“ (differentielles GPS) versteht man folgende Technologie:

Man installiert einen separaten Empfänger auf einem koordinativ bekannten Punkt unweit vom Messort („Referenzstation“) und vergleicht die dort gemessenen Koordinaten mit den bekannten Koordinaten. Diese ermittelte Verbesserung gilt am (unweit gelegenen) Messort genauso und kann somit am Messergebnis angebracht werden, sodass eine Genauigkeit von 1 – 5 m erzielt werden kann.

Da solche Referenzstationen von uns (Höhlenforschern und Wanderern) nicht beliebig installiert werden können, wurde die Technologie „WAAS“ (in Amerika) bzw. „EGNOS“ (in Europa) entwickelt.

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)

Über die Landschaft gut verteilt werden sog. RIMS (Ranging and Integrity Monitor Stations) als Referenzstationen eingerichtet, die permanent Korrekturwerte errechnen. Nun wird mittels Interpolation eine ganze „Korrekturkarte“ erstellt und diese Korrekturkarte über einen geostationären Satelliten (im Süden Europas auf 34°) zu den Empfängern gesendet. Ein WAAS-EGNOS-kompatibler Empfänger kann nun nach Empfang dieser Korrekturkarte den für den entsprechenden Standpunkt gültigen Wert ermitteln und an die Messung anbringen, was oftmals eine Verbesserung der Positionsbestimmung von ± 15 m auf rd. ± 5 m zur Folge hat.

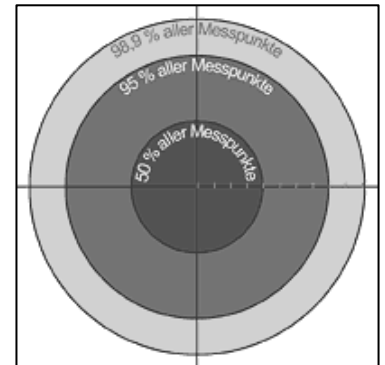


Erreichbare Genauigkeit und Genauigkeitsangabe am GPS-Empfänger

Mit den modernen GPS-Empfängern ist – gute Empfangsbedingungen und Satellitenabdeckung vorausgesetzt – eine Genauigkeit von wenigen Metern erreichbar. Gleichzeitig zu den Koordinaten wird auf den meisten Geräten auch eine Angabe über die Genauigkeit der Position angegeben. Diese Genauigkeitsangabe ist aber mit gewissem Vorbehalt zu sehen.

Was sagt uns eine Genauigkeitsangabe am Empfänger von beispielsweise 4 Meter?

Diese sog. 50%-CEP-Angabe bedeutet, dass 50% aller Messungen in einem Kreis mit diesem Radius (4 Meter) befinden (siehe dazu auch nebenstehende Graphik). Im ersten Moment klingt das nicht so toll, da dies ja gleichzeitig bedeutet, dass die anderen 50% jedenfalls außerhalb dieses Kreises liegen. Es ist aber weiterhin so, dass sich 95% aller Messungen in einem Kreis mit dem doppelten Radius und 98,9% aller Messungen in einem Kreis mit dem 2,55-fachen Radius befinden. In unserem Beispiel befinden sich also beinahe alle Messungen in einem Umkreis mit dem Radius 10m.



Aber **ACHTUNG**: Dies sagt nicht zwingend, dass die **wirkliche Position** in einem dieser Kreise oder gar in deren Zentrum liegt. Es wird immer nur davon ausgegangen, in welchem Umkreis sich statistisch gesehen die **Messungen** (nicht aber die **tatsächliche Position!**) befinden. Sofern man aber die Satellitenkonstellation in seine Überlegungen einbezieht und man sich mit der Messung entsprechend viel Zeit gelassen hat, wird man mit dem doppelten Wert der Genauigkeitsangabe auf der sicheren Seite liegen.



Praktische Hinweise für den Höhlenforscher und Wanderer

- Nach längerem „Nicht-Verwenden“ wie auch nach einem größeren Ortswechsel muss das Gerät eine Vielzahl von neuen Informationen von den Satelliten downloaden, wodurch es zu längerer Wartezeit bis zur ersten Positionsbestimmung kommen kann („Kaltstart“). Hier gilt es, nicht die Geduld zu verlieren und vor allem nicht die erstbeste Position zu verwenden. Lieber noch 5 – 10 Minuten zuwarten und die gelieferten Koordinaten beobachten.
- Keine Koordinaten trotz freier Sicht?
Obwohl die Theorie besagt, dass mindestens 4 Satelliten zu jeder Zeit empfangen werden können, kommt es (sehr selten) zu diesem Problem. Da die Satelliten aber relativ rasch ihre Position verändern, hilft auch hier ein wenig Geduld. Oft verändert sich die Satellitenkonstellation innerhalb von Minuten. Eine kleine Pause wirkt dann oft Wunder...
- Die oben erwähnte Korrektur mittels WAAS-EGNOS-Signal sollte immer im Auge behalten werden. Sie liefert eine nicht zu unterschätzende Verbesserung der Messung. Der geostationäre EGNOS-Satellit ist im Süden auf 34° Elevation zu finden.
- Durch die eingangs erwähnte Konstellation der Satellitenbahnen ist es Faktum, dass in nördlicher Himmelsrichtung eine geringere Satellitendichte zu erwarten ist als in südlicher. Also sind Nordhänge von Grund auf für Satellitennavigation etwas benachteiligt. Eine enge Schlucht vermindert die Sicht noch mehr, sodass es dort zu ernstesten Problemen bei der Standortbestimmung kommen kann. Abhilfe schafft hier nur die Standortverlegung (sofern möglich...).
- ein elektronischer Kompass im Gerät ist für das Auffinden von kleineren Objekten praktisch, da das Gerät auch ohne relative Bewegung (also im Stillstand) die Nordrichtung erkennt und so die Marschrichtung angeben kann. (ev. beim Kauf berücksichtigen).
- Bei der Positionsbestimmung unbedingt Zeit lassen. Oft verändern sich die Koordinaten nach einigen Minuten noch um einige Meter. Es ist klar, dass man große Höhlenportale auch mit geringerer Positionsgenauigkeit finden kann, aber auch bei solchen Objekten sollte der Höhlenforscher die Koordinaten mit der ihm größtmöglichen Genauigkeit ermitteln.
- richtige Konfiguration des Empfängers:
Im GPS-Gerät muss neben dem Koordinatensystem (Projektion) auch das geodätische Datum angegeben werden. Über diese Dinge sollte man Bescheid wissen und entsprechend die richtigen Werte eingeben bzw. auswählen (siehe unten).
- üben, üben, üben...
Nur wenn man alle Funktionen seines Gerätes im Schlaf kennt, kann man diese Technologie auch restlos ausschöpfen. Vergessen wir nicht: Im Ernstfall kann dieses Gerät unser Leben bzw. das unserer Kameraden retten und dann sollt die Bedienung des Gerätes für uns reine Routinearbeit sein.

Einstellungen international und speziell für Österreich

- Geographische Koordinaten (Länge und Breite)
Die Einstellung auf geographische Koordinaten ist trivial, allerdings muss man bedenken, dass diesen Koordinaten grundsätzlich das geodätische Datum „WGS84“ zugrunde liegt. Dies ist immer zu beachten und parallel dazu einzustellen!
- UTM-Koordinaten
Auch diese Koordinateneinstellung (Projektion) ist am Gerät vordefiniert, auch hier muss parallel dazu das geodätische Datum „WGS84“ eingestellt werden, sonst bekommt man falsch Werte.
- BMN-Koordinaten (österreichisches Bundesmeldenetz)
Bei den meisten Geräten ist auch diese Projektion vordefiniert.
Aber ACHTUNG! Hier ist zwingend das geodätische Datum „MGI“ (oft auch „Datum Austria“ genannt) zu verwenden. Auch muss man auswählen, in welchem Meridianstreifen man sich befindet, da gerade im Überlappungsbereich das Gerät dies nicht selbst entscheiden kann.
- GK-Koordinaten (österreichische Gauß-Krüger-Koordinaten)
analog dem vorigen Punkt BMN-Koordinaten.



„Österreichische“ Einstellungen an Magellan-Geräten

Die Magellan-Geräte orientieren sich leider am amerikanischen Markt, weshalb auch bei den aktuellen Geräten die österreichischen Projektionen (Bundesmeldenetz bzw. Gauß-Krüger) nicht vordefiniert sind. Allerdings kann man eine selbst definierte Transformation wie auch ein selbst definiertes geodätisches Datum eingeben:

Magellan eXplorist-Serie:

BMN-Koordinaten:

Menü -> Präferenzen -> Karteneinheiten ->
Koord.Systems:
Anwender Gitter: Trans Merc
Geogr. Breitenursprung: 0
Geogr. Längenursprung: 10,33333 O ... für M28
13,33333 O ... für M31
16,33333 O ... für M34
Skalierfaktor: 1
in Meter konvertieren: 1
Falscher Ost-Ursprung: 150000 ... für M28
450000 ... für M31
750000 ... für M34

Falscher Nord-Ursprung: 0

Anm: hier wären -5 000 000 einzugeben, allerdings kann man keinen negativen Wert eingeben. Bei den BMN-Koordinaten sind also die 5 Mio. im Hochwert wegzudenken.

GK-Koordinaten:

Menü -> Präferenzen -> Karteneinheiten ->
Koord.Systems:
Anwender Gitter: Trans Merc
Geogr. Breitenursprung: 0
Geogr. Längenursprung: 10,33333 O ... für M28
13,33333 O ... für M31
16,33333 O ... für M34
Skalierfaktor: 1
in Meter konvertieren: 1
Falscher Ost-Ursprung: 0
Falscher Nord-Ursprung: 0

geodätisches Datum MGI (Datum Austria):

Menü -> Präferenzen -> Karteneinheiten -> Karten
Datum:
Anwender
Delta A: +739,845
Delta F: +0,10037483
Delta X: +577,3
Delta Y: +90,1
Delta Z: +463,9
Rotation X: -5,13660
Rotation Y: -1,47420
Rotation Z: -5,29704
Skalierfaktor: -2,42320

Magellan Meridianum-Serie:

BMN-Koordinaten:

Menü -> Setup -> Koord.Systems:
Anwender Gitter: Trans Merc
Geogr. Breitenursprung: 0
Geogr. Längenursprung: 10,33333 O ... für M28
13,33333 O ... für M31
16,33333 O ... für M34
Skalierfaktor: 1
in Meter konvertieren: 1
False Easting: 150000 ... für M28
450000 ... für M31
750000 ... für M34

False Northing: 0

Anm: hier wären -5 000 000 einzugeben, allerdings kann man keinen negativen Wert eingeben. Bei den BMN-Koordinaten sind also die 5 Mio. im Hochwert wegzudenken.

GK-Koordinaten:

Menü -> Setup -> Koord.Systems:
Anwender Gitter: Trans Merc
Geogr. Breitenursprung: 0
Geogr. Längenursprung: 10,33333 O ... für M28
13,33333 O ... für M31
16,33333 O ... für M34
Skalierfaktor: 1
in Meter konvertieren: 1
False Easting: 0
Fals Northing: 0

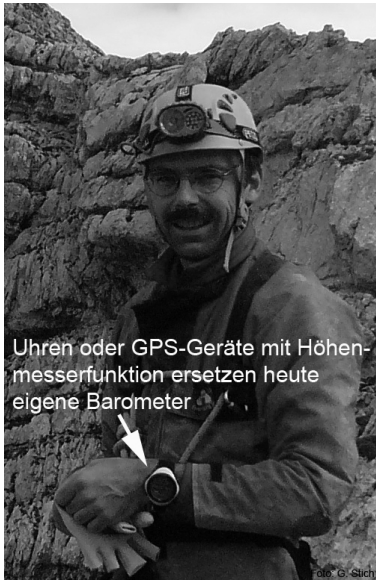
geodätisches Datum MGI (Datum Austria):

Menü -> Setup -> Karten Datum:
Anwender
Delta A: +739,845
Delta F: +0,10037483
Delta X: +596,0
Delta Y: +87,0
Delta Z: +473,0

Die Höhenermittlung von Höhleneingängen

Die für die Verortung und Wiederauffindbarkeit von Höhlen ehemals extrem wichtige Feststellung der Höhenlage ist seit der GPS-Technik und koordinatenmäßigen Fixierung von Höhleneingängen in ihrer Bedeutung zurückgefallen. Nach wie vor kommt den Höhendaten aber große Bedeutung für weiterführende morphologische Auswertungen zu (Feststellung von Höhlenniveaus, Vergleich benachbarter Höhlen, Auffindung von Zusammenhängen).

1. Barometrische Höhenmessung



Noch vor 10, 15 Jahren waren eigene Geräte als Höhenmesser gebräuchlich (z.B. Thommen). Heute sind ebenso zuverlässige und genaue Barometer gewöhnlich in Sportuhren und GPS-Geräten integriert. Die Bestimmung der Seehöhe funktioniert so, dass zuerst an einem Punkt mit bekannter Seehöhe (Fixpunkt, Höhenkote in der Karte) der Höhenmesser angepasst wird, dann die Höhle aufgesucht wird und die Seehöhe am Gerät abgelesen wird und dann nach Möglichkeit nochmals zur Kontrolle zum ursprünglichen oder einem weiteren Fixpunkt gewechselt wird, wo der angezeigte und in der Karte ausgewiesene Wert verglichen werden.

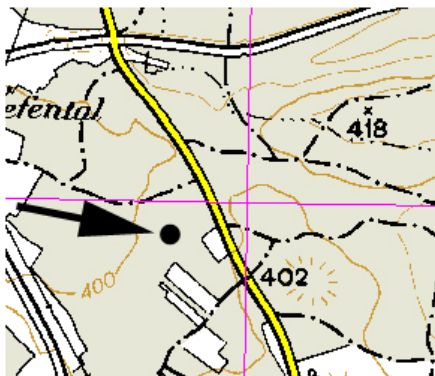
Die meisten neueren, digitalen Geräte zeigen die Werte in Metergenauigkeit an – dies ist irreführend, die tatsächliche Messgenauigkeit liegt bei 10 m oder ev. 5 m, dazwischen interpolieren die Geräte nach aktueller Tendenz! Messungen bei instabiler Witterung (Gewitter, Wetterumschwung) sind meist mit größeren Fehlern behaftet. Auch bei stabiler Witterung sind zuverlässige Genauigkeiten (Fehler < 10 m) nur bei einer Ortsveränderung von maximal 500 m ab dem Fixpunkt und bei nur

kurzer Zeitdauer zwischen Einstellung am Fixpunkt und Messung bei der Höhle zu erreichen (Richtwert: 15 Minuten). Vorsicht ist auch bei abrupten Geländeänderungen zwischen Fixpunkt und Höhle geboten (z.B. Wechsel über einen Gebirgskamm von der Nord- auf die Südseite).

2. Herauslesen aus dem Kartenbild

Großmaßstäbige topographische Karten (1:25:000, 1:50.000), enthalten ein flächendeckendes Höhengschichtlinienbild (Isohypsenbild) mit Höhen-Abständen von 20 m (z.B. Österreich) oder 25 m (z.B. Italien). Dies würde für die Bestimmung der Höhenlage von Eingängen im Prinzip ausreichen, allerdings sind die Isohypsendarstellungen im Detail – insbesondere im Gebirge – nicht immer lagerichtig bzw. exakt. In Schluchtbereichen können auch schon einmal 50 m Höhenfehler auftreten, kleine Kuppen können der Generalisierung zum Opfer gefallen sein, unterschiedlicher Baumbestand (manche Baumarten werden rund 30 m hoch) kann zu einer Fehlinterpretation bei der kartographischen Aufnahme geführt haben. Daher ist die alleinige Verwendung der Landkarte zur Seehöhenbestimmung nur im flachen Gebiet zweckmäßig, im Gebirge können aber andere Messungen mit Hilfe der Karte geprüft werden.

Nur von kleinen Gebieten gibt es größermaßstäbige Karten mit Isohypsenbild (z.B. für Orientierungsläufer in 1:5000 oder 1:10:000). Diese sind aber schwer zu bekommen und meist schnell wieder vergriffen.

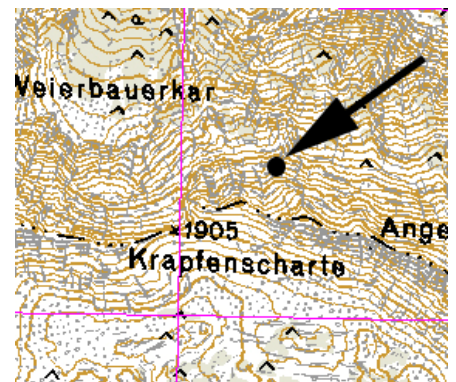


←Abb. 2:

Flaches Gelände: Die Seehöhe kann bei bekannter Lage allein aus dem Kartenbild ausreichend genau bestimmt werden.

Abb. 3: →

Steiles Gelände: Auch bei genauen Lagekoordinaten (z.B. GPS) ist eine Seehöhenbestimmung mit Hilfe der Karte sehr unsicher bzw. ungenau.



3. Durch Außenvermessung ab einer Höhenkote in der Karte

Diese Methode erzielt die größten Genauigkeiten und ist bei großen Höhlensystemen und in Höhlenballungsgebieten Standard. ➔ Siehe Merkblätter B20, B26-B33

4. Trigonometrisch von Höhenkoten in der Karte

Bei gut sichtbaren, in der Karte kotierten Höhenpunkten können mit dieser Methode sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Die Vorgangsweise mag zuerst etwas kompliziert wirken, tatsächlich ist die Arbeit aber schnell erledigt. Benötigt wird die **horizontale Entfernung D** von der Höhle zu einer Höhenkote (nur eindeutig identifizierbare Punkte wie z.B. Gipfelkreuze anpeilen!), und der **Neigungswinkel α** von der Höhle zur Höhenkote.

Die horizontale Entfernung **D** können wir meistens nur so feststellen, dass wir mit der Bussole die Richtung zu mindestens zwei verschiedenen Höhepunkten messen und (bei größeren Distanzen unter Einrechnung der Nadelabweichung) die um 180° gedrehten (verkehrten) Richtungen ab den Höhenkoten in der Karte auftragen (Abb. 3). Am Schnittpunkt der aufgetragenen Linien befindet sich die Höhle. Der horizontale Winkel **β** sollte möglichst um 90° betragen, damit kein „schleifender“ Schnittpunkt entsteht, zwei knapp nebeneinander sichtbare Höhenkoten würden uns also nicht weiterhelfen. Eine andere Methode wäre die Lagebestimmung der Höhle mit GPS und Punkt-Eintragung der Werte in der Karte.

Den Neigungswinkel **α** messen wir mit unserem normalen Neigungsmesser, indem wir von der Höhle die Höhenkote anpeilen (oder umgekehrt; im Beispiel ist es die Basis des mit 523 m kotierten Gipfelkreuzes).

Nun kann man die horizontale Entfernung **D** durch Abmessen in der Karte (an einer der beiden aufgetragenen Linien) bestimmen. Die **Höhendifferenz h** zwischen bekannter Höhenkote und Höhle wird nun entweder mit der Formel $h = D \cdot \tan \alpha$ berechnet, oder einfacher – zeichnerisch gemäß Abb. 4 – gemessen (dafür in einem größeren Maßstab auftragen, so dass das Dreieck am Papier größer als ca. 10 cm ist).

Die **absolute Seehöhe des Höhleneinganges** errechnen wir, indem wir die Höhendifferenz von der absoluten Höhe der angepeilten Höhenkote abziehen (bei höher liegender Kote wie in Abb. 3 und 4) oder zu dieser addieren (bei tieferliegender Kote).

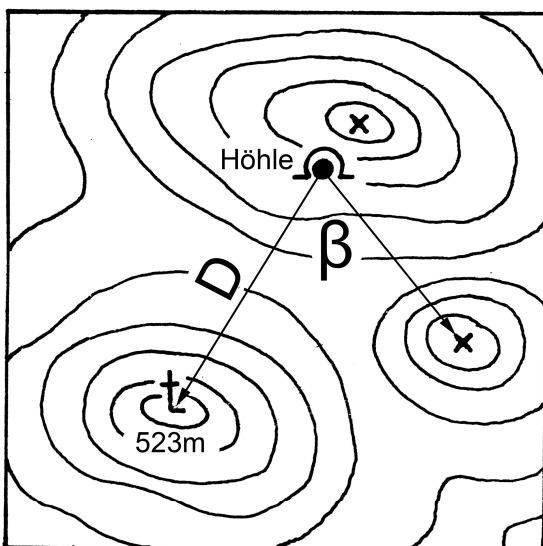


Abb. 3: Die Höhle liegt am Schnittpunkt der Richtungen zu angepeilten Fernzielen, daraus ergibt sich die Distanz **D**.

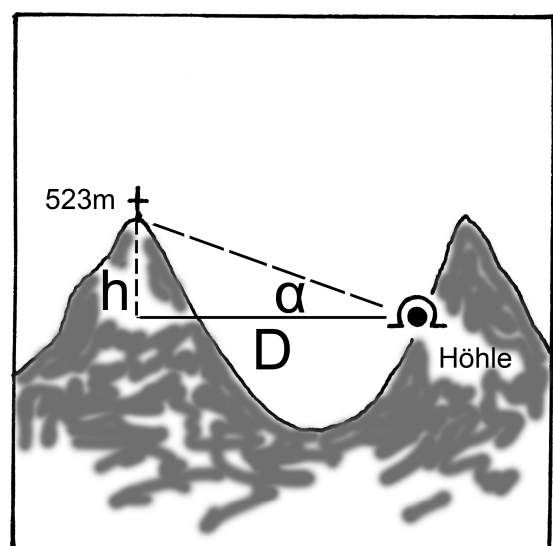


Abb. 4: Der Höhenunterschied zwischen bekannter Kote und Höhle kann graphisch oder rechnerisch ($h = D \cdot \tan \alpha$) ermittelt werden.

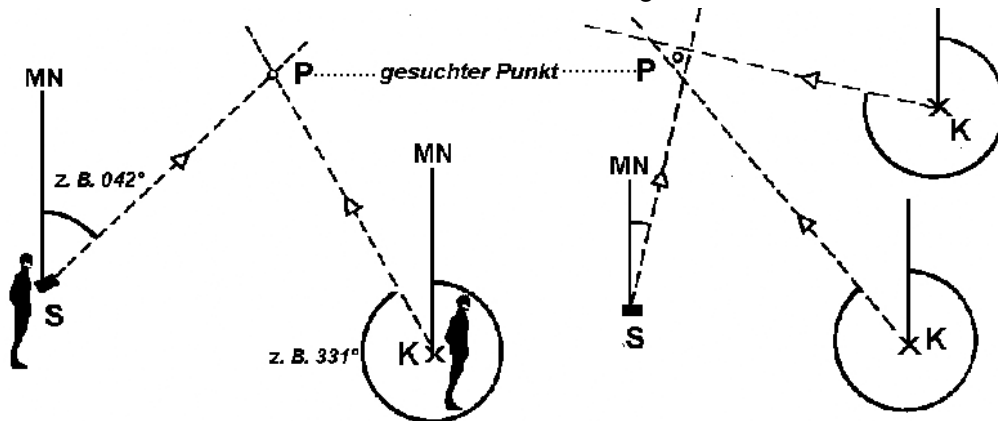
(Mit GPS, ohne eingebautem Barometer)

Die Höhendaten aus der Satellitennavigation sind aufgrund des ungünstigen Schnittwinkels der Signale sehr ungenau. Die Werte können lediglich zur groben Orientierung dienen, aber eine barometrische, kartographische oder trigonometrische Höhenbestimmung nicht ersetzen! Für die Höhlenforschung sind GPS-Empfänger mit eingebautem Höhenmesser zu empfehlen.

Geodätische Lageermittlung

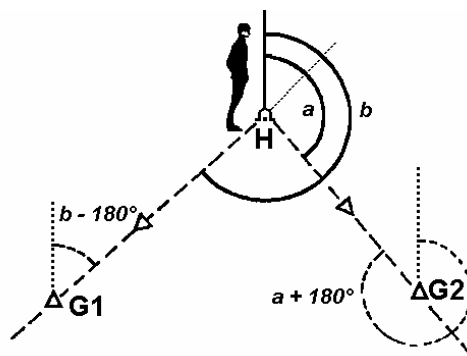
In den Fällen, wo die heutige Standard-Methode der Lageermittlung mittels GPS keine brauchbaren Ergebnisse liefert (→ MB B20 und B21) kann der Höhlenforscher auf die altbewährte Methode der geodätischen Lageermittlung zurückgreifen. Es bieten sich dabei generell zwei Standardmethoden an, das Vorwärts- und Rückwärtseinschneiden. Diese beiden Methoden unterscheiden sich vor allem darin, ob man sich selbst am gesuchten Punkt befindet oder nicht.

Vorwärtseinschneiden (man befindet sich nicht am gesuchten Punkt P)



Man begibt sich zu mindestens zwei auf der Karte und im Gelände festlegbaren Punkten (Grafikbeispiel: **S** = Schutzhaus; **K** = Kote = ein Höhenpunkt in der Karte) und ermittelt von diesen Punkten mit einer Bussole die Richtung zum gesuchten Punkt **P**. Trägt man nun auf der Karte von den Punkten **S** und **K** die gemessenen Richtungen auf, so erhält man im Schnittpunkt dieser Linien den gesuchten Punkt **P**. Da man nach magnetisch Nord orientierte Messungen in eine geographisch Nord orientierte Karte einträgt ist die Deklination oder die Nadelabweichung zu berücksichtigen (→ MB B 25 „Unterschiedliche Nordrichtungen“). Durch Visuren von drei oder mehr festgelegten Punkten wird eine größere Genauigkeit erreicht. Der gesuchte Punkt liegt dann in dem von den Visurlinien eingeschlossenen Fehlerdreieck.

Rückwärtseinschneiden (man befindet sich am gesuchten Punkt H)



Dieser Fall tritt auf, wenn man sich am Höhleneingang befindet und nun die Lage der Höhle (**H**) ermitteln will. Beim Rückwärtseinschneiden misst man nun vom Standort, der Höhle **H** aus jeweils das magnetische Azimut zu zwei auf der Karte und im Gelände eindeutig festlegbaren Punkten (**G1**, **G2** = z. B.: Gipfel). Mathematisch kann man nun durch Addition oder Subtraktion von 180° zum gemessenen Winkel jenen Winkel errechnen, den man gemessen hätte, wenn man auf den Punkten **G1** und **G2** stehen würde. Diese „umgedrehten“ Richtungen trägt man nun von **G1** und **G2** in der Karte ein. Im Schnittpunkt der eingetragenen Visurlinien liegt der gesuchte Punkt **H**. Auch bei dieser Methode kann durch Visur zu drei Punkten eine größere Genauigkeit erreicht werden. Auch hier ist die Deklination zu berücksichtigen. Die Punkte **S** und **K** sowie **G1** und **G2** sollten weit genug auseinander liegen, um „schleifende“ Schnitte zu vermeiden.

Angabe der Lagegenauigkeit von Koordinaten

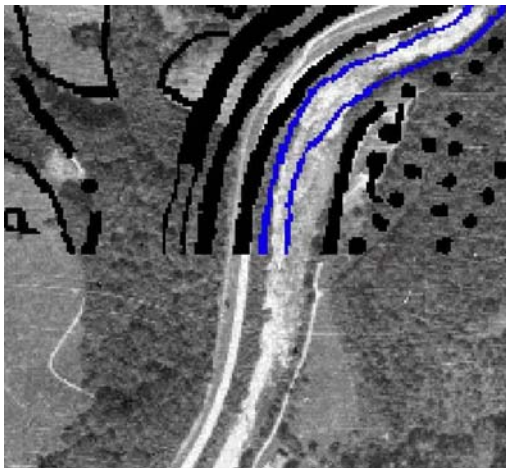
Gibt man Koordinaten von Höhleneingängen an, ist es auch sehr sinnvoll anzugeben wie genau diese sind, da es viele Möglichkeiten für deren Ermittlung gibt. In machen Fällen stimmen die Werte auf den Meter genau, teilweise ist aber die Höhle nur in einem Umkreis von 100 m oder mehr zu finden. Die Angabe dieser Metadaten (Daten über Daten) wird mit der Umstellung auf UTM-Koordinaten besonders wichtig: Bis jetzt war es teilweise möglich die Genauigkeit aus dem Koordinatenwert direkt abzulesen, da diese meist sinnvollerweise *gerundet* angegeben wurden. Werden diese gerundeten, im BMN ermittelten Werte aber ins UTM-System umgerechnet besteht diese Möglichkeit nicht mehr. Eine weitere Rundung ist nicht sinnvoll, da dadurch der Fehler vergrößert werden kann.

Beim Katasterführerseminar 2002 wurde beschlossen, die Genauigkeit in **absoluten Zahlen** anzugeben und nicht mehr als Codes, welche die Art der Ermittlung beschreiben. (Codes können irreführend sein. Z. B. nur anzugeben dass die Koordinaten mittels Bussolenaußenvermessung ermittelt wurden reicht nicht: zwei kurze Messzüge von einem KT-Stein aus ergeben metergenaue Koordinaten, eine lange Außenvermessung von einem in einer Karte eingezeichneten Punkt kann einen Fehler von etlichen Zehnermetern aufweisen. Darüber hinaus können absolute Zahlen besser in Datenbanken verarbeitet werden.

Herausmessen aus Karten: ± 50 m bei Kartenmaßstab 1:50.000

Die Genauigkeit hängt vor allem vom Maßstab der Karte und von der Eindeutigkeit der Lage ab. Im allgemeinen wird die Genauigkeit bei vor Ort eingetragenen und gut lokalisierbaren Objekten nicht viel besser als ± 50 m sein (was im Maßstab 1:50 000 1 mm entspricht). Bei lagerichtig eingezeichneten (das ist nicht immer der Fall!) Höhlensignaturen kann sie ± 20 m erreichen. Liegt die Höhle in keinem markanten Gelände (z.B. ungegliederter flacher Waldhang) oder erfolgt der Eintrag nachträglich ist die Ungenauigkeit entsprechend größer.

Achtung: Die ÖK 25 V ist lediglich eine drucktechnische Vergrößerung der ÖK 50. Sie ist somit nur besser lesbar, nicht aber detailreicher. „Echte“ 25-tausender oder noch großmaßstäbigere Karten (div. Spezialkarten des BEV, Alpenvereinskarten usw.) bringen natürlich schon höhere Genauigkeiten.



Zu beachten ist auch die kartographische Generalisierung: Da Kartensignaturen eine gewisse Mindestgröße und einen Abstand zueinander haben müssen (maßstabsabhängig), um lesbar zu bleiben, erscheinen diese Objekte in der Karte viel größer und weiter auseinander als in Wirklichkeit. Bei der Generalisierung werden diese Objekte auseinandergerückt (z.B. enges Tal mit Fluss, Eisenbahn und Straße!) oder weggelassen (einzelne Häuser, Serpentinaen).

Trägt man genauere GPS-Messungen in Karten ein können sich dadurch Widersprüchlichkeiten ergeben.

◀ Vergleich Orthophoto – Kartenausschnitt ÖK 50. Die Bahntrasse musste bereits 35 m nach Westen gerückt werden!

Bussolen-Außenvermessung: ± 2 m / 100 m Messzug + Fehler des Koordinatenursprungs

Hier setzt sich die Genauigkeit aus der des Messzuges *und* der des Koordinatenursprungs zusammen. Die Genauigkeit der Bussolenvermessung ist von der Länge abhängig. Bei der Verwendung der üblichen flüssigkeitsgedämpften Visuren (Suunto etc.) und Glasfiebermaßbändern liegt sie im Allgemeinen unter 2 m pro 100 m Messzuglänge. Vor-Rückvisieren, Rundzüge und dergleichen verbessern und kontrollieren die Messung. Besonders bei längeren Bussolen-Außenvermessungen ist es sehr wichtig, die

Nadelabweichung (= Deklination + Meridiankonvergenz), sowie einen Korrekturfaktor für das Gerät (auch neuen Visuren haben Abweichungen bis zu $\pm 1,5^\circ$) zu berücksichtigen. Wird z.B. eine Nadelabweichung von 3° nicht berücksichtigt, liegt bereits bei einer Distanz von 100 m die ermittelte Koordinate 5 Meter daneben! Ist die Außenvermessung an einen KT-Stein oder einen Theodolitpunkt angeschlossen kommt kein Fehler hinzu. Für die übrigen Möglichkeiten des Koordinatenursprungs sind die in diesem Artikel angegebenen Werte zu addieren.

Einmessung mit Theodolit: ± 0 m (bei fachkundiger Bedienung und Berechnung)

Einmessung mit GPS: angezeigter Genauigkeitswert x 1,5

Üblichen Handheld-Geräte (Garmin eTrex usw.) zeigen eine (aus der Satelliten-Konstellation errechnete, mögliche) Lagegenauigkeit am Display an (>4 m). Nachmessungen an KT-Steinen haben gezeigt, dass die tatsächlichen Genauigkeiten teilweise geringer sind. Gibt man das 1,5-fache des abgelesenen Wertes an liegt man meist auf der sicheren Seite. Gibt das Gerät größere Ungenauigkeitswerte als etwa 15 m an, ist der angegebene Fehler in Wirklichkeit oft noch wesentlich – Faktor 2 und mehr – größer. Diese Werte können verbessert werden wenn mehrere Messungen über einen längeren Zeitraum gemittelt werden. Zusätzliche Fehler können durch Reflexionen an Felswänden entstehen.

Handheld GPS mit Differenzialmessung: das Gerät ist mit einem Empfänger für Korrekturwerte (kostenpflichtig, werden als Radiowelle übertragen, verschiedene Genauigkeiten) ausgestattet. Man erreicht Genauigkeiten bis unter ± 1 m. Neuere Geräte können ein von einem Satelliten ausgesandtes Korrektursignal (EGNOS/WAAS) empfangen, was ebenfalls zu präziseren Werten führt.

Messungen mit einem geodätischen Differenzial-GPS haben die Genauigkeit eines Theodoliten (± 0 m)

Sonstige Methoden

Die Methode des **Rückwärts- bzw. Vorwärtseinschneiden** kann zu recht guten Ergebnissen führen bzw. die Eintragung in die Karte präzisieren. Vor allem hier ist es wichtig die Deklination zu berücksichtigen. Die Genauigkeit hängt von der Länge und dem Schnittwinkel der Visurlinien ab. Bei rechtwinkeligem Schnitt (Optimalfall) und mehreren gemittelten Visuren kann der Fehler unter ± 1 m pro 100 m liegen. Die Kontrolle einer Außenvermessung die durch Einschneiden in das BMN-Netz eingehängt wurde hat gezeigt, dass die ermittelten Koordinaten nur Fehler von 1-2 m hatten.

Weitere Möglichkeiten sind durch **Orthophotos** (oft auch in digitaler Form) gegeben, wo bei guter Auflösung hohe Genauigkeiten erzielt werden können. (± 2 m und weniger).

Eine **Kontrolle** (nochmaliges Auftragen des Wertes, Ermittlung auf mehrere Methoden, Rundzüge bei Außenvermessungen etc.) ist immer sinnvoll.

Höhenfehler: ± 10 m bei stabiler Wetterlage und kalibriertem Höhenmesser

Viele der oben beschriebenen Werte bezieht sich nur auf die Lagekoordinaten. Streng genommen müsste für die Höhe eine eigene Genauigkeitsangabe gemacht werden, da diese oft selbstständig oder mit anderer Genauigkeit erhoben wird.

Literatur

PLAN, L. (1996): Messdatenauswertung für das BMN-Koordinatensystem. – *Höhlenkundliche Mitteilungen*, Wien 52 (6), 108ff.

PLAN, L. (2002): Richtwerte für die Angabe der Lagegenauigkeit von Koordinaten. – *Speldok 10*, Wien, 43ff.

TILLER, A. (2001): Erste Erfahrungen mit GPS im alpinen Gelände. – *Der Schlaz*, München, 3/2001 (93), 21f.

Unterschiedliche Nordrichtungen

Wo ist Norden?

Bei der Höhlenvermessung werden Richtungen meist als Abweichungen von der Nordrichtung gemessen und dargestellt. Wo Norden liegt ist allerdings nicht nur eine Definitionsfrage sondern unterliegt im Fall der magnetischen Nordrichtung auch den Schwankungen des Erdmagnetfelds. Daher müssen wir bei jeder Vermessung die Messmethode angeben und zur Berechnung/Plandarstellung größerer Höhlen die jeweils aktuelle Abweichung einberechnen.

Geographisch-Nord (Ge.N, Astronomisch-Nord, Erdachse, ~Richtung zum Polarstern)

Am Globus weisen alle Meridiane (Längengrade – gleich den Spalten von Orangen) zum geographischen Nordpol. **Anwendung:** Blattschnitt der Österreichischen Karte (ÖK) 1:50 000 (nach Ferro) und der neuen ÖK 50-UTM (nach Greenwich). Ansonsten nur für globale Darstellungen interessant und bei der Höhlenvermessung nur für das Verständnis der Umrechnung von Bedeutung.

Magnetisch-Nord (m.N, mag.N, Kompaß-Nord oder Nadel-Nord)

Richtung zum magnetischen Nordpol. Der magnetische Nordpol liegt derzeit rund 1500 km vom geographischen Nordpol entfernt und wandert ständig. Zudem gibt es kleinräumige Abweichungen. Dies ist die Nordrichtung, die mit dem Kompass gemessen wird. Auch unsere modernsten automatischen Richtungsmessgeräte können sich nur auf diese veränderliche Richtung beziehen. **Anwendung:** Für kleinere, einzeln dokumentierte Höhlen ausreichend, Vermessungsdatum angeben!

Gitter-Nord (Gi.N)

Parallele zum jeweiligen Bezugsmeridian eines geodätischen, rechtwinkligen Koordinatensystems. Beispiele für Gauß-Krüger-Koordinaten, Bundesmeldenetz BMN, UTM-Koordinaten (➔ Merkblatt B9). Am Bezugsmeridian fallen Gitter-Nord und Geographisch-Nord zusammen, je weiter man von diesem entfernt ist, desto größer wird dieser Winkel. **Anwendung:** Alle großmaßstäbigen Landkarten (z.B. ÖK 50) und örtlichen Bezugssysteme. Alle größeren Höhlensysteme werden heute in Plänen/Planwerken dargestellt, die nach (einem) Gitternord orientiert sind. Heute sollte im international gebräuchlichen UTM-Netz gezeichnet werden, abgesehen von der Fortführung der im BMN-Netz begonnenen Höhlenplanwerke.

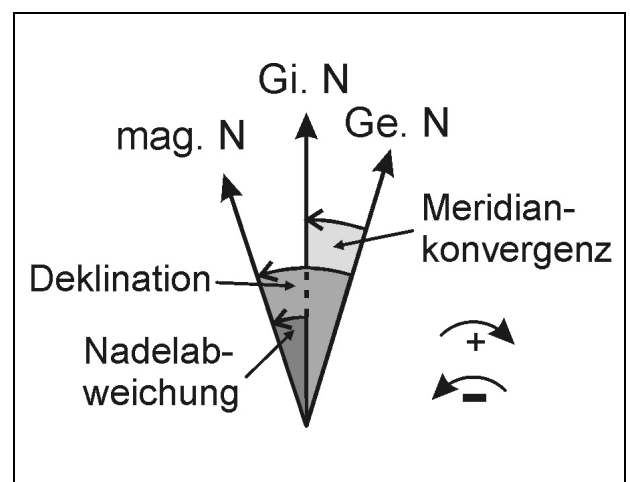
Die Winkelunterschiede zwischen den unterschiedlichen Nordrichtungen werden bezeichnet als:

Deklination:

Winkel zwischen Geographisch-Nord und Magnetisch-Nord. Man unterscheidet zwischen östlicher (positiver) und westlicher (negativer) Deklination. Achtung: die Deklination ändert sich ständig. Derzeit steigt sie in Österreich mit fast $0,1^\circ$ pro Jahr an.

Eine exakte Deklinationkarte von Österreich bietet die ZAMG zum Kauf an (ca. € 35,-). Weiters gibt es eine Internetseite der NOAA wo die Deklination an jedem Punkt (Eingabe von Lat-Long-Koordinaten) zu jedem beliebigen Zeitpunkt (auch Zeitreihen sind möglich) berechnet werden kann:

www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/Declination.jsp





Meridiankonvergenz:

Winkel zwischen Geographisch-Nord und Gitter-Nord. Am Hauptmeridian (Bezugsmeridian) ist die Meridiankonvergenz Null. Für die ÖK-BMN kann sie näherungsweise (für Kompassvermessungen ausreichend genau) bestimmt werden als Abstand vom Bezugsmeridian [in Metern] durch 100 000.

Bsp.: für den RW: 738.000 (der Bezugsmeridian M34 hat den Wert 750 000):
 $(738\ 000 - 750\ 000) / 100\ 000 = -0,12$

Nadelabweichung:

Winkel zwischen Gitter-Nord und Magnetisch-Nord.

Die Nadelabweichung ist besonders wichtig, da sie bei jeder größeren Höhle zu berücksichtigen ist (Berechnung, Plan).

Berechnung der Nadelabweichung:

Nadelabweichung = Deklination – Meridiankonvergenz

Beispiel: ÖK 50-UTM, Kartenfeld 4221 – West:

Nadelabweichung = $+2,6^\circ$ – $(-0,12^\circ)$,..... = $2,72^\circ$
(Stand 2008, jährliche Änderung: $+0,09^\circ$)

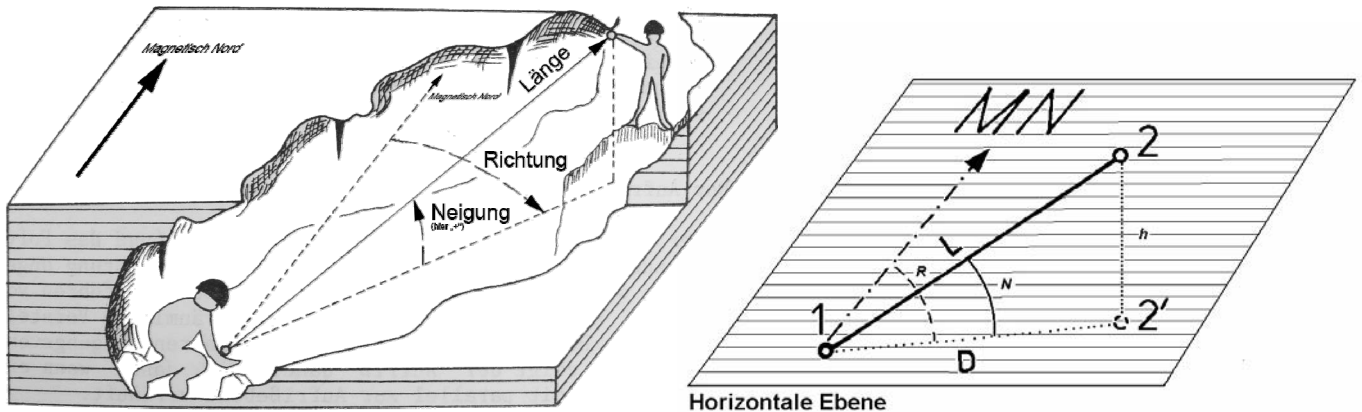
Tipps:

- ! Auf modernen Landkarten (ÖK 50-UTM, Alpenvereinskarten) ist die Nadelabweichung für das Kartengebiet und deren Tendenz ausreichend genau angegeben.
- ! Dabei auf die Maßeinheit achten: meist werden Grad und Sekunden (sechzigstel Grad) angegeben, wir messen und rechnen aber in Zehntelgraden!
- ! Im Downloadbereich der VÖH-Webseite (www.hoehle.org) wurde für einige Gebiete basierend auf der NOAA-Seite und der Näherungsformel für den BMN-Blattschnitt (s.o.) Zeitreihen für die Nadelabweichung berechnet.

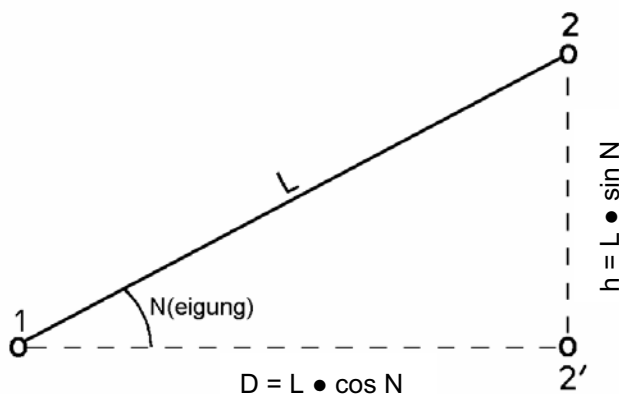
Die Höhlenvermessung

Das Grundgerüst jeder Höhlenvermessung und jedes Höhlenplans ist eine nahtlose Aneinanderreihung von Messstrecken (Messzügen) – der *Streckenzug* oder *Polygonzug* (siehe Merkblatt B 28). Jede einzelne Strecke wird im dreidimensionalen Raum durch drei Werte eindeutig festgelegt:

1. **LÄNGE (L):** Diese wird vom Anfangspunkt der Messstrecke (Vermessungspunkt (VP) 1) bis zum Endpunkt (VP 2) mit dem Maßband oder Laser-Entfernungsmessgerät (Disto) gemessen und auf Zentimetergenauigkeit in Meter (also z.B.: 5,23 m) angegeben.
2. **NEIGUNG (N):** Wird als **Abweichung** der Messstrecke **von der horizontalen Ebene** angegeben. Die Neigung wird mit einem Klinometer (Neigungsmessgerät) gemessen und auf halbe oder ganze Grade/Gon genau angegeben und kann positiv (steigend, z.B.: „Plus 15 Grad“ = 15°) oder negativ (fallend; z.B.: „Minus 27,5 Gon“ = -27,5^g) sein.
3. **RICHTUNG (R):** Die Richtung wird bei der Höhlenvermessung als **Abweichung** der Messstrecke **von der magnetischen Nordrichtung** (magnetisches Azimut) angegeben. Sie wird mit einer Bussole (Peilkompass) gemessen und auf halbe oder ganze Grade genau angegeben (z.B.: „237 Grad“).



Mit der Ermittlung von Länge (L), Neigung (N) und Richtung (R) liegen für den Messzug 1 auf 2 die *Polarkoordinaten* (eine Länge, zwei Winkel) vor. Merkblatt B10 zeigt, wie diese Polarkoordinaten in *rechtwinkelige Koordinaten* umgewandelt werden können, die für das Zeichnen exakter Pläne (größerer) Höhlen unerlässlich sind.



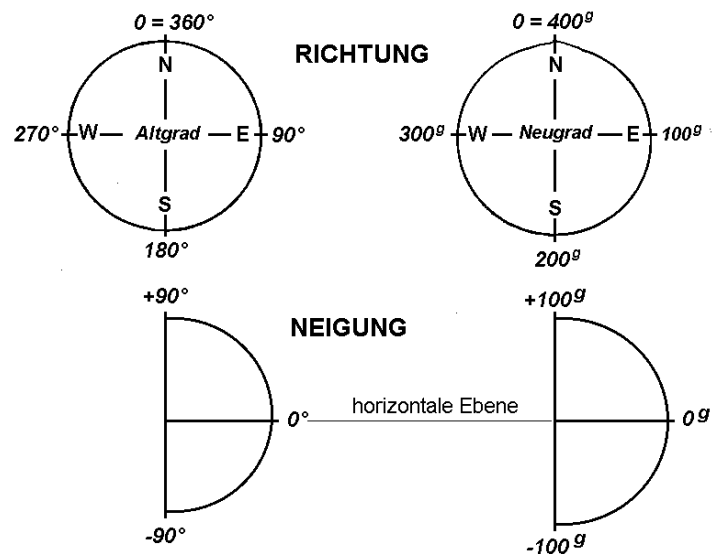
- L Wahre gemessene Länge (in Metern) zwischen den Vermessungspunkten (VP) 1 und 2
- D Verkürzte Horizontaldistanz = Grundrißstrecke (Berechnungsformel ist angegeben).
- h Höhendifferenz zwischen den Vermessungspunkten 1 und 2 (Berechnungsformel ist angegeben).
- 2' Grundrißpunkt des (räumlichen) Vermessungspunktes 2

Kreisteilungen

Achtung bei Winkelmessungen: es gibt **Altgrad** („Grad“, Kreisteilung in 360 Einheiten) und **Neugrad** („Gon“, Kreisteilung in 400 Einheiten). In Österreich sind „Altgrad“ gebräuchlich. Neigung und Richtung sollten unbedingt mit Geräten der gleichen Kreisteilung gemessen werden.

Störfaktoren

Achtung bei der Richtungsmessung auf **magnetische Störfaktoren** (magnetische Brille, Uhr, Helmlampe – besonders: eingeschaltete LED-Lampe, Schachtausrüstung, Einbauten wie Leiter etc.,...)!



Günstige Wahl der Vermessungspunkte

Die Auswahl geeigneter Messpunkte stellt stets einen Kompromiss aus folgenden Vorgaben dar:

- Die (Haupt-)Messzüge sollten zwecks Berechnung der Ganglängen einigermaßen dem Verlauf (der Achse) der Höhlengänge folgen, durch die Lage der Punkte soll kein „Zick-Zack-Verlauf“ der Messstrecken innerhalb eines Höhlenganges entstehen
- Die Messpunkte sollten so platziert werden, dass der Viseur – den Umständen entsprechend – so bequem als möglich an den Messgeräten ablesen kann. In verkrampften Stellungen, im Gatsch liegend oder unter Absturzgefahr durchzuführende Messungen sind nicht nur unangenehm sondern meist auch sehr ungenau!
- Vor allem die Anschlusspunkte bei offen gelassenen Fortsetzungen sollen bei späteren Forschungstouren möglichst leicht wieder gefunden werden. Da auch immer wieder unerwartet Seitenfortsetzungen entdeckt werden sollten Punkte generell an möglichst markanten Stellen (Vorsprünge, Felskanten, Spitzen von Felsblöcken, Bohrhaken an Schachteinstiegen etc.) platziert werden.
- Die Lage der Messpunkte soll dem Zeichner die Arbeit erleichtern. Dies ist ebenfalls dann gegeben, wenn markante Stellen oder Rauminhalte durch die Messpunkte lagemäßig fixiert werden.

Markierung der Vermessungspunkte

Die Messpunkte zwischen den Messzügen werden durch kleine Farbpunkte oder –kreuze markiert („stabilisiert“), um spätere Vermessungen anschließen zu können. Dies sollte aber möglichst schonend für das Erscheinungsbild der Höhle erfolgen – es ist ein dauerhafter „Ausweis“ der Vermesser! In der Höhle keine Punktnummern anschreiben! Das ist bei genauer Planaufnahme nicht notwendig, zudem werden Punktnummern bei der Eingabe in den Computer meist noch geändert (Systematik, Fehlerkorrektur). An trockenen Stellen genügt die Markierung mit Försterkreide oder Ölkreide, dauerhaft können Punkte mit Nagellack oder Außendispersion (in Ausnahmefällen – z.B. Theodolit-Außenvermessungen – mit Bohrankern) stabilisiert werden. Nagellack ist nicht UV-beständig und daher für Außenvermessungen ungeeignet. In zeitweise überfluteten oder eisführenden Gangstrecken ist eine dauerhafte Markierung meist gar nicht möglich, daher möglichst Messpunkte außerhalb dieser Bereiche stabilisieren. Wichtige Punkte in Wasserhöhlen können durch ein mit dem Hammer eingemeißeltes Kreuz oder ein Spitloch markiert werden.

Gebräuchliche Messgeräte

Um Messzüge in- oder außerhalb der Höhle durchzuführen, benötigt man Geräte zur Messen der Länge, Neigung und Richtung. Aus einer breiten Palette aus unterschiedlichen Konstruktionen haben sich folgende Instrumente durchgesetzt:

Maßband

Zur Ermittlung der Länge eines Messzuges stellen Kunststoffmaßbänder die einfachste und kostengünstigste Variante dar. Die in manchen Gruppen noch aus früheren Zeiten überlieferte Ansicht, dass nur Stahlmaßbänder ausreichende Genauigkeit bieten ist seit Jahrzehnten überholt. Es ist aber wichtig, die Gebrauchsdehnung zu kennen, um korrekte Werte zu erhalten. Wichtig ist vor der Messung den tatsächlichen Nullpunkt festzustellen – er befindet sich bei fast jedem Band woanders (manchmal am Metallring am Ende, manchmal erst etliche cm nach dem Beginn des Kunststoffbandes). Maßbänder sind unempfindlich gegen Schmutz und mechanische Belastungen, ja selbst mit den Teilstücken eines abgerissenen Maßbandes kann man noch weitermessen. Wegen der Verschmutzung sind offene Spulen und solche mit großen Kurbeln gegenüber geschlossenen Boxen („Tellerminen“) vorzuziehen (siehe Bild). Nachteilig sind Maßbänder bei Außenvermessungen im Dickicht bzw. bei



starkem Wind, außerdem muss jeder Messpunkt tatsächlich betreten (oft: erklettert) werden.

Weitere Tipps zur korrekten Verwendung ➔ MB B32a-c

Laserdistanzer

Erst seit wenigen Jahren sind Laserdistanzer in brauchbarer Größe und zu „erschwinglichen“ Preisen am Markt. Sie sind erstaunlich bruch- und wasserfest, es schadet aber nicht, sie vor dem Höhleneinsatz nochmals einzupacken (vgl. Bild) wobei die Frontlinsen frei bleiben müssen. Die Vorteile liegen in der einfachen und zuverlässigen Messung: man muss nicht jeden Punkt betreten und kann daher auch viele Raumbegrenzungen, Schlote, Schachtfortsetzungen auf Knopfdruck einmessen (man könnte eine Höhle – abgesehen von Sicherheitsbedenken – sogar alleine vermessen). Bei längeren Zügen ist es notwendig das Gerät aufzulegen um leichtes Zittern, und somit ein Verfehlen des Zieles, zu vermeiden. Es hat sich bewährt immer zwei Messungen zu machen um Messungen, die am Ziel vorbei gehen, oder ein Objekt vor dem Ziel erfassen, zu vermeiden. Bei den meisten Geräten geht das ohne den Wert zwischen den Messungen abzulesen, da die letzten paar Messungen am Display dargestellt werden. Nur wenn die Werte innerhalb eines vertretbaren Fehlers sind (wenige Zentimeter) werden sie notiert.



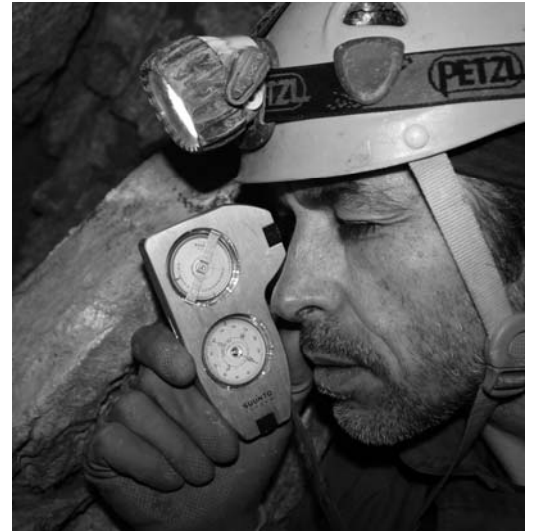
Beim Kauf sollte man auch darauf achten, dass das Gerät mit Standard-Batterien (AA oder AAA) betrieben werden kann. Je nach Gerät können Entfernungen von 70, 100 oder mehr Metern gemessen werden – was allerdings nur in der Höhle problemlos funktioniert. Im grellen Sonnenschein verliert man schnell den winzigen Laserpunkt und trifft bei schon bei Entfernungen von über 20 m kaum mehr das Ziel. Es hilft, wenn der Zeichner die Messmappe als Zieltafel an den Punkt hält, generell sind bei Außenvermessungen Geräte mit optischer Zieleinrichtung zu empfehlen (leider wesentlich teurer).

Neigungsmesser (Inklinometer)

Es gibt verschiedene Modelle von Neigungsmessern, die so funktionieren, dass von einem Punkt zum nächsten gepeilt wird, allerdings haben sich Geräte der Firma Suunto am besten bewährt. Um systematische Fehler durch meist unbekannte Augen-Fehlstellungen (Parallaxenfehler) zu vermeiden, sollte abweichend von den meisten Bedienungsanleitungen immer nur mit einem Auge gemessen und das andere geschlossen werden. Dabei wird in das Gerät geblickt und der waagrechte Strich seitlich nach außen gedacht (zum angepeilten Punkt verlängert).

Die meisten Geräte haben links eine Gradeinteilung (die wir verwenden) und rechts eine Prozentteilung (für Straßenbauer etc.). Die Gradteilung erlaubt im Optimalfall eine Ablesung auf halbe Grad, womit in der Höhle faktische Ablesegenauigkeiten von 2° erzielt werden. Bei einigen Modellen ist eine Beleuchtung integriert, die aber dem Höhleneinsatz vielfach nicht lange standhält.

Weitere Tipps zur korrekten Verwendung und zur Vermeidung von Ablesefehlern, zur Verbesserung der Lichtverhältnisse beim Ablesen usw. ➔ MB B32a-c



Peilkompass (Bussole)

So wie bei den Neigungsmessern gibt verschiedene Modelle, die so funktionieren, dass von einem Punkt zum nächsten gepeilt wird und haben sind Geräte der Firma Suunto am weitesten verbreitet. Um systematische Fehler durch meist unbekannte Augen-Fehlstellungen (Parallaxenfehler) zu vermeiden, sollte auch bei der Richtungsmessung – abweichend von den meisten Bedienungsanleitungen – immer nur mit einem Auge gemessen und das andere geschlossen werden. Dabei wird in das Gerät geblickt und der senkrechte Strich im Okular nach oben oder unten verlängert (zum angepeilten Punkt verlängert).

Die Gradteilung erlaubt im Optimalfall eine Ablesung auf halbe Grad, bei stark geneigten Zügen in der Höhle können die faktischen Ablesefehler auch $\pm 5^\circ$ betragen. *Tipps zur Verringerung oder Vermeidung von Ablesefehlern sowie zur Vermeidung der Ablenkung der Kompassnadel durch E-Stimlampen (LED!) ➔ MB B32a-c*



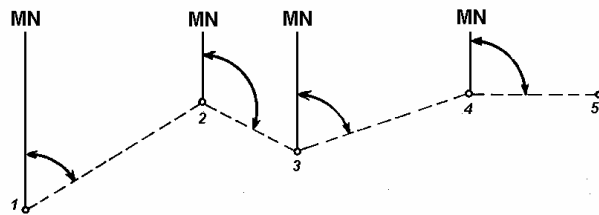
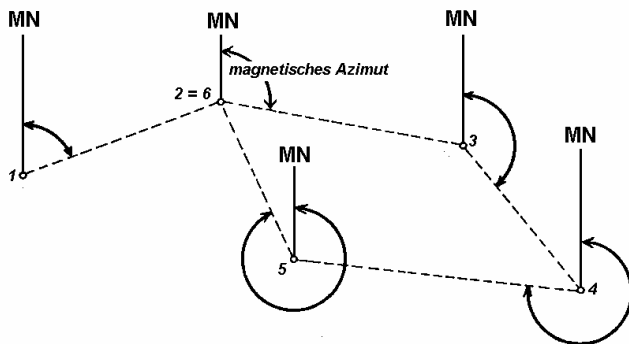
Für Neigungsmesser und Bussolen gibt es **Kombigeräte** (siehe Abbildungen), die rascher zu handhaben und in Summe leichter sind, allerdings ist der Schaden größer, wenn nur ein Instrument kaputt geht.

Geeignete **Bezugsquellen** für Messgeräte: Speleo-Ausstatter, Vermessungsfirmen, Industriebedarf, ev. Baumärkte.

Geräte zur Lage- und Höhenbestimmung werden in den ➔MB B21 und B22 beschrieben.

Der Polygonzug

Der Polygonzug (Strecken zug) bildet das Grundgerüst jeder Höhlenvermessung und die geodätische Grundlage für den Höhlenplan. Er besteht aus der Aneinanderreihung von Messzügen (Messstrecken), die Vermessungspunkte (Vp) miteinander verbinden. Jeder einzelne Messzug wird durch seine **Länge (L)**, **Neigung (N)** und **Richtung (R)** festgelegt. In dieser Reihenfolge werden die Daten festgehalten und in einem Messprotokoll aufgezeichnet. Während die Länge (in Metern gemessen) eindeutig definiert ist, müssen bei der NEIGUNG und RICHTUNG jeweils Festlegungen über die Kreisteilung (Altgrad oder Neugrad, ➔ siehe Merkblatt B26b) getroffen werden.



Wir unterscheiden:

Geschlossener Polygonzug

Beim geschlossenen Polygonzug besteht die Möglichkeit der Fehlererkennung, der Fehlerberechnung und des Fehlerausgleiches. Als Fehler wird der anhand der gemessenen Daten errechnete Lageunterschied am Ringschluss bezeichnet (in der Abbildung zwischen den Punkten 2 und 6). Wann immer die Möglichkeit besteht, sollte der Polygonzug geschlossen werden.

Vermessungen größerer Höhlensysteme bestehen oft aus labyrinthischen Netzwerken.

Offener Polygonzug

In der Höhlenvermessung, wo der Polygonzug dem Gangverlauf folgt (siehe unten) ist es sehr oft nicht praktikabel, einen Polygonzug zu schließen. In diesem Fall kann nicht festgestellt werden, ob der Polygonzug im Rahmen der angestrebten Vermessungsgenauigkeit liegt, oder ob grobe Fehler gemacht wurden.

Polygonzug = Grundlage der Basisdaten

Die Hauptzüge des Polygonzuges sollen möglichst dem Gangverlauf einer Höhle folgen, wodurch der Höhlenverlauf bereits grob festgehalten wird. Mit Hilfe des Polygonzuges und ergänzender „Raumdaten“ (Angaben zum Gangquerschnitt an jedem Vermessungspunkt, meist „LROU“: links, rechts, oben, unten) können die meisten Programme zur Berechnung von Höhlenvermessungen auch einfache dreidimensionale Bilder der Höhle erzeugen. Achtung: diese Daten können sich auf den von- oder den zu-Punkt beziehen, was unterschiedlich gehandhabt wird. Dies ist zu vermerken und auch bei der Berechnung und Darstellung zu berücksichtigen.


Zugleich wird aus der Summe dieser (Haupt-)Messzüge die **Ganglänge** der Höhle ermittelt. Die Ganglängenangaben von Höhlen besitzen daher in Bezug auf die reale Höhle keine geometrische Exaktheit (ein solches Maß ist aufgrund der komplexen Form einer Höhle auch nicht zu finden) sondern stellen nur eine praktikable Näherung zwecks Vergleichbarkeit dar. Jedenfalls sollen die Hauptzüge möglichst nicht im Zickzack von einer Höhlenwand zur anderen geführt werden. Es ist eine internationale Konvention, dass Hilfszüge (Seitenzüge, stern- oder ringförmige Ausmessung von Hallen), die nur der Dimensionsbestimmung von Raumprofilen oder zur genaueren Entwurfszeichnung gemessen werden, *nicht* zur Ganglänge rechnen.


Zwischen dem höchst- und tiefstgelegenen Punkt eines Polygons spannt sich der **Höhenunterschied** (vertikale Ausdehnung) der Höhle auf, zwischen den in der Grundrissprojektion lagemäßig entferntesten Punkten die **Horizontalerstreckung** (horizontale Ausdehnung) der Höhle.

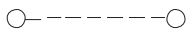


Plandarstellung des Polygonzugs

In der Plandarstellung des Polygons kann signaturenmäßig unterschieden werden zwischen:

Ganglängen-relevanten **Hauptzügen**: durchgezogene Messlinie 

Hilfszügen: kurze Anstriche an den Vp's 

unterlagernden Messzügen: strichlierte Linie oder Anstriche 

Bussolenpunkte: Kreise (O)

Theodolitpunkte: Dreiecke (Δ)

GPS-Punkte: Sechsecke (\blacklozenge)

Dauerhaft markierte Punkte können durch Unterstreichung der Punktnummer (z.B.: 8) bezeichnet werden.

Systematische Bezeichnung der Messpunkte

Grundprinzip

Messpunkte eines Polygons (➔ siehe Merkblatt B28) werden grundsätzlich mit fortschreitender Vermessung in aufsteigender Folge von Zahlen (1, 2, 3,...) oder Buchstaben-Zahlen-Kombinationen nummeriert (z.B.: B17, B18,...). Jedem Messpunkt einer Höhle oder eines Höhlengebietes wird dabei eine eindeutige Bezeichnung gegeben, indem jede Zahl bzw. Zeichenkombination nur ein einziges Mal vergeben wird. "Punktnummer" bedeutet nicht unbedingt nur eine Zahl, sondern eine Kombination aus Buchstaben, Zeichen und Ziffern.

Da man unmittelbar während der Vermessung in größeren Höhlen kaum eine klare Nummerierung herstellen kann (vor allem bei mehreren gleichzeitig tätigen Messgruppen; vielfach gewinnt man selbst erst nach abgeschlossener Vermessung einen Überblick) sollten im Zuge der Vermessung *keine* dauerhaften Nummerierungen in der Höhle vorgenommen werden, auch wenn die Punkte selbst dauerhaft vermarktet („stabilisiert“) werden. Das Fazit ist nämlich fast immer, dass zu Hause Korrekturen vorgenommen werden müssen, und in der Höhle dann „falsche“ Nummern (die provisorischen Nummern des Kartierungsbuches) angeschrieben sind. Falls eine Punktbezeichnung wichtig erscheint, sollten im Gelände allenfalls erst nachträglich Nummern angebracht werden. Mit guten Plänen findet man den richtigen Punkt aber auch ohne aufgemalte Ziffer wieder!

Einmal in einem Höhlengebiet eingeführte Punktnummersysteme sind unbedingt weiter zu führen, oder es ist allenfalls das gesamte Gebiet in eine neue Systematik zu übertragen (alle Messprotokolle, Plandarstellungen, Punktbezeichnungen in der Höhle etc.). Dies birgt aber unzählige Fehlerquellen! Besser, man übernimmt am Computer das bestehende System durch eine Erweiterung in die Neue Systematik (je nachdem Zusatzziffer oder -Buchstaben am Beginn der Messpunktbezeichnung).

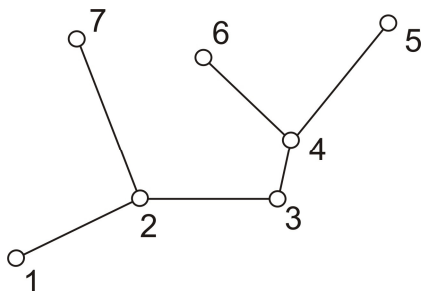
Mögliche Varianten

Größere Höhlensysteme bzw. Vermessungsnetze weisen auch eine große Anzahl von Messpunkten auf, die schnell in die Tausende oder Zehntausende gehen kann. Um den Überblick zu behalten bzw. damit sich jeder Datennutzer rasch orientieren kann, ist bei der Benennung der Messpunkte ein durchschaubares (und dokumentiertes) Ordnungsprinzip unumgänglich. Nach Möglichkeit sollte dabei von der Punktnummer auf die Lage des Messpunktes geschlossen werden können (Gebiet, Höhle bzw. Höhlenteil, ev. Vermessung).

Es ist vorzuschicken, dass es dazu kein Patentrezept gibt, vielmehr soll das System dem jeweiligen Gebiet angepasst werden. Im Folgenden werden unterschiedliche Möglichkeiten aufgezeigt.

Trotz aller geforderten Systematik sollten – wenigstens am Plan – die **Punktnummern so kurz als möglich** gehalten werden (lange Zahlenreihen sind eine Fehlerquelle und „Verschandelung“ des Höhlenplans).

Fortlaufende Nummer: Eine Lösung nur für kleinere Höhlen

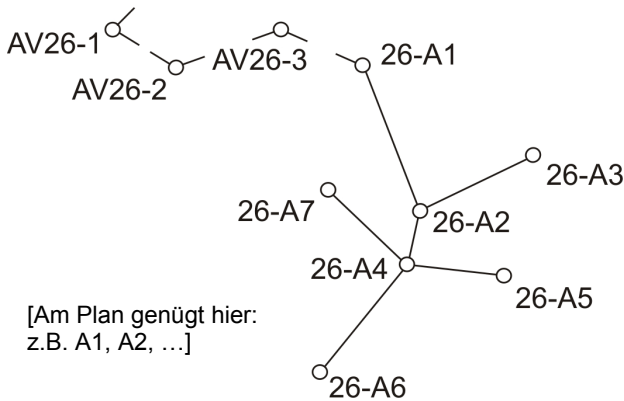
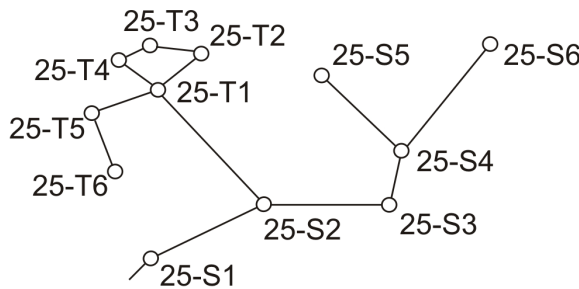


Es werden den Punkten vom Eingang einer Höhle beginnend und dem Verlauf der Vermessung folgend ansteigende Nummern zugeordnet. Dabei sollten keine Nummern ausgelassen werden. Nicht mit „0“ beginnen!

Vorteile: Einfach. Man sieht auch ohne Computerauswertung sofort, wie viele Messzüge für die Vermessung der Höhle erforderlich waren. Die Vermessung ist in einem Messprotokoll leicht nachvollziehbar.

Nachteile: für komplexe Höhlen(gebiete) völlig unpraktisch, weil bald unüberschaubar und hohe Anfälligkeit für irrtümliche Doppelbezeichnungen. Es erlaubt keine Zuordnung von Messzügen zu Höhlen(teilen) etc.

Empfehlung: Hierarchische Systeme mit Katasternummer und Mappen



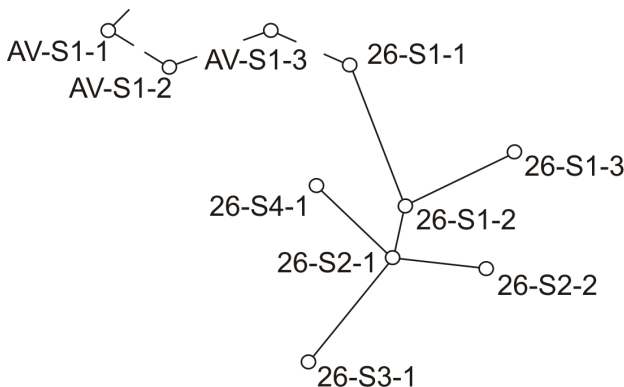
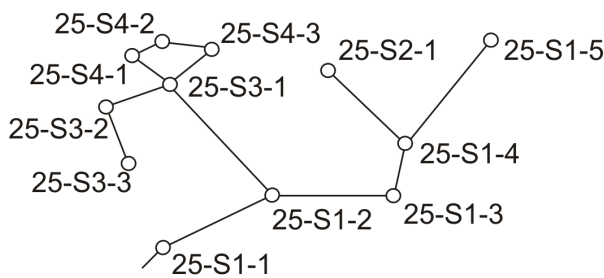
Bleibt man bei innerhalb einer Katastergruppe (das ist meist der Fall), so reicht es zur Unterscheidung den Punktnummern der Höhle jeweils die Katasternummer voranzustellen. Bsp.: **25-134** bezeichnet den **134.** Punkt der Höhle mit der Katasternummer **25.**

Große Höhlen können in (mehr oder weniger abgegrenzten Höhlenteilen entsprechenden) „Mappen“ geteilt werden, die mit einem Buchstaben (z.B. „S“) bezeichnet werden. Für Außenvermessungspunkte wird häufig ein „A“ oder „AV“ in die Punktbezeichnungen eingeflochten.

Vorteile: Durchgehende Logik, auch für komplexe Höhlengebiete, unbegrenzte Anzahl an Punktnummern, bietet über die reine Punktbezeichnung hinausgehende Informationen: Beispielsweise ist die Zuordnung von Plandarstellungen zu Höhlen(teilen) anhand der Punktnummern möglich. Es können unabhängig voneinander mehrere Gruppen nummerieren, sofern sie nicht gerade im gleichen Höhlenteil arbeiten. In einem Plan mit Titel kann man den „logischen“ Anfang des Zifferncodes (der z.B. nur die Katasternummer wiedergibt) ohne Informationsverlust weglassen.

Nachteile: Das System muss von Beginn an gut überlegt sein und dann strikt durchgehalten werden, Gelegenheitsforscher haben manchmal Probleme damit.

Serien und Stationen (Schweizer System)



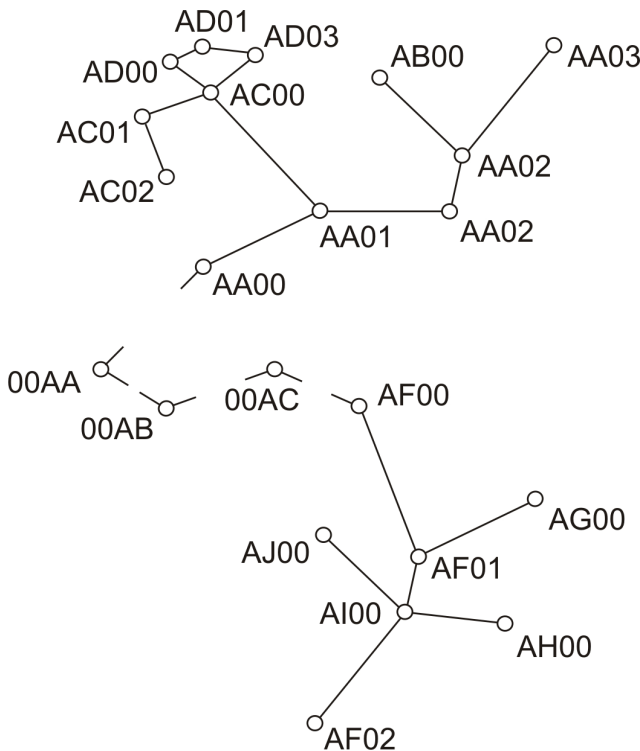
Das System baut auf sogenannten „Serien“ auf und ist eng mit dem in der Schweiz etablierten Programm „Toporobot“ verknüpft. Eine Serie ist eine durchgehende Folge von Messstrecken, die keine Verzweigungen enthalten darf. Bei jeder Verzweigung (Seitenzug) beginnt eine neue Serie. Punkte werden nun innerhalb einer Serie fortlaufend nummeriert. Punkt 2-1 ist der 1. Punkt innerhalb der 2. Serie. Die Kombination mit zusätzlichen Attributen (z.B. Mappen) erlaubt eine klarere Strukturierung, da zusätzlich zu den Mappen und Punktnummern die Ebene der Serien eingeschaltet wird.

Bsp.: **25-B14-134** bezeichnet den **134.** Punkt der **14.** Serie in der Mappe **B** der Höhle mit der Katasternummer **25.**

Vorteile: Mathematisch logisches System mit unbegrenzter Zahl möglicher Punktnummern. Gemeinsam mit „Toporobot“ erlauben die Serien nach wie vor eine bessere digitale 3-D-Modellierung von Höhlen als andere Programme.

Nachteile: Unübersichtlichkeit und lange Ziffernkolonnen bei labyrinthischen Höhlen oder umfangreichen Raumvermessungen in großen Hallen. Entspricht nicht unbedingt der Logik menschlicher Orientierung.

Grazer System



Vierstellige, ansteigende Alphanumerische Codesysteme wie z.B.

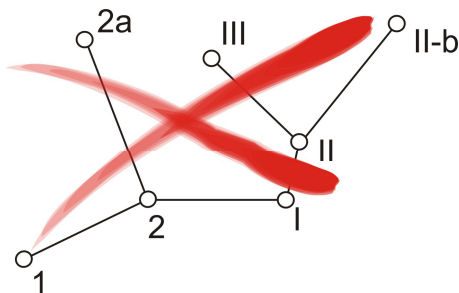
AA00 bis ZZ99 (meistverwendet), oder

00AA bis 99ZZ

Vorteile: Mathematisch logisches System mit hoher Anzahl theoretisch möglicher Punktnummern (jeweils 67.600 – allerdings kaum annähernd ausschöpfbar).

Nachteile: Keine eindeutige Zuordnung zu Höhlen, die Katastersystematik wird durchbrochen. (Vertreter dieses Systems empfehlen sogar einerseits „Kontingente“ für Höhlenteile zu verwenden oder andererseits in Kleinhöhlengebieten höhlenübergreifend fortlaufend weiterzunummerieren, oder auch ein Mischung der Code-Systeme). Für kleinere Objekte sehr umständlich, da von Anfang an vierstellige Codes zu verwenden sind, andererseits ist die Länge einzelner Serien durch das Dezimalsystem auf maximal 99 Punkte begrenzt. Ziffern-Überladung der Pläne.

Wichtig: keine Chaos- oder Notlösungen!



Für welches System man sich auch immer entscheidet, es sollte konsequent beibehalten werden. Häufig findet man leider in Plänen unsystematische Spontan-Messpunktbezeichnungen, vor allem an kurzen Seitenstrecken (z.B. Kleinbuchstaben, römische Ziffern). Dies ist unübersichtlich, führt zu Doppelbenennungen und zu falschen Rundschlüssen. Daher ist ein solches Kunterbunt unbedingt zu vermeiden!

Das Messprotokoll

Auch in Zeiten der digitalen Messdatenberechnung

... ist es für die Nachhaltigkeit Eurer Vermessungen (die dauerhafte Nachvollziehbarkeit und Weiterverwendbarkeit) unerlässlich, die Daten übersichtlich und vollständig zu protokollieren. Dies sollte digital und – nach wie vor – analog, also ausgedruckt auf Papier erfolgen. Was vorerst lästig erscheint, rettet Euch später beim Überschreiten des 10. oder 20. km Ganglänge vor dem totalen Chaos!

Die nachfolgende Darstellung zeigt, was in der Dateneingabe und auf einem Messprotokoll alles enthalten sein soll. Die Gestaltung des Protokolls (Eingabeformular, Ausdruck) ist Geschmackssache:

Datenkopf	MESSPROTOKOLL FÜR: <i>Weißer Grotte</i>													KAT.NR.: 1712/18 a-c		DATUM: 15.9.2002		
	MESSGRUPPE: <i>R. Fischer u. A. Klampfer</i>													BERECHNUNG: <i>R. u. W. Fischer mit EXCEL4.0</i>				
	Landesverein für Höhlenkunde in Wien und NÖ													KOORD. URSPRUNG: VP 1				
	von	bis	L	N	R	D	links	rechts	oben	unten	Δh	H	Δy	Δx	Y	X	Anmerkung	
		1					kann bei guter Planaufnahme auch später ergänzt werden					0,00			0,00	0,00	Sh 1600 m (Eingang a)	
	1	2	4,17	-4,0	24,0	4,16						-0,29	-0,29	1,69	3,80	1,69	3,80	
		1										0,00			0,00	0,00		
	1	3	2,70	-43,0	203,0	1,97						-1,84	-1,84	-0,77	-1,82	-0,77	-1,82	
	3	4	3,13	-57,5	313,0	1,68						-2,64	-4,48	-1,23	1,15	-2,00	-0,67	
	4	5	5,55	-62,0	306,0	2,61						-4,90	-9,38	-2,11	1,53	-4,11	0,86	
	5	6	5,25	-40,0	310,0	4,02						-3,37	-12,76	-3,08	2,59	-7,19	3,45	
	6	7	2,78	3,0	8,0	2,78						0,15	-12,61	0,39	2,75	-6,80	6,20	
		6										-12,76			-7,19	3,45		
	6	8	7,98	-36,5	204,0	6,41						-4,75	-17,50	-2,61	-5,86	-9,80	-2,41	
	8	9	1,83	-90,0	0,0	0,00						-1,83	-19,33	0,00	0,00	-9,80	-2,41	
		5										-9,38			-4,11	0,86		
	5	10	2,43	36,0	309,0	1,97						1,43	-7,95	-1,53	1,24	-5,64	2,10	zählt nicht zur Ganglänge
	10	11	10,35	35,0	252,0	8,48						5,94	-2,02	-8,06	-2,62	-13,70	-0,52	
	11	12	3,41	-48,0	327,0	2,28						-2,53	-4,55	-1,24	1,91	-14,94	1,39	
	12	13	8,07	-36,0	191,0	6,53						-4,74	-9,29	-1,25	-6,41	-16,19	-5,02	
	13	14	4,40	-12,0	3,0	4,30						-0,91	-10,21	0,23	4,30	-15,96	-0,72	
	14	15	3,04	14,0	292,0	2,95					0,74	-9,47	-2,73	1,10	-18,70	0,39		
	15	16	3,78	6,0	244,0	3,76					0,40	-9,08	-3,38	-1,65	-22,08	-1,26		
	16	17	4,23	-13,0	3,0	4,12					-0,95	-10,03	0,22	4,12	-21,86	2,85		
			70,67															
																	Σ Ganglänge (Züge, die nicht zur Ganglänge zählen kennzeichnen!)	
																	BMN-Koord. 546.350 / 268.560 (GPS)	

Datenblock

↑ Punktnummern (Leerzeile bei Anschlusswechsel erhöht die Übersichtlichkeit)

↑ Länge des Messzuges

↑ Neigung des Messzuges

↑ Richtung des Messzuges

↑ Horizontale Distanz des Messzuges

↑ Horizontale und vertikale Entfernungen der Raumbegrenzung vom Messpunkt für 3D-Computergrafiken

↑ Höhenunterschied des Messzuges

↑ Absolute Höhe des Punktes

↑ Relative Koordinatenänderung innerhalb des Messzuges

↑ Absolute Koordinaten innerhalb des gewählten Koordinatensystems (im abgebildeten Beispiel: Koordinatenursprung in Punkt 1)

↑ Bezeichnung der Höhlenteile und diverse Hinweise (hier z.B. Seehöhe und BMN-Koord.)

	Altgrad	Blatt
N	±90°	
R	360°	

↑ Angabe der Kreisteilung und Blattnummer im Messprotokoll



Leider berücksichtigen die meisten derzeit (2007) verwendeten Computerprogramme den Grundsatz der nachvollziehbaren Dokumentation nur sehr unzureichend, da sich die Software-Entwickler eher auf eine Steigerung der Grafik-Möglichkeiten abzielen, und nur zögerlich werden die grundlegenden Basisfunktionen nachgerüstet. Z.B. im Programm COMPASS ist es erst seit den letzten Programmversionen möglich Eingangsdaten und berechnete Koordinaten in einer Tabelle anzuzeigen oder auszudrucken (unter *View – Cave Statistics... – Custom Export*), aber die Kennzeichnung von Zügen, die nicht zur Ganglänge zählen oder Raumdaten können hier nicht angefügt werden. Dadurch verlieren aber viele Vermessungen an Wert und der Arbeitsaufwand bei der Weitervermessung steigt ebenso wie die Gefahr, Fehler bei der Dateneingabe zu machen (falscher Anschluss, falsche Punktnummern, fehlende Deklination,...). Wirkt auf die Programmierer Eure Programme ein, dass sie diese für Euch wichtige Protokollansicht bereitstellen!

Je besser ein Messprotokoll in der Anmerkungs-Spalte erläutert ist, desto besser kann es später – bei weiteren, anschließenden Vermessungen – nachvollzogen werden.

Ganglängenerfassung

Computerprogramme erfassen die Ganglänge meist automatisch. Zwecks Nachvollziehbarkeit hat es allerdings auch als günstig herausgestellt, die erzielte Ganglänge jedes Vermessungseinsatzes – also die Summe jedes Protokolls auf diesem zu erfassen.

Bei den meisten Höhlenvermessungen gibt es Messzüge, die nur der besseren kartographischen Erfassung des Höhlenraumes dienen und nicht zur Ganglänge gezählt werden. Diese sind am Protokoll unbedingt zu kennzeichnen. Auf handgeschriebenen Protokollen hat es sich bewährt, die entsprechenden Messzuglängen einzuringeln, in digital erstellten Protokollen erfolgt dies oft durch ein „L“ in eigener Spalte („Flag“ für Längenexklusion) oder in der Anmerkungs-Spalte.

Ordnung und Archivierung der Messprotokolle

Jede Vermessung (Einsatz/Tour einer Messgruppe) bekommt ein eigenes Protokoll!

Tipp: Messteams oder -touren nie vermischen! Wenn sich später z.B. herausstellt, dass Gruppe B einen fehlerhaften Kompass verwendet hat, muss man bei vermischten Daten alle Ergebnisse verwerfen. Generell ist es auch ratsam die verwendeten Messgeräte zu notieren (Seriennummer oder eigene Nummer), um beim Feststellen von etwaigen Gerätemissweisungen auch noch nachträglich die Messdaten korrigieren zu können.

Bei größeren Höhlen: So wie man die Höhle in Teile gliedert, werden auch die Messprotokolle mit fortlaufender Nummer in mit Buchstaben gekennzeichneten Mappen geordnet (z.B. Höhlenteil A – Mappe A – Messprotokolle A1 bis Axxx – Punktnummern A1-Axxx; ➔ vgl. MB B4). Es ist hilfreich, für jede Mappe eine Übersichtstabelle der Messprotokolle anzulegen – das ist zugleich eine Chronologie der Erforschung und hilft bei der Statistik.

Auch die digitalen Messdaten sollten entsprechend archiviert werden – immerhin stellt die Eingabe einen nicht unerheblichen Arbeitsaufwand dar. Im Optimalfall können sie in der vom Verein verwendeten Kataster-Datenbank (➔ vgl. MB B 4) integriert und gespeichert werden. Zumindest ist eine systematische Archivierung innerhalb des Vereins sinnvoll.

Tipp: regelmäßige Daten-Backups (Sicherungen) sollten hier eine Selbstverständlichkeit sein.

Arbeitsweise der Messgruppe

Im Optimalfall besteht eine **Messgruppe aus drei Personen**: dem Zeichner, dem Viseur und dem Maßbandträger. Dieser geht voran und übernimmt die wichtige Aufgabe der Auswahl (und Markierung) von Messpunkten.

Um ein rasches Vorwärtkommen zu ermöglichen, sollen die Messzüge einerseits nicht zu kurz sein, andererseits vom Zeichner noch gut überblickt werden können. Aufgrund der Verwendung für die Ganglängenermittlung und für digitale Höhlenverlaufspläne/3D-Modelle soll der Messzug möglichst der Achse des Höhlenganges folgen.

Die Zeichnung des Entwurfes dauert gewöhnlich am längsten, so dass die übrigen Mitarbeiter Wartezeiten in Kauf nehmen müssen. In der Praxis kann die Entwurfszeichnung beschleunigt werden, indem auch in großen Räumen (abgesehen von Schächten und sehr einfach gebauten Gängen) „handliche“ Messstrecken von unter 10 m Länge gewählt werden. Dies führt nicht nur zu einer gleichmäßigeren Beschäftigung der Vermesser sondern auch zu besseren Messergebnissen, da sich zufällige Fehler in vielen kurzen Zügen statistisch ausgleichen. In größeren Räumen lässt der Maßbandträger zur Erleichterung und Verbesserung der Entwurfszeichnung das Band so lange in der Linie der Visur am Boden liegen, bis der entsprechende Abschnitt der Entwurfszeichnung fertig gestellt ist.

Ist man nur **zu zweit** unterwegs muss der Viseur auch das Maßband übernehmen. Der Zeichner hält in diesem Fall das Maßbandende am jeweils letzten Vermessungspunkt an und der Viseur visiert in „verkehrter Richtung“. **ACHTUNG**: rückwärts gemessene Werte müssen am Messblatt gekennzeichnet werden (Umrechnen in der Höhle sollte als Fehlerquelle vermieden werden).

In erfahrenen Zweiergruppen übernimmt der Viseur zwecks ausgeglichener Arbeitsaufteilung zusätzlich noch die Zeichnung des Längsschnittes, die tendenziell weniger Zeit in Anspruch nimmt als die Grundrisszeichnung.

Bei einer **Vierergruppe** übernimmt ein Forscher die Aufgabe des Erkundens, Fotografierens, Materialeinbaus usw., die restliche Dreiergruppe arbeitet nach oben beschriebener Methode.

Arbeitsvorgang

Arbeits-schritt	Zeichner	Viseur	Maßbandträger
1			Punkt auswählen
2		Maßband spannen und ablesen (nicht runden!)	
3	Länge notieren		
4		Neigung messen	(Punkt anzeigen und beleuchten)
5	Neigung notieren, Zug im Längs-schnitt mit Geodreieck auftragen		
6	Verkürzung für Grundriss ablesen		
7		Richtung messen	(Punkt anzeigen und beleuchten)
8	Richtung notieren, verkürzte Strecke mit Geodreieck im Grundriss auf-tragen		
9			Punkt markieren (bei Abzweigung- gen und Vermessungsabbruch dauerhaft)
10	Entwurfszeichnung	(eventuelle Hilfsmessungen)	

Tipps und Tricks für eine genaue Vermessung

Fehlerquellen der Vermessungsgeräte

Maßband: Der Nullpunkt der verschiedenen Maßbänder kann unterschiedlich sein. Einmal ist es der Ring der Lasche, das andere Mal eine Markierung auf dem Band. Da bei älteren Maßbändern erfahrungsgemäß der erste Meter zuerst kaputt wird, werden auch solche verwendet, bei denen man bei 1 m anhalten muss. Also muss man vor der Vermessung sicherstellen, dass man den richtigen Nullpunkt zur Messung verwendet, da ansonsten ein systematischer Fehler gemacht wird.

Maßbänder sind auf eine bestimmte Zugbelastung kalibriert, die meist am Maßband aufgedruckt ist, z.B. 50 N. Diese Zugkraft sollte in etwa eingehalten werden, also: weder Girlanden noch allzu starkes Zerren!

Neigungsmesser: Häufiger und gravierender Fehler ist die Verwechslung der %- und °-Skala bei Winkeln deutlich unter 45°. (Wenn Winkel um und über 100° abgelesen werden, sollte es auffallen). Ein weiterer sehr häufiger Fehler entsteht, wenn von einem beschrifteten 10er-Wert in die falsche Richtung zählt und z.B. 9° anstatt 11° abliest (gilt auch für den Kompass). Bei flachen Visuren sollte man bewusst auf das Vorzeichen achten, da man die Horizontale in der Höhle oft schlecht abschätzen kann.

Peilkompass: Der Messwert wird bei Ablenkung durch magnetische Teile, insbesondere der Stirnlampe (aber auch durch Brillen und Armbanduhr) verfälscht. Der verwendete Helm etc. sollte daher getestet werden, indem man einen horizontal liegenden Kompass mit dem Helm umkreist. Die Nadel darf sich dabei nicht bewegen, sonst sind völlig unvorhersagbare Ablesungen vorprogrammiert.

Der Kompass ist beim Ablesen waagrecht zu halten, da ansonsten die Libelle durch Reibung „hängen bleibt“. Am leichtesten ist das zu verifizieren, wenn man vor dem Ablesen noch ein wenig links und rechts des Punktes visiert (leicht hin- und herdreht). Die Nadel muss ohne Verzögerung folgen.

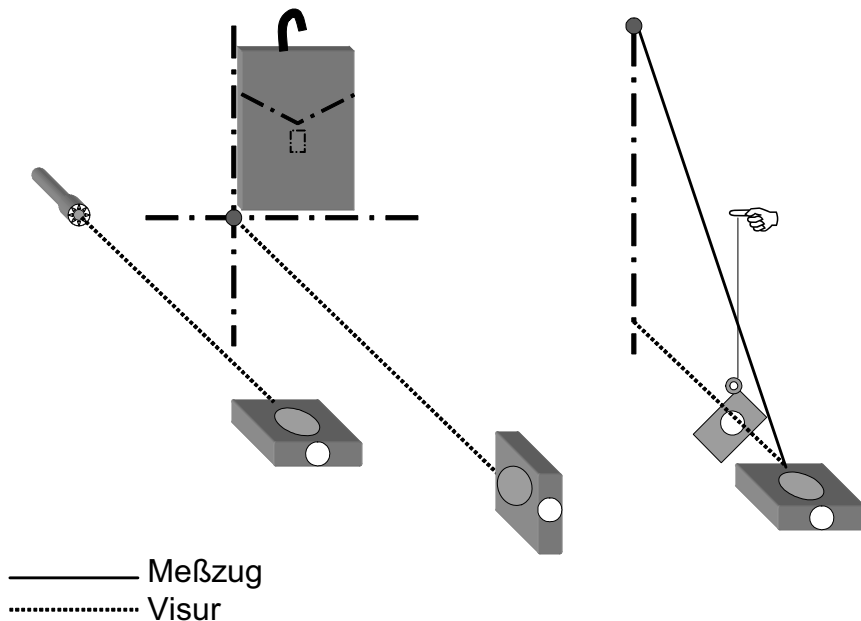
Bei steilen Visuren ist es schwierig die Richtung zu bestimmen, da man ja den Kompass waagrecht halten muss (Spiel!). Man wird also die Senkrechte vom Messpunkt schätzen und auf diese Gerade visieren. Insbesondere bei geneigten Höhlenprofilen und bei unbequemer Ablesehaltung sind Fehler vorprogrammiert. Man sollte sich auch nicht auf die Normalität des Fadens zur Gradskala im Okular verlassen. Dieses Problem kann man entschärfen, indem man das zweite Gerät mit ausgestreckter Hand an der Schlaufe hält und so als Lot verwendet. Nun muss man sich die Senkrechte nicht mehr vorstellen sondern sieht sie auch (Methode Daniel Gebauer). Für eine von Volker Weißensteiner beschriebene Zusatzeinrichtung des Kompass gibt es mittlerweile in der Schweiz die nötigen Kleinteile zu bestellen. Durch Totalreflexion sieht man Spiegelungen des Messpunktes (=Lichtquelle!) in geringem Winkelabstand zur Waagrechten und kann auch bei sehr steilen Messungen leicht und genau ablesen.

Handelsübliche Neigungsmesser und Kompassse können ab Werk **Gerätefehler** (systematische Missweisungen) von bis zu 2° aufweisen. Um dies zu prüfen (und in der Datenberechnung systematisch berücksichtigen zu können) sollte jedes Gerät in regelmäßigen Abständen an einer Teststrecke (z.B. per GPS an zwei weit entfernten Punkten selbst herstellbar) geprüft werden und die Identität der verwendeten Messgarnitur bei jedem Messprotokoll vermerkt werden.

Anleitung zu einfachen Methoden

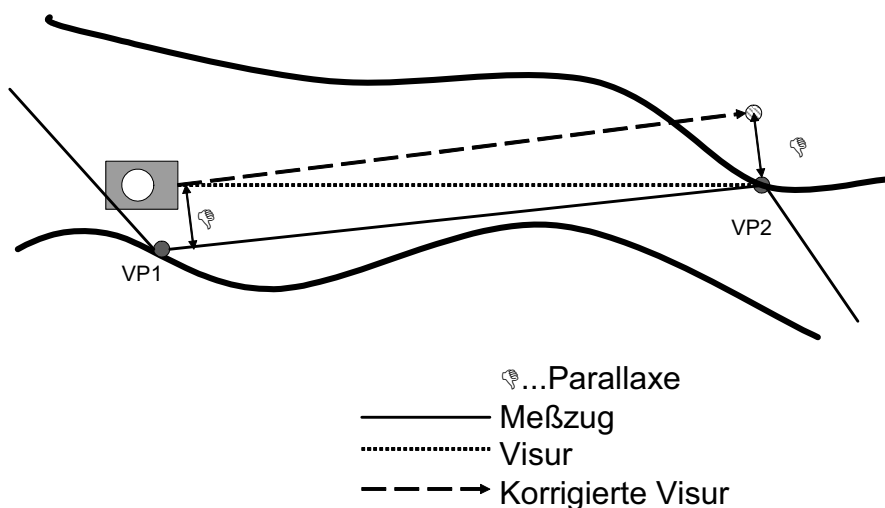
Die **Markierung der Messpunkte** sollte klein, dauerhaft und gut sichtbar sein. Bewährt hat sich dabei Försterkreide oder ein Lackpunkt (Nagellack – aber Achtung bei Außenvermessungen: Nagellack ist nicht UV beständig!). Bei der Wahl des Polygonpunktes sollte nicht nur Bequemlichkeit der Visur oder maximale Messstrecke berücksichtigt werden, sondern auch der nächste Zug bzw. Züge bei Abzweigungen.

Zum **AbleSEN der Geräte** muss Licht einfallen (von oben beim Kompass, von links beim Neigungsmesser), die aber bei der normalen Karbid-Stirnlampe oft nicht ausreicht. Beim Kompass kann man sich durch Ablesen aus etwa 5 cm Entfernung abhelfen, bei der Neigung hilft nur eine zweite Lichtquelle. Abhilfe ist eine abnehmbare elektrische Stirnlampe oder eine kleine Handlampe mit der man mit der freien Hand leuchtet. Es funktioniert auch, beim Ablesen der Neigung das Licht der Karbid-Stirnlampe mit der blanken Rückseite des Kompass auf den Neigungsmesser zu spiegeln. Nach wenigen Probeversuchen klappt das zuverlässig. Alle Zusatzlampen sind auf magnetische Ablenkung zu prüfen!



Das Visieren ist manchmal schwierig, da der Messpunkt für den Viseur schlecht erkennbar sein kann (lange Visuren, unbequeme Strecken). Die Person beim entfernten Punkt kann helfen, indem sie das Ziel visualisiert. Dies kann durch Zeigen mit er Hand, durch eine Lampe am Punkt (Handlampe, LED-Lampe oder Stirnlampe, hierbei Achtung auf Parallaxe) oder durch Aufsetzen einer Ecke der Messmappe geschehen (Vorteil: man hat senkrechte und waagrechte Visurlinien).

Generell ist es sinnvoll sich zu vergewissern, dass die Visurlinie durch den Punkt führt, insbesondere wenn man annähernd senkrecht von einer Wand wegmisst. Der Punkt ist hinter dem Kopf und bei steileren Visuren überschätzt man sich leicht.



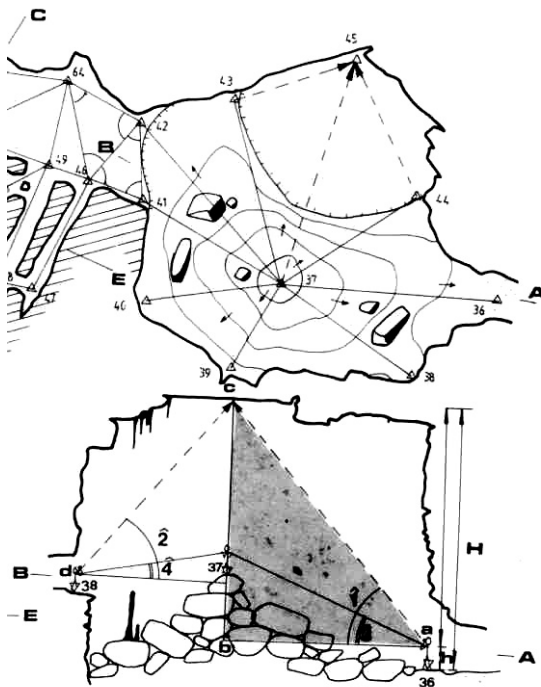
Manchmal kann man das Auge nicht ganz in die Polygonlinie bringen. Ein typisches Beispiel wäre ein Canyon mit den Punkten an den Wänden. Man kann wegen dem Helm das Gerät nur in einer gewissen Entfernung ablesen. Man versucht den Fehler nur in einer Achse zu machen (also wenn man seitlich nicht zum Punkt kann, dann wenigstens auf gleicher Höhe, wenn man nur über dem Punkt visieren kann dann genau über dem Punkt) und muss dann die Abweichung beim Zielpunkt einzuschätzen. (Ich bin jetzt 10 cm links des Punkts, also visiere ich auf einen imaginären Punkt 10 cm links des Zieles. Wenn man allerdings auf die falsche Seite visiert, hat man den Fehler verdoppelt!).

Hilfreich ist es auch, sich manchmal nicht den Punkt sondern eine ‚Verlängerung‘ anzeigen zu lassen. Also bei der Neigung wird eine Waagrechte (z.B. durch Kante der Messmappe) angezeigt, bei der Richtung eine Vertikale. Wenn man diesen Fehler nicht berücksichtigt entsteht ein systematischer Fehler, der sich bei vielen Zügen stark auswirken kann.

Größere Schächte sollten mit **Lotungen** vermessen werden, da man so die Ungenauigkeiten der steilen Visuren umgeht. Das Ende des Maßbandes wird hierzu mit einem Karabiner oder anderem Eisenzeug beschwert.

Tiefe Schächte können mit drei Leuten bis zu einer Tiefe der doppelten Maßbandlänge vermessen werden indem von oben zu einer Person in der Mitte des Seiles gemessen wird (Anhalten am Seil) und von dort weiter nach unten (Überschlagen). In Schächten, aber auch sonst ist es sehr vorteilhaft, wenn das Maßband an beiden Seiten mit Karabinern am Gurt befestigt wird.

Hinweise auf komplexere Methoden



Die **Raumhöhe** kann durch Triangulierung eines Deckenpunktes (markante Formation, oder ein Lichtfleck eines Laserpointers) von zwei Messpunkten des normalen Polygonzuges ermittelt werden. Mit dieser Methode kann auch die Distanz zu unzugänglichen Raumpunkten (jenseits von Schächten oder grazilen Tropfsteinbildungen) gemessen werden.

◀ Durch Einmessung eines beleuchteten Punktes an der Decke oder Seitenwand von zwei verschiedenen Messpunkten kann die Lage und Höhe durch Triangulierung bestimmt werden.

Eine einfache Berechnung (und grafische Ermittlung im Entwurf vor Ort) ist möglich, wenn ein Deckenpunkt senkrecht über einem Messpunkt anvisiert wird.

Grafik aus: Martinez i Rius, *Topografia Espeleologica*.

Laserdistanzer (z.B. von Hilti oder Leica) sind mittlerweile schon recht klein und leistungsfähig. Für sehr große Höhlenteile (Seitenzüge), genaue Deckenaufnahmen, Volumsbestimmungen von Hallen etc. sind sie vorteilhaft und erlauben ein rascheres Messen. Bei normalen Messungen bietet das herkömmliche Maßband Vorteile für den Zeichner, ist vergleichsweise billig und kann zwischendurch auch ohne Schaden in Schlammbrühen versenkt werden.

Literatur

Grossenbacher, Y. (1991): *Topographie souterraine*. – Editions du Fond, Neuchâtel, 105 S.

Hof, A. (1988): Vermessungsgeräte und ihre Zuverlässigkeit. – *Stalactite*, 38 (1+2), 47-59.

Martinez i Rius, A. (1992): *Topografia Espeleologica*. – Federacion Espagnola de Espeleologia, 132 S.

Weißensteiner, V. (1989): Eine Zusatzeinrichtung für den flüssigkeitsgedämpften Kompaß. – *Die Höhle*, Wien, 40 (4), 114-117

Weißensteiner, V. (1993): Eine weitere Verbesserung für ein genaues Visiersystem an einem Flüssigkeitskompaß. – *Die Höhle*, Wien, 44 (4), 110-114

Grundriss, Längsschnitt, Aufriss und Profile

Höhlen sind komplexe dreidimensionale Phänomene deren kartografische Darstellung aufgrund der Zweidimensionalität des Darstellungsmediums (Papierplan, Computer Bildschirm etc.) nur gewisse Ansichten bzw. Projektionen erlauben. Im Folgenden werden die möglichen Projektionen, die für die Darstellung von Höhlen und im speziellen für Höhlenpläne angewandt werden erläutert. Jede Höhle bzw. jeder Höhlenteil sollte im Grundriss, einem Vertikalschnitt (vorzugsweise Längsschnitt) und in Profilen dargestellt werden - für Fragen zur Höhlenentstehung (Speläogenese) kann auch der Längsschnitt einer Horizontalhöhle große Aussagekraft besitzen.

Der Grundriss ist die Projektion der Höhle auf eine horizontale Ebene, ähnlich einer Landkarte. Die Messzüge sind je nach Neigung verkürzt dargestellt, wodurch nur horizontale Strecken in ihrer wahren Ausdehnung abgebildet werden und ein senkrechter Messzug nur als Punkt erscheint.

Der Aufriss ist die Projektion der Höhle auf eine vertikale Ebene, deren Richtung angegeben werden muss, wobei meist die der maximalen Ausdehnung verwendet wird. Züge, die nicht in dieser Ebene liegen erscheinen verkürzt und steiler, was das Lesen des Aufrisses erschwert.

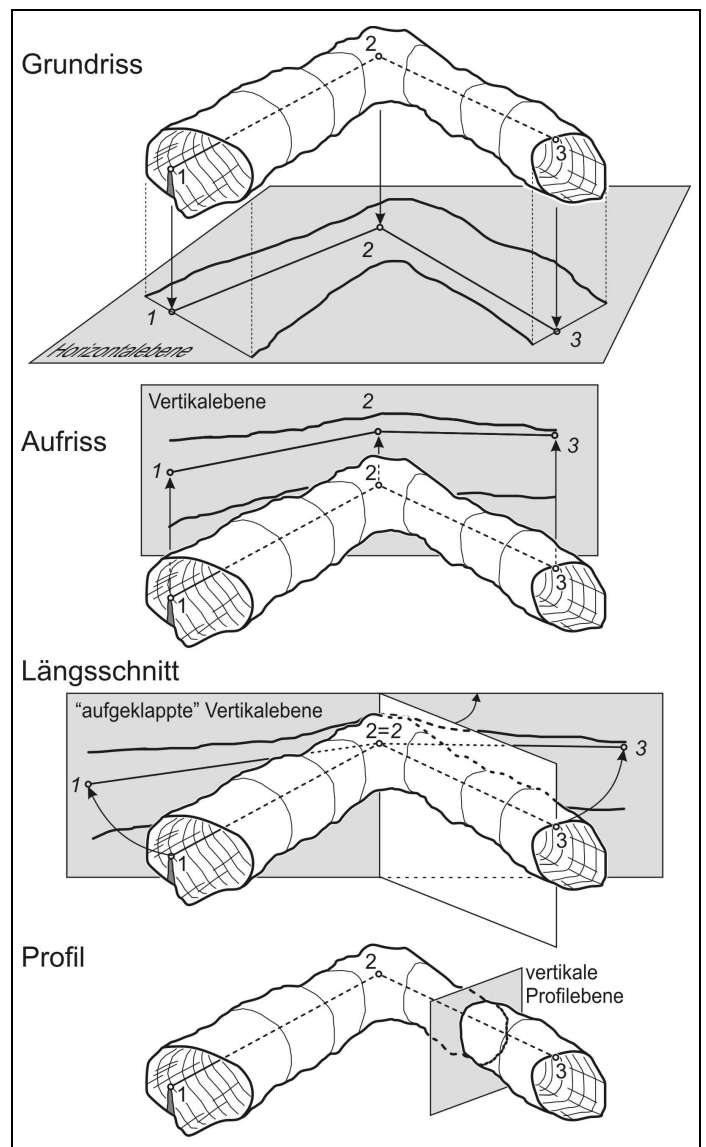
Der Längsschnitt (auch *Längsschnitt mit gestreckten Achsen*) bietet ebenfalls eine vertikale Ansicht der Höhle. Er entsteht durch die Aneinanderreihung der einzelnen Messzüge (Höhlenabschnitte) in ihrer tatsächlichen Neigung, wodurch auch die wahre Neigung der Höhlenabschnitte wiedergegeben wird. Horizontale räumliche Beziehungen (z.B. der Punkt X im Gang A liegt über Punkt Y in Gang B) können aber nicht dargestellt werden.

Generell ist für die Befahrung von Höhle und für Interpretationen der Höhlenentstehung der Längsschnitt geeigneter, während der Aufriss besser ist um die vertikalen räumlichen Zusammenhänge großer Höhlen (in Übersichtsplänen) abzubilden.

Profil ermöglichen Gangquerschnitte wiederzugeben. Die Schnittlinien müssen im Grundriss eingetragen sein. Bei Schächten ist es sinnvoll Schachtquerschnitte zu zeichnen, bei denen der Schacht mit einer horizontalen Ebene geschnitten wird, die im Längsschnitt oder Aufriss angegeben wird.

„Räumliche Darstellung“

Über die oben genannte Darstellungen hinaus gibt es verschiedene Möglichkeiten bzw. Versuche Höhlen räumlich darzustellen. Die anschaulichsten Ergebnisse, mit dem besten 3D-Eindruck, erhält man durch bewegte Objekte am Computer, wobei die 3D-Struktur der Höhle durch Rechtecke bzw. Schläuche angenähert wird. Diese werden durch den Polygonzug und die Raumdimensionen an jedem Messpunkt (Links-, Recht-, Oben-, Unten-Werte) errechnet. Solche Abbildungen ersetzen allerdings nicht den Höhlenplan!



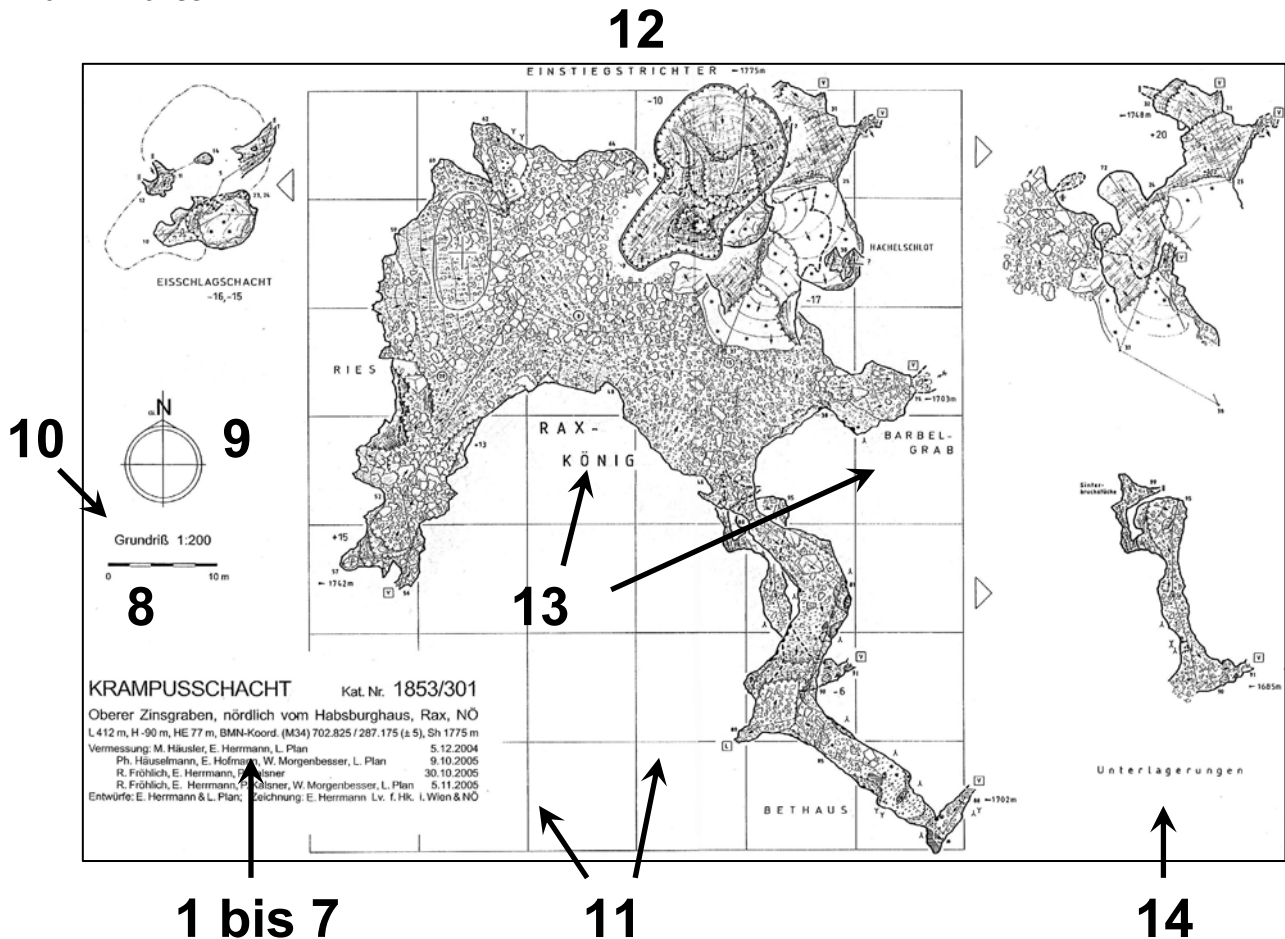
Die Grundausrüstung des Höhlenplans

Planformate (Papierformate)

Höhlenpläne sollten immer in eines der genormten Papierformate passen. Vor allem beim digitalen Planzeichnen auch an den Plot bzw. die Vervielfältigung denken! Praktikabel sind folgende DIN-Formate:

DIN A4: 210 x 297 mm DIN A3: 297 x 420 mm DIN A2: 420 x 594 mm DIN A1: 594 x 840

Planinhalte



Plankopf (Planschild)

1	Höhlenname:	Jener Name, der im Österreichischen Höhlenverzeichnis (➔ MB B2) aufscheint. Größte Schrift am Plan!
2	Katasternummer:	Teilgruppen- und Höhlennummer der Höhle im Österr. Höhlenverzeichnis
3	Zweitnamen:	Jene Namen, die sonst noch in der Literatur, auf topographischen Karten oder bei der Bevölkerung Verwendung finden
4	Lage:	Lageangabe unter Verwendung der ÖK 50 (oder ev. Alpenvereinskarten)
5	Gemeinde oder Gebiet, Bundesland	Es kann sinnvoll sein, den Gebirgsstock angeben; eventuell die nächstgelegene Ortschaft, wenn die Höhle im entlegenen Randbereich eines anderen Gemeindegebietes liegt
6	Basisdaten	Ganglänge, Höhenunterschied, Horizontaler Streckung, Lagekoordinaten (Genauigkeit) und Seehöhe
7	Vermessungsdaten	Vermesser (Angabe der Viseure und Entwurfszeichner), Planzeichner, Datumsangaben (Forschungsstand), Vereine



Sonstige Grundausstattung

8	Maßstabsleiste	Wegen möglicher Verkleinerung oder Vergrößerung sowie der Messbarkeit der Höhlendimensionen ist eine Maßstabsleiste unbedingt erforderlich (➔ MB B46)
9	Nordpfeil	Alle Höhlenpläne sind mit Pfeil bzw. „Kompassnadel“ einzunorden, wobei die gewählte Nordrichtung anzugeben ist (Nordpfeile ➔ MB B45; Nordrichtungen ➔ MB B25), Der Nordpfeil sollte mit dem dargestellten Koordinatennetz übereinstimmen (z.B. „Gitternord“, wenn der Plan am UTM- oder BMN-Gitternetz orientiert ist)
10	Projektion	Die Angabe der dargestellten Projektion (Grundriss, Längsschnitt, Aufriss, Profile,...) kann im Rahmen der Maßstabsleiste/-angabe oder gesondert – dann in großer Schrift – möglich
11	Koordinatennetz	Die Darstellung eines Netzes in größeren Grundrissen sowie durchgehender Höhenlinien in größeren Längsschnitten und Aufrissen hilft dem Planleser die Dimensionen besser zu erfassen und zeigt vergrößerungsbedingte Verzerrungen etc. Es muss nicht aus durchgezogenen Linien bestehen. Koordinaten-Beschriftungen an runden Werten (z.B. alle 100 m bei 10-m-Raster) helfen ebenfalls dem Planbenützer.
12	Eingangs-Kennzeichnung	Zur raschen Orientierung ist es günstig, den Eingang durch einen Schriftzug und/oder einen Pfeil zu kennzeichnen. Vor allem bei kleinen oder im Plan versteckt liegenden Eingängen sollte ein markanter Plan darauf hinweisen. Mehrere Eingänge werden entsprechend der Buchstabenkennzeichnung im Österr. Höhlenverzeichnis beschriftet: „Eingang a“, „Eingang b“, „Schachteinstieg c“ usw.
13	Beschriftung der Höhlenteile	Möglichst in W-E-Richtung bzw. bei Längsschnitte und Aufrissen in der Horizontalen. Ausgedehnte Höhlenteile können auch durch dem Gangverlauf folgende Schriftzüge beschriftet werden. Bei größeren Höhlen soll die Beschriftung der Höhlenteile die Hierarchie dieser Teile widerspiegeln (eine kleine, benannte Kammer wird kleiner beschriftet, als der ausgedehnte Höhlenabschnitt in dem sie sich befindet). Die Schriftgrößen sind bei Kartenwerken nach einheitlichem Schema durchzuhalten!
14	Nebenkärtchen	Aus dem Gesamtplan herausgestellte Höhlenteile (z.B. Unterlagerungen) sind als solche zu kennzeichnen und graphisch zu trennen.

Gebräuchliche Darstellungsmaßstäbe

Runde Maßstäbe verwenden!

Wie bei Landkarten sollte grundsätzlich nur in runden Maßstäben gearbeitet werden. Dies erleichtert sowohl die Planaufnahme mit kariertem- oder Millimeterpapier (z.B. 1-m-Raster des karierten Papiers bei Maßstab 1:200) als auch die Lesbarkeit für den Planbenutzer.

Beim digitalen Entwurfszeichnen sollte nicht wahllos gezoomt werden, denn der hier durch zusätzlich einspielbare Raummessungen erzielbare Präzisionsgewinn geht dann durch das dadurch irritierte Vorstellungs- und Schätzvermögen des Zeichners wieder verloren. Ständiger Maßstabswechsel führt auch zu rascher Ermüdung beim Zeichnen. Daher nach Möglichkeit immer einen Meterraster im Hintergrund einblenden und sich vorher überlegen welcher Maßstab für den Höhlenplan angestrebt wird. Von diesem sollte beim Zeichnen nicht wesentlich abgewichen werden.

Bei der Wahl eines geeigneten Darstellungsmaßstabes ist zu unterscheiden zwischen:

- dem Aufnahmemaßstab in der Höhle, dem **Entwurfsmaßstab**,
- dem Maßstab der Reinzeichnung, dem **Planmaßstab**
- und den Maßstäben weiterer Auswertungen und Spezialdarstellungen, den **Folgemaßstäben**.

Es sollte bei der Entwurfszeichnung in der Höhle ein gleicher oder sehr ähnlicher Maßstab verwendet werden wie dann für den Originalplan der Höhle. Nachträgliche Verkleinerungen sind durchaus möglich, kosten aber unnötig Zeit; Vergrößerungen sind zu vermeiden.

Praktikabel ist es in unseren alpinen Schachthöhlen aber, unterschiedliche Maßstäbe für Grundriss und Längsschnitt zu verwenden – unter Berücksichtigung des oben Gesagten vor allem dann, wenn die Entwurfsarbeit in der Höhle auf zwei Personen aufgeteilt werden kann – z.B. 1:200 für den Grundriss und 1:500 für die Vertikalansicht.

Die immer wieder getroffene Aussage, für große Höhlensysteme genüge ein kleinerer Maßstab ist für die Entwurfszeichnung einer Höhle fast unsinnig und für die Reinzeichnung des (Standard-)Höhlenplanes nur sehr eingeschränkt zutreffend: Denn, egal ob Klein- oder Riesenhöhle, jeder „Höhlenplan“ im engeren Sinn dient denselben Zwecken:

- der Orientierung
- der Darstellung der Dimensionen, der Ausdehnung und des Verlaufs einer Höhle
- der Darstellung der Höhlenformen und des Höhleninhalts

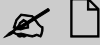
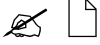
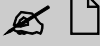
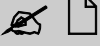
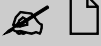
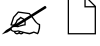
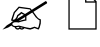





Standard-Maßstäbe 1:200 (1:250) und 1:500

Als Standard-Maßstäbe haben sich **1:200** und **1:500** bewährt. In 1:200 ist praktisch jedes befahrungstechnisch relevante Detail lagerichtig darstellbar, auch sehr enge Strecken können noch gut abgebildet werden, es ist somit ein sehr „menschlicher“ Maßstab, der aber die Darstellung sehr großen Höhlen(räume) unhandlich macht. 1:500 ist bei ausgedehnten Höhlen oft übersichtlicher, die Darstellung des Höhleninhalts muss aber bereits deutlich generalisiert werden, und die Entwurfszeichnung von Labyrintharten häufig in ein „Gefuzel“ aus.

Daneben ist auch der Maßstab **1:250** in Verwendung. Dieser ist zwar zum händischen analogen Entwurfszeichnen in der Höhle nicht so gut geeignet, der Plan braucht aber in der Ausfertigung nur 64% soviel Platz bzw. Papier wie 1:200. Bei Problemen mit dem Papierformat kann es sich daher anbieten, einen in 1:200 gezeichneten Entwurf auf 1:250 zu verkleinern.

1:100 dient meistens der Vermeidung von Kleinhöhlen-Plänen im „Briefmarkenformat“, seltener der besseren Darstellung besonders unübersichtlicher Höhlen oder Höhlenteile. Noch größere Maßstäbe sind nur für wissenschaftliche Detailaufnahmen (z.B. Ausgrabungen) und Sonderfälle in Verwendung. Kleinere Maßstäbe wie etwa **1:1000**, **1:5000** und **1:10.000** sollten nur für Folgeprodukte wie z.B. Höhlenverlaufspläne und Lagepläne verwendet werden.

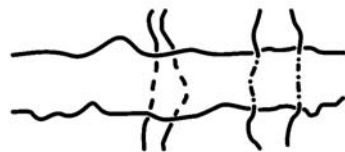
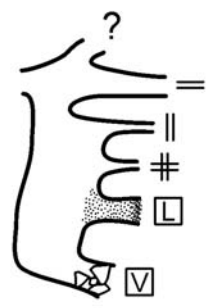
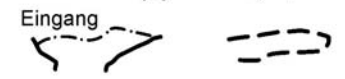

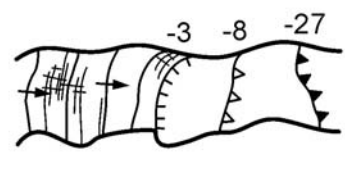

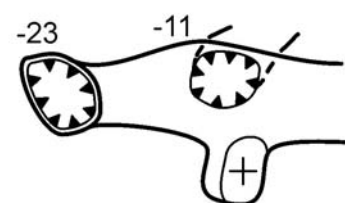
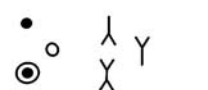




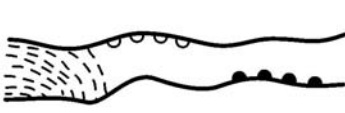

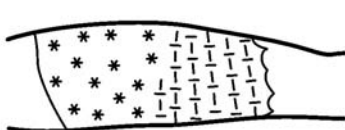



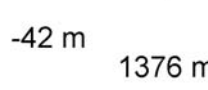


Tabelle geeigneter Maßstäbe für Höhlenpläne

Code im ÖHVZ	1	2	3	4
Bezeichnung	Kleinhöhle	Mittelhöhle	Großhöhle	Riesenhöhle
Ganglänge	<50 m	50 - 499 m	500 m - 4999 m	≥5 km
1:100				
1:200 (1:250)				
1:500				
1:1000 und kleiner				

Symbole:  Entwurfszeichnung und Höhlenplan  Folgeprodukt (z.B. Übersichtsplan, Höhlenverlaufsplan)

Die praktische Höhlenforschung arbeitet fast ausschließlich im grau (.....) unterlegten Bereich.

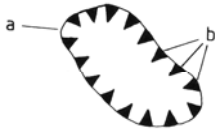
Höhlenplansignaturen

	<p>Raumbegrenzung, Unterlagerung, Überlagerung</p>		<p>Fortsetzung unerforscht unbefahrbare Engstelle: - breit und zu nieder - hoch und zu schmal - sowohl als auch</p>
	<p>Eingang Trauflinie, Raumb. skizziert</p>		<p>Fortsetzung verlehmt</p>
	<p>Gang mit Gefälle (Pfeil zeigt nach unten), Felsschraffen, Abbruch: kletterbar, Material erforderlich <10 m, Material erforderlich >10 m</p>		<p>Fortsetzung verstützt</p>
	<p>Außenschacht (= Tagschacht), Innenschacht, Schlot</p>		<p>Bodenzapfen, Deckenzapfen Tropfsteinsäule</p>
	<p>Gerinne, stehendes Gewässer, Siphon</p>		<p>Excentriques</p>
	<p>Blockwerk, Bruchschutt, Geröll, Feinsediment (Lehm, Sand)</p>		<p>Lehmbäumchen</p>
	<p>Bodenversinterung, Bergmilch, Wandversinterung</p>		<p>Kristalle (z.B. Gips), 8er-Stern</p>
	<p>Schnee/Firn (6er-Sternchen), Eis</p>		<p>Wetterführung</p>
			<p>Raumhöhe in Metern</p>
			<p>Vermessungspunkte, Messzug</p>
			<p>relativer Höhenunterschied, Seehöhe</p>
			<p>Profillinie mit Blickrichtung</p>
			<p>Kluft, Störung</p>

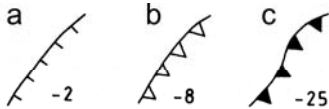
Die oben abgebildeten Signaturen werden traditionell in Österreich verwendet. 1965 wurden sie auch von der Kommission für Terminologie und Konventionelle Zeichen der Internationalen Union für Speläologie (UIS) angenommen. Mittlerweile werden aber andere Zeichen von der UIS bevorzugt (www.carto.net/neumann/caving/cave-symbols), die allerdings teilweise einen Rückschritt zu alten Zeichen darstellen, da einige sinnvolle Informationen (z.B. Unterteilung der Schachtsignaturen) nicht mehr dargestellt werden können.

Schachtdarstellung in Höhlengrundrissen

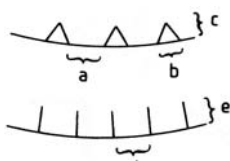
Die Signaturen



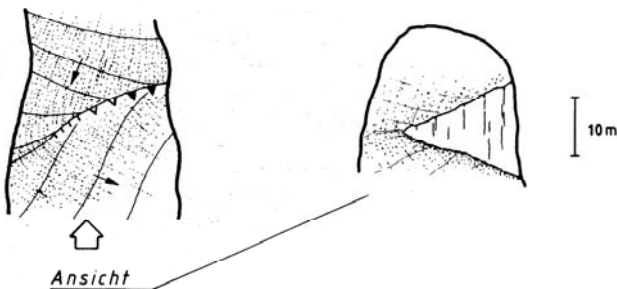
Die Schacht- und Abbruchsignaturen bestehen grundsätzlich aus zwei Elementen: einer Linie (a), die möglichst exakt dem Abbruchrand folgt, und einem abstrahierten Zacken- oder Strichsymbol (b), das zum tiefer liegenden Höhlenteil (in Gefällerrichtung) weist und gleichzeitig durch die Wahl des Symbols eine thematische Aussage über den Abbruch enthält:



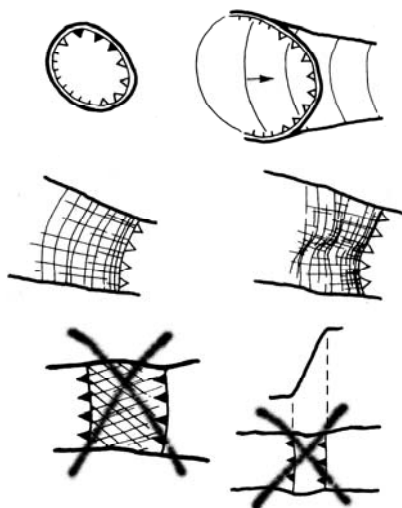
a: Steilabbruch, Wandstufe „kletterbar“ (bis einschließlich II. Schwierigkeitsgrad der UIAA-Skala), b: Steilabbruch, Schacht, bis 10 m Tiefe (Material erforderlich), c: Steilabbruch, Schacht, ab 10 m Tiefe (Material erforderlich).



Optisch gut wirksame Darstellungen erzielt man, wenn man die Zackenlänge (c) größer als die Zackenbasis (b) zeichnet und die Distanz zwischen den Zacken (a) größer als die Hälfte der Zackenbasis (b) darstellt (Ausnahme bei Engräumigkeit). Bei kletterbaren Schächten sollte die Strichlänge (e) kleiner als der Abstand zwischen den Strichen (d) sein.



Weist eine Schachtstufe an verschiedenen Stellen eine unterschiedliche Höhe auf, wird dies auf großmaßstäbigen Plänen durch einen Wechsel der Signatur berücksichtigt. In allen Maßstäben und bei der Generalisierung sollte die jeweils einfachste Überwindbarkeit (Kletterbarkeit, geringste Abbruchhöhe) erkennbar bleiben.



Außenschächte werden durch eine zusätzliche Linie gekennzeichnet, die die Linie der Abbruchkante außerhalb begleitet und die mit der Strichstärke der Raumbegrenzung ausgeführt wird (dünne Linien sind nicht eindeutig). Bei Halbtrichtern wird nur der schachtartige Teil umrandet.

Die im Grundriss sichtbaren Wandflächen von **Schrägschächten** werden so wie Felsböden flacher geneigter Gänge mit verschiedenen Arten von **Felsstrichzeichnungen** (Kombination von Formenlinien und Gefällestrichen) dargestellt. Durch das Hinzufügen oder Unterbrechen von Linien kann die schräge Schachtwand plastisch dargestellt werden.

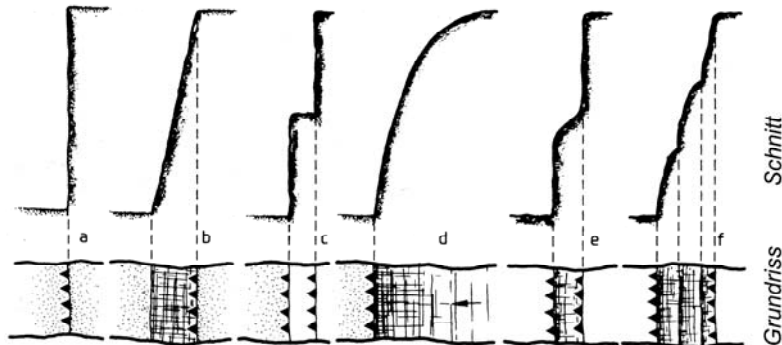
Häufige Fehler bei der Schrägschachtdarstellung: Ein Rautenraster (3a) oder eine wirre Strichzeichnung lässt keine Rückschlüsse auf Gefällerrichtung und -neigung zu. Bei Verzicht auf eine Darstellung der Schrägwand (3b) entsteht der Eindruck eines gestuften Schachtes mit ebener Plattform.

Strichstärken:

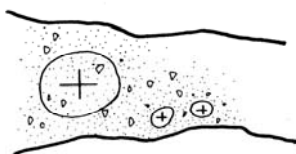
- Für Schachtsignaturen dieselbe Strichstärke für den gesamten Plan, Atlas usw. beibehalten,
- maximal die halbe Strichstärke der Raumbegrenzung verwenden,
- dickere Strichstärken als für den übrigen Rauminhalt (z.B. Sedimente) verwenden, damit der Schacht als wesentliches Raumelement hervortritt,
- empfohlene Strichstärken sind daher 0,18 und 0,25mm.

Darstellung der Abbruchsverhältnisse

Bei senkrechten Schächten mit klaren Abbruchkanten ist die Lage der Abbruchsignatur eindeutig (a, c). Bei Schrägschächten liegt die Abbruchsignatur nach Möglichkeit an der Oberkante (b). Der Unterschied von konkaven und konvexen Schachtwänden wird durch die unterschiedliche Dichte der Formenlinien zum Ausdruck gebracht, und es empfiehlt sich, Gefällelinien direkt an die unterste Formenlinie der Schachtwand anzuzeichnen, um den Übergang von der Schrägstrecke zur horizontalen Fortsetzung optisch zu verstärken. Nur bei sich nach unten hin allmählich in eine senkrechte oder nahezu senkrechte Wand versteilenden (konvexen) Abbruchverhältnissen wird die Abbruchsignatur im Grundriss an die Unterkante des gesamten Schrägschachtes gelegt (d).



Schlote



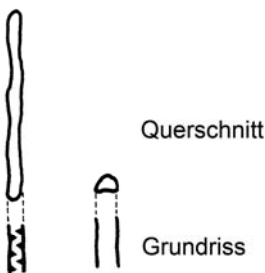
Senkrechte Schlote: Signatur = Ring, der entlang des Schlotumrisses verläuft, mit einem Pluszeichen (+) in seiner Mitte; Strichstärke wie bei der Schachtsignatur. Bei großräumigen Schlotten kann der darunter liegende Rauminhalt vorsichtig eingezeichnet werden.



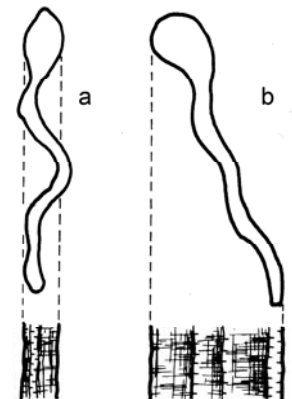
Bei **Schrägschlotten** wird eine herkömmliche Abbruchsignatur verwendet, die Darstellungsweise variiert nach der Wichtigkeit des Schlotes (a-c). Da der Höhlengrundriss zu einer Betrachtung von oben zwingt, erwartet das Auge des Betrachters, dass das zuoberst

Liegende das darunter Liegende verdeckt. Daher sollte auch die Darstellung von Schlotten mit horizontaler Erstreckung (Schrägschlote; in jedem Fall solche mit horizontaler Fortsetzung) nach Möglichkeit auch mit Raumbegrenzung und Rauminhalt dargestellt werden, selbst wenn ein größerer Gang dadurch verdeckt wird (a). Wird Wichtiges im darunter liegenden Gang verdeckt, kann der Schlot in einer Nebendarstellung aus dem Gesamtgrundriss herausgeschoben werden. Eine Darstellung mit Überlagerungssignatur (c) kann leicht falsch interpretiert werden.

Canyons



Canyons bilden im Grundriss langgestreckte Schachtschlitz aus, weshalb an den Abbrüchen von Gesimsen auch eine Abbruchsignatur zu Einsatz kommt. Um den „bodenlosen“ Charakter von Canyons zu verdeutlichen, werden bei besonders engräumigen Canyons mit nicht mehr darstellbar schmalen Gesimsen Abbruchzacken direkt an die Raumbegrenzung gezeichnet. Erfolgt die Vermessung und regelmäßige Befahrung hingegen an der Basis eines unten am breitesten ausgebildeten Canyons, sollte keine Abbruchsignatur gezeichnet werden.



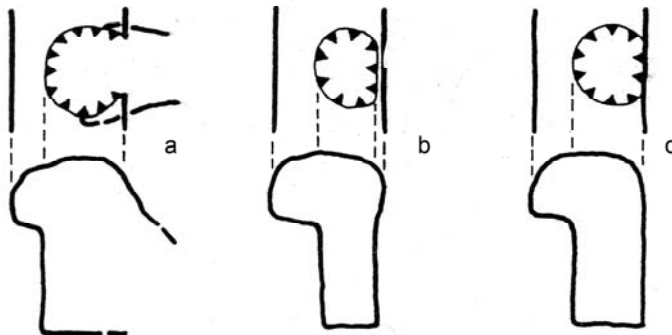
Bei stark gewundenen Canyons muss vereinfacht werden (a), bei schrägen Canyonprofilen sollte möglichst die gesamte Breite dargestellt werden (b).

Die Raumbegrenzung bei Schachtgrundrissen



Die Darstellung des gesamten Schachtprofils (a) ist im allgemeinen nur dann vorzuziehen, wenn der Schacht ein eigenwilliges oder aus anderen Gründen darstellenswertes Profil aufweist.

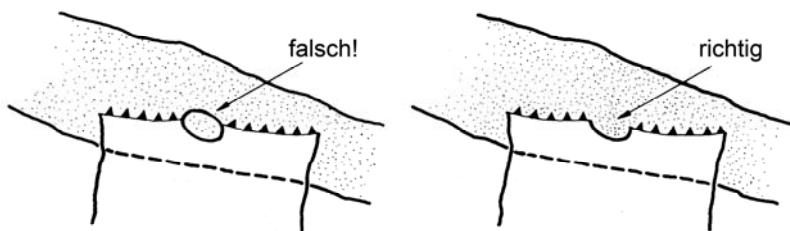
Bei kompliziert gebauten Schachtsystemen trägt dies eher zur Verwirrung bei, weshalb man sich generell besser auf die Zeichnung des Abbruchrandes des zum Abbruch führenden Ganges beschränkt (b).



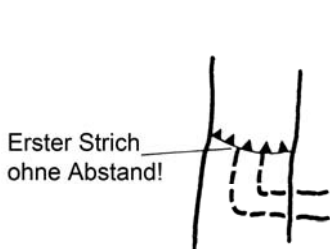
a) Weitet sich der Schacht unterhalb des Zuganges beschränkt man sich auf die Darstellung des Abbruches und zeichnet nicht das gesamte Profil. (Die Auszeichnung des gesamten Profils führt zu Verwirrung, weil nicht mehr erkennbar wäre, von welchen Seiten der Schacht abbricht.)

b) Bleibt zwischen Raumbegrenzung des Zuganges und Schachtabbruchkante allseits wenigstens ein Gesimse, ist der Schacht allseits mit einer Abbruchsignatur auszuzeichnen.

c) Fällt die Raumbegrenzung des Zuganges und ein Teil der Schachtabbruchkante zusammen und weitet sich der Schacht nach unten hin nicht (ist fortsetzungslos), kann die Abbruchsignatur an der Raumbegrenzung des Ganges durchgezogen werden. (Sie könnte an der Raumbegrenzung auch weggelassen werden, allerdings bleibt dann der Schacht in der Darstellung weniger auffällig.)

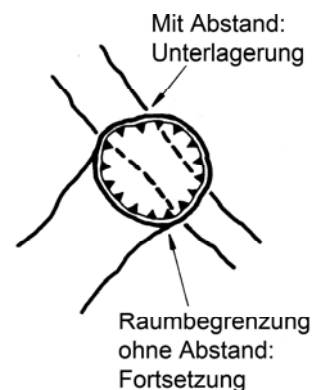


Pfeiler an der Abbruchkante werden nicht in ihrem vollen Umfang gezeichnet sondern nur dort, wo sie eine Raumbegrenzung bilden: in der Gangstrecke, die in den Schacht abbricht.



Die Raumbegrenzung einer unter die Abbruchkante des Schachtes zurückführenden **Unterlagerung** ist direkt an die Linie der Abbruchsignatur anzuschließen (ohne Abstand; Abb. links).

Ebenso erkennt man daran, ob eine Gangstrecke im Bereich eines Außenschachtes dessen direkte Fortsetzung bildet oder ohne Zusammenhang unterhalb des Schachtraumes hindurchführt (Abb. rechts).



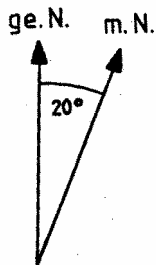
Nordpfeile für Höhlenpläne

Ein wesentliches Element der Grundriss- und Schrägrissdarstellung von Höhlen bildet der Nordpfeil. Durch ihn wird die horizontale Ausdehnungsrichtung einer Höhle ohne Zuhilfenahme der Messdaten ablesbar. Nicht eingenordete Höhlenpläne sind für eine weitere Bearbeitung wertlos!

Der Plan soll wenn möglich so orientiert sein, dass der Nordpfeil zum oberen Blattrand zeigt. Ausnahmen bilden Pläne in Publikationen, wo Platzgründe für die Ausrichtung des Planes entscheidend sein können. Dort sollte der Nordpfeil aber wesentlich deutlicher hervortreten als sonst.

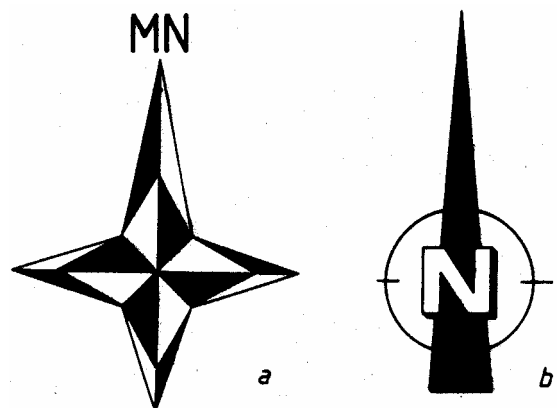
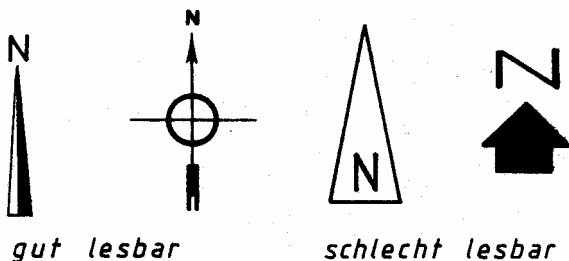
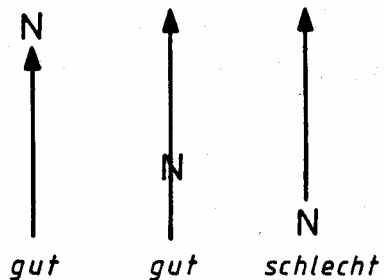
Bezeichnung des Nordpfeils:

- **magnetisch Nord** mit „N“ oder „mN“. Wegen der Wanderung des Magnetischen Nordpols müssen nach magnetisch Nord orientierte Pläne immer mit einer Datumsangabe versehen sein!
- **geographisch Nord** mit „ge.N“
- **Gitternord** mit „Gi.N“ (Nordrichtung gemäß z.B. BMN- oder UTM-Netz (➔ siehe Merkblatt B8))



Kombinierte Nordpfeile nur dann verwenden, wenn der Unterschied zwischen den beiden Nordrichtungen signifikant ist (etwa 3 Grad). Die entsprechende Deklination, Meridiankonvergenz oder Nadelabweichung (➔ siehe Merkblatt B17) ist hinzuzufügen. Der Winkel darf nicht übertrieben dargestellt werden.

Die Beschriftung erfolgt oberhalb oder innerhalb des Nordpfeils. Eine Beschriftung unterhalb des Pfeils kann irreführend sein.



Die Lesbarkeit eines Nordpfeils hängt vor allem vom Vorhandensein und der Länge einer Nord-Süd verlaufenden Schnittlinie innerhalb des Pfeils ab.

Nordpfeile für größere Pläne können durch ein flächiges Erscheinungsbild auffällig gestaltet werden (a). Bei Nordpfeilen in Publikationen ist die graphische Ausgestaltung vorrangig, die Ablesbarkeit eventuell zweitrangig (b).

Maßstabsleisten für Höhlenpläne

Die Maßstabsleiste stellt eine bildhafte Umsetzung des verwendeten Planmaßstabes dar, die es ermöglicht, die Ausdehnung eines dargestellten Objektes (etwa einer Höhle) zu erkennen. Bei Verkleinerungen oder Vergrößerungen eines Planes kann nur über die Maßstabsleiste (und das Koordinatennetz) ein neuer Maßstab errechnet werden.

In Grundrissdarstellungen sollte die Maßstabsleiste immer in der Linie des Schriftbildes (West-Ost-Richtung, normal zum Nordpfeil) gezeichnet werden. Vertikale Projektionen werden meist nur mit einer senkrecht stehenden, bemaßten Linie, von den Isohypsen (z.B. ± 0 m, -10 m, -20 m) ausgehend versehen. Grundrisse auf größeren Planformaten oder Plansystemen (Atlanten!) werden zusätzlich mit einem Koordinatennetz versehen.

Maßstabsleisten sollten einen möglichst runden Wert des Dezimalsystems beinhalten. Üblicherweise verwendet man Leisten von 5, 10, 20, 25, 50 und 100 Metern.

Dimension der Maßstabsleiste **gut**



schlecht (irreführend)

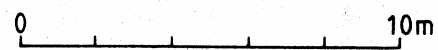


Geringe Strichstärken bei der Zeichnung erhöhen die Genauigkeit, dunkle Flächenelemente geben der Maßstabsleiste ein markantes Erscheinungsbild und machen sie dadurch im Plan leichter auffindbar.

Graphische Gestaltung **auffällig**



unauffällig



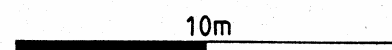
Je breiter das Spektrum der Planbetrachter (Veröffentlichungen!) ist, desto ausführlicher sollte die Leiste beschriftet sein. Je genauer später gemessen werden soll, desto genauer sollte die enthaltene Feinskala sein. Es ist aber darauf zu achten, dass der Zeichenaufwand in einem sinnvollen Verhältnis zur späteren Verwendung steht (einfache Maßstabsleisten auf Kleinhöhlenplänen).

Beschriftung

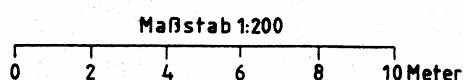
eindeutig



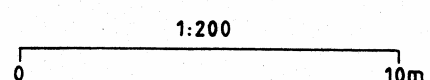
uneindeutig



ausführlich



spärlich (Mindestmaß)

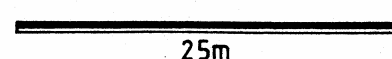


Informationsgehalt

groß



gering



Die Entwurfszeichnung in der Höhle

Der in der Höhle gezeichnete Planentwurf mit den notierten Messdaten ist der Kern der graphischen Höhlendokumentation (die Vermessung dient nur als Grundlage aller Plandarstellungen). Wer in der Höhle ungenau und ohne Maßstab zeichnet, plagt sich danach bei der Umsetzung in einen „Plan“ umso mehr – und wird irgendwann von späteren Vermessern der Schlampigkeit bezichtigt!

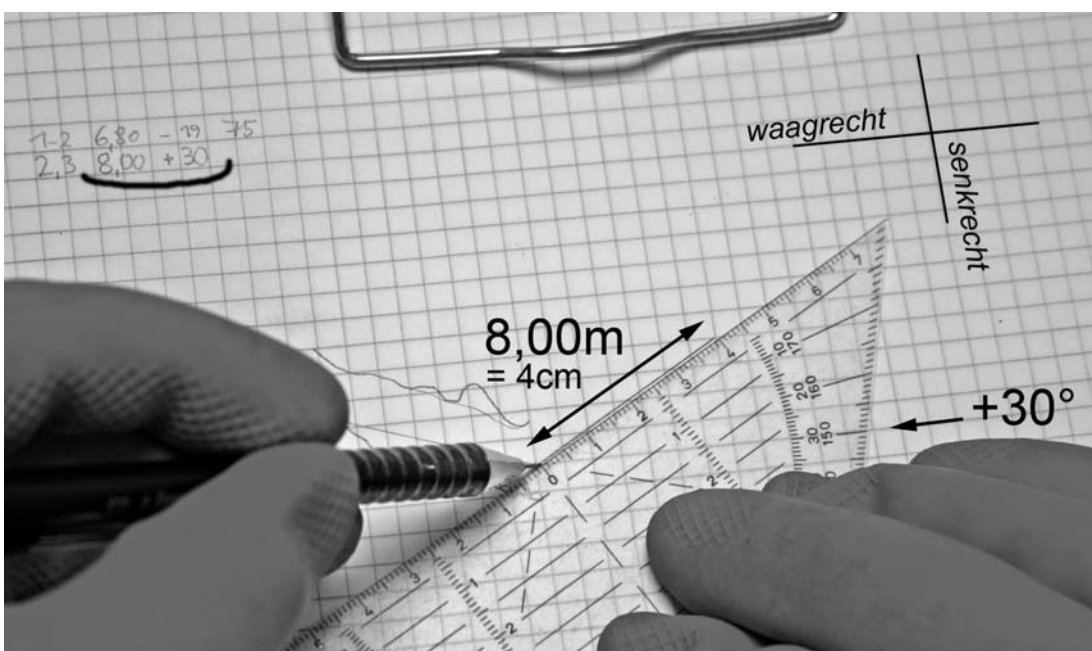
Das Werkzeug:

- **Zeichenmappe** A4 oder A5 („Clipboard“, Kartierungsbücher oder ähnliches, möglichst wasser- und stoßfest. Keine Miniformate verwenden!
- **Kariertes Papier** (A4 oder A5 mit 5 mm-Kästchen, für nasse Strecken mehrfach verwendbare Kunststoff-Folien (im Fachhandel ebenfalls mit kariertem Aufdruck erhältlich). Millimeter-Papier ist wesentlich teurer und in der Höhle nicht so günstig, da das dichte Liniennetz neben dem unvermeidlichen Schmutz das Lesen der Zeichnung zusätzlich erschwert.
 Nach der Forschungsfahrt werden die meist schmutzigen Entwurfsblätter mit einem feuchten Schwamm abgewischt und mit den wichtigsten Daten (Höhle, Datum, Beteiligte) versehen. Sie dienen als unmittelbare Grundlage für die Reinzeichnung des Planes und sollten als Originaldokumente aufbewahrt werden.
- **Mappentasche** (wasserdichtes Schleifsackmaterial, mit Schlaufe zum Befestigen am Gurt)
- **Druckbleistift**, flexibles Geodreieck (jeweils eine Reserve), Radiergummi (hinten im Bleistift)
- (eventuell: Buntstift für Notizen und Korrekturen auf Plänen, eigenes Messprotokollblatt)

Die Konstruktion des Messzuges:

Der aufgetragene Messzug ist das Grundgerüst des Planentwurfs. Ohne maßstäblicher und winkeltreuer Zeichnung entsteht - außer bei sehr routinierten Zeichnern oder in sehr einfachen Gangstrecken - kaum eine brauchbare Skizze. Dabei ist die Konstruktion des Messzuges bei einiger Übung in drei Schritten in Sekundenschnelle erledigt.

1. Der Messzug wird zuerst im Längsschnitt in seiner „tatsächlichen“ Länge (natürlich maßstäblich verkleinert!) aufgetragen. Dazu wird das Geodreieck im gemessenen Neigungswinkel so angelegt, dass der Zug sofort als Linie aufgetragen werden kann. (Es ist kein „Abschlagen“ des Winkels und neuerliches Anlegen des Geodreiecks erforderlich.)

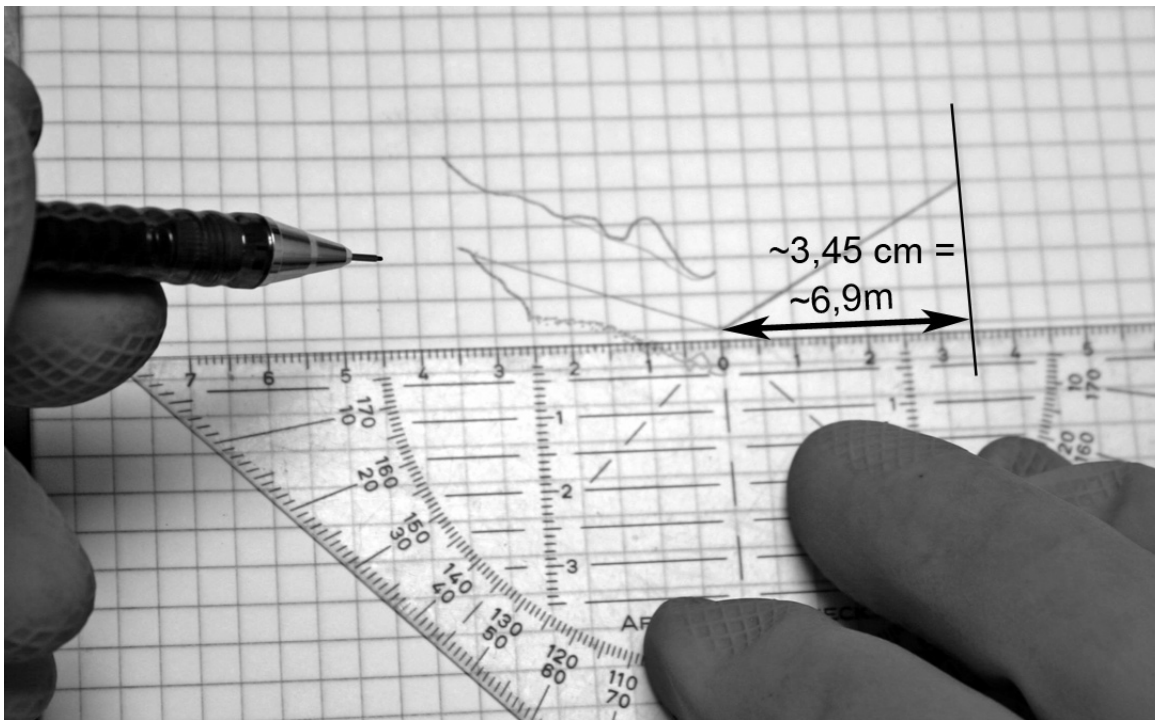


Beispiel:

Ein Messzug mit 8 m Länge wird nach dem Notieren der Messdaten im Maßstab 1:200 im Längsschnitt aufgetragen (8 m = 4 cm am Papier).

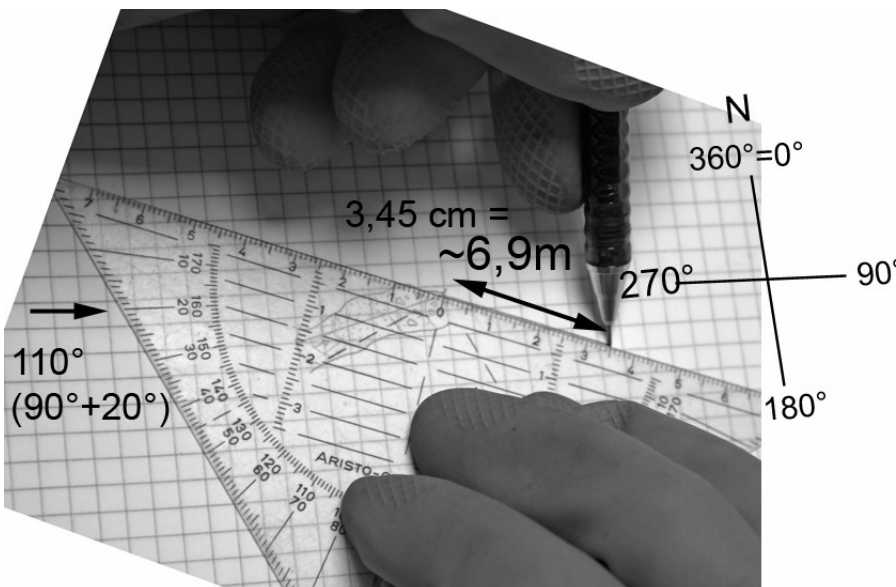
Die wahre Neigung von +30° wird durch Drehen des Geodreiecks um den Nullpunkt erzeugt.

2. Aus dem Längsschnitt wird die verkürzte Messzuglänge für den Grundriss abgelesen.



Beispiel:
Für den Messzug mit 8 m Länge und 30° Neigung wird eine Grundriss-Erstreckung (verkürzte Länge) von ~ 6,9 m gemessen.
Das Geodreieck muss dafür nach dem Auftragen im Längsschnitt nur in die Waagrechte gedreht werden.

3. Die verkürzte Messzuglänge wird im Grundriss aufgetragen. Dazu wird das Geodreieck so in der gemessenen Kompassrichtung (Horizontalwinkel) angelegt, dass der Zug sofort als Linie aufgetragen werden kann.



Beispiel:
Der Viseur gibt eine Richtung von 110° an.
Das Geodreieck wird mit dem Nullpunkt am letzten Messpunkt im Grundriss angelegt und in die Kompassrichtung des Zuges gedreht: 110° sind 90°+20° (jeweilige Hauptrichtung + Restwinkel)
Die Grundriss-Erstreckung von ~6,9 m wird so in der richtigen Richtung aufgetragen, ohne dass ein „Abschlagen“ des Winkels und neuerliches Anlegen des Geodreiecks erforderlich ist!

In der Höhle wird grundsätzlich ein Grundriss und ein Längsschnitt gezeichnet (bei Bedarf durch Profile ergänzt). Daraus lassen sich bei Bedarf später alle weiteren Konstruktionen ableiten. Aus einem Aufriss kann aber z.B. niemals mehr ein Längsschnitt abgeleitet werden. Auch ist es eine Illusion zu glauben, in der Höhle „freihändig“ einen korrekten Aufriss zeichnen zu können!

Die Konstruktion der Höhlendarstellung

Ist der Messzug aufgetragen, kann mit der eigentlichen Zeichnung begonnen werden. Mit der unten dargestellten systematischen Vorgangsweise kann man in effizienter Weise ein möglichst naturgetreues Abbild der Höhle herstellen. Ob die einzelnen Planelemente eingemessen oder geschätzt werden, hängt von der angestrebten Genauigkeit ab. (Das ist manchmal auch eine Frage der Erreichbarkeit der Höhlenteile, andererseits gibt es Höhlentaucher, die unter Wasser genauere Entwürfe zeichnen als manche Forscher im Trockenen!)

1. Seitlichen Abstand der Raumbegrenzung im Bereich der Messpunkte einzeichnen. Wenn kein Längsschnitt gezeichnet wird, empfiehlt es sich für spätere räumliche Darstellungen die Werte „links, rechts, oben, und unten“ vom Messpunkt zu notieren.

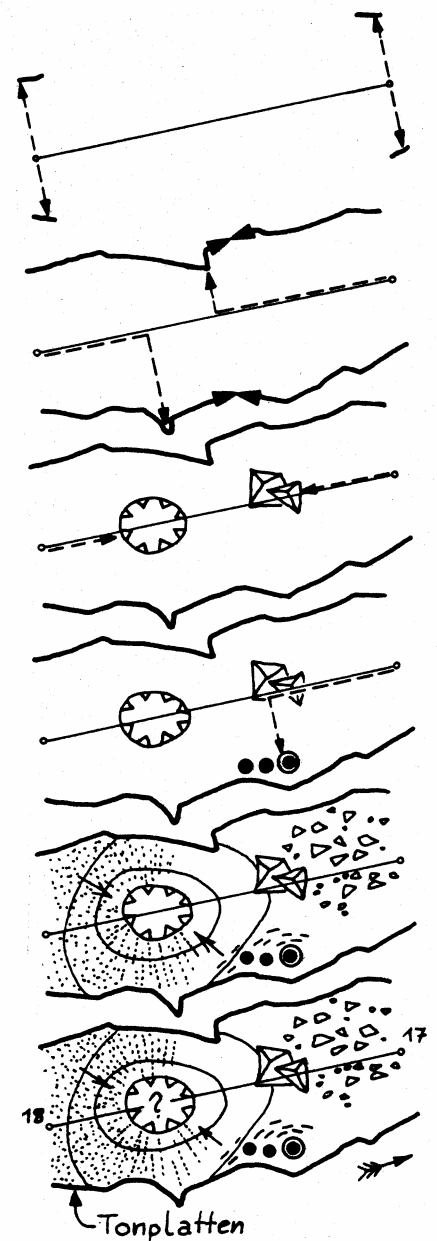
2. Raumbegrenzung „Interpolieren“. Dabei wird die Distanz aller markanter Punkte vom Messzug entweder geschätzt oder gemessen (wenn die Schätz-Genauigkeit nicht ausreicht, z.B. bei großen Hallen oder unübersichtlichen Versturzräumen). Liegt das Maßband dabei am Boden, wird eine größere Genauigkeit erreicht.

3. Markante Rauminhalte entlang der Visurlinie möglichst lagerichtig eintragen. (z.B. Große Blöcke, Schächte, Schlote usw.)

4. Übrige markante Rauminhalte (unter Verwendung der gebräuchlichen Signaturen) eintragen.

5. Raum mit sonstigem, vor allem flächigem Rauminhalt ausfüllen (Sedimente, Formenlinien usw.)

6. Zusätzliche Hinweise hinzufügen (abstrakte Informationen, z.B. Punktnummern, Raumhöhen, Wetterführung, befahrungstechnische Hinweise, Fortsetzungen).



Das Beispiel zeigt das Werden eines Grundrissentwurfes. Der Vorgang der Längsschnittzeichnung erfolgt analog. Aufrisse werden in der Regel erst am Zeichentisch anhand der Grundriss- und Längsschnitt-Entwürfe erstellt.

Übertragung vom Entwurf zum Plan per Handzeichnung

Auch handgezeichnete Pläne entstehen mit Computerunterstützung

Eines vorweg: mit „händischem Planzeichnen“ ist hier das Zeichnen der Höhlendarstellung selbst gemeint, das durch eine Berechnung und den Ausdruck (Plot) der Messdaten mittels Computer sowie durch eine digitale Erstellung des Plankopfes oder sogar komplette digitale Endfertigung unterstützt und ergänzt wird. Eine Planzeichnung ganz ohne Computer ist nur mehr bei einzeln gelegenen Kleinhöhlen sinnvoll.

Vorteile der Handzeichnung: leicht erlernbar; rasch; Vermeidung von Bildschirmarbeit in der Freizeit; kein teurer Computer und keine komplizierte Software notwendig; die Rauigkeit handgezeichneter Linien erzeugt einen naturnäheren Eindruck als digital erstellte Linien; Handzeichnen bereitet Leuten, die gerne („künstlerisch“) Zeichnen mehr Spaß.

Nachteile der Handzeichnung: schlechte Korrigierbarkeit der Zeichnung – man muss wesentlich mehr vorausdenken als bei der Computerzeichnung; die (mögliche) Übertragung in digitale Planwerke und für weiterführende Verwendungen ist umständlich; ein Wechsel des Planformates artet oft in Bastelstunden aus; Feuchtigkeitsempfindlichkeit des Transparentpapiers; „Patzerei“ bei seltener Verwendung der Tuschestifte (Austrocknung oder Tropfen).

Notwendiges Werkzeug

Tisch mit glatter Oberfläche oder Zeichenmatte

Druckbleistift 0,5mm

Geodreieck mit Griff und Tuschnoppen (zur Vermeidung vollflächigen Aufliegens am Papier)

Transparentes **Lineal** (für größere Pläne 1m Länge empfehlenswert)

Metallschiene (30 cm Länge genügt, möglichst mit Griff und Gummiunterseite. Zum Anlegen und Verschieben von Schriftschablonen etc. Eine professionelle Zeichenschiene oder ein Zeichentisch, wie sie früher technische Zeichner verwendeten, ist für unsere Zwecke nicht erforderlich, für kleine Pläne ist aber eventuell ein Zeichenbrett nützlich)

Tuschstifte in den Strichstärken 0,18 mm, 0,25 mm, 0,35 mm, 0,5 mm, 0,7 mm (Gerne-Zeichner wie der Autor verwenden auch 0,13 mm), unbedingt Stifte mit Patronen verwenden z.B. „Rapidograph“.

Arbeitsständer für Tuschestifte: mit befeuchtetem Schwamm innen, damit kann man Tuschestifte tagelang mit offener Kappe und Spitze nach unten griffbereit und übersichtlich abstellen und vermeidet das berüchtigte „Patzen“ frisch geöffneter Stifte. (Verschlossene Stifte mit Spitze nach oben aufbewahren.)

Schriftschablonen in den zu den Stiften passenden Größen, möglichst solche, die nur auf Noppen am Papier aufliegen. (Falls Schablonenbeschriftung angestrebt wird – heute fast nur mehr zur Ergänzung und Pflege bestehender analoger Planwerke. Auch den händisch rein gezeichneten Plan besser und einfacher am Computer beschriften!)

Rasierklinge (= der Radierer für die Tuschezeichnung)

Weicher Radiergummi (weiß)

Transparentpapier (wird nach Gewicht unterschieden: mind. 90g-, max. 160g-Papier verwenden!) oder exakt maßhaltige Zeichenfolien (z.B. Astralon; teuer!)

Warum heute noch transparentes Papier: das glatte Transparentpapier bzw. die Zeichenfolie verhindert ein rasches Aufsaugen und Zerfließen der Tusche. Dadurch sind sehr „saubere“ Linien möglich.

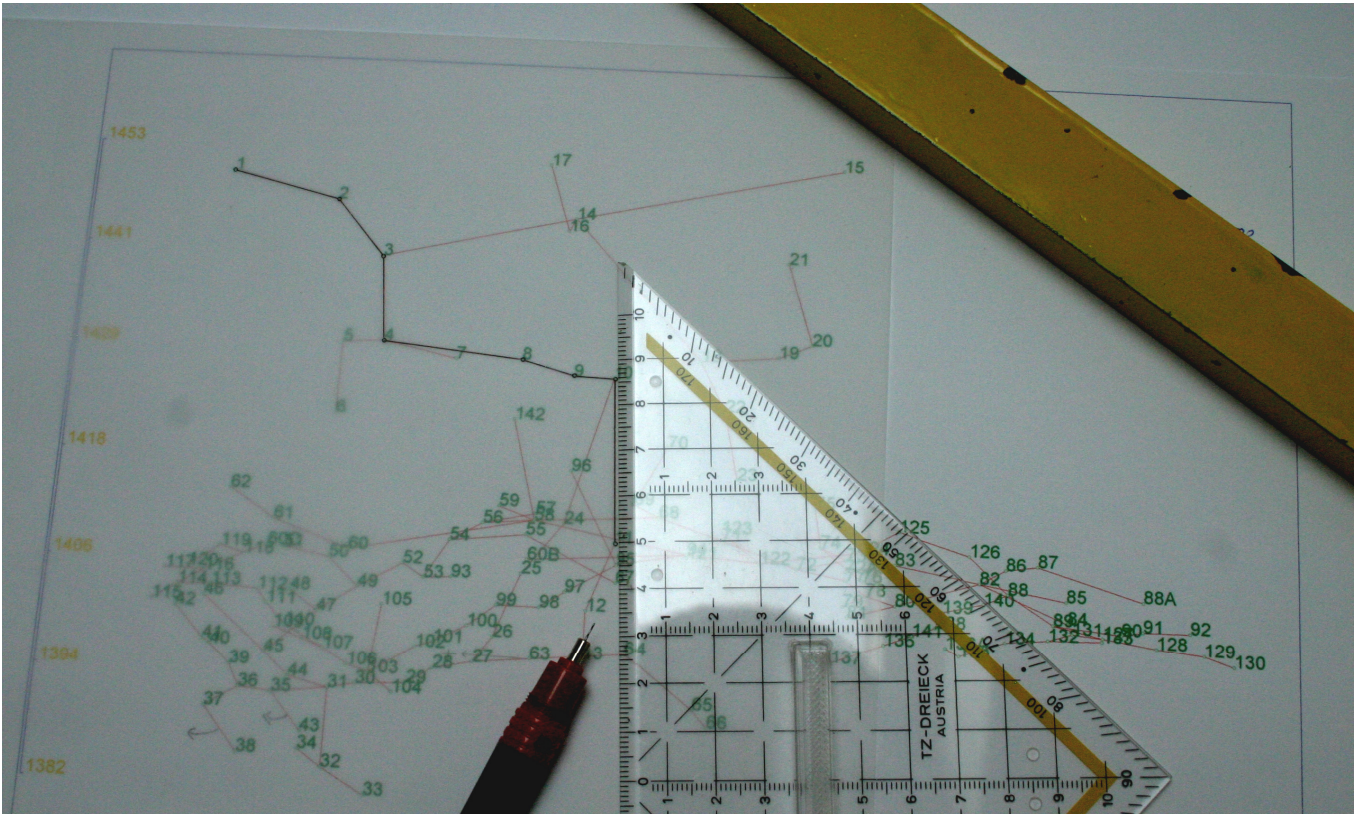
Millimeterpapier (für große Planformate in Rolle erhältlich)

Wiederablösbares **Klebeband** (z.B. Scotch)

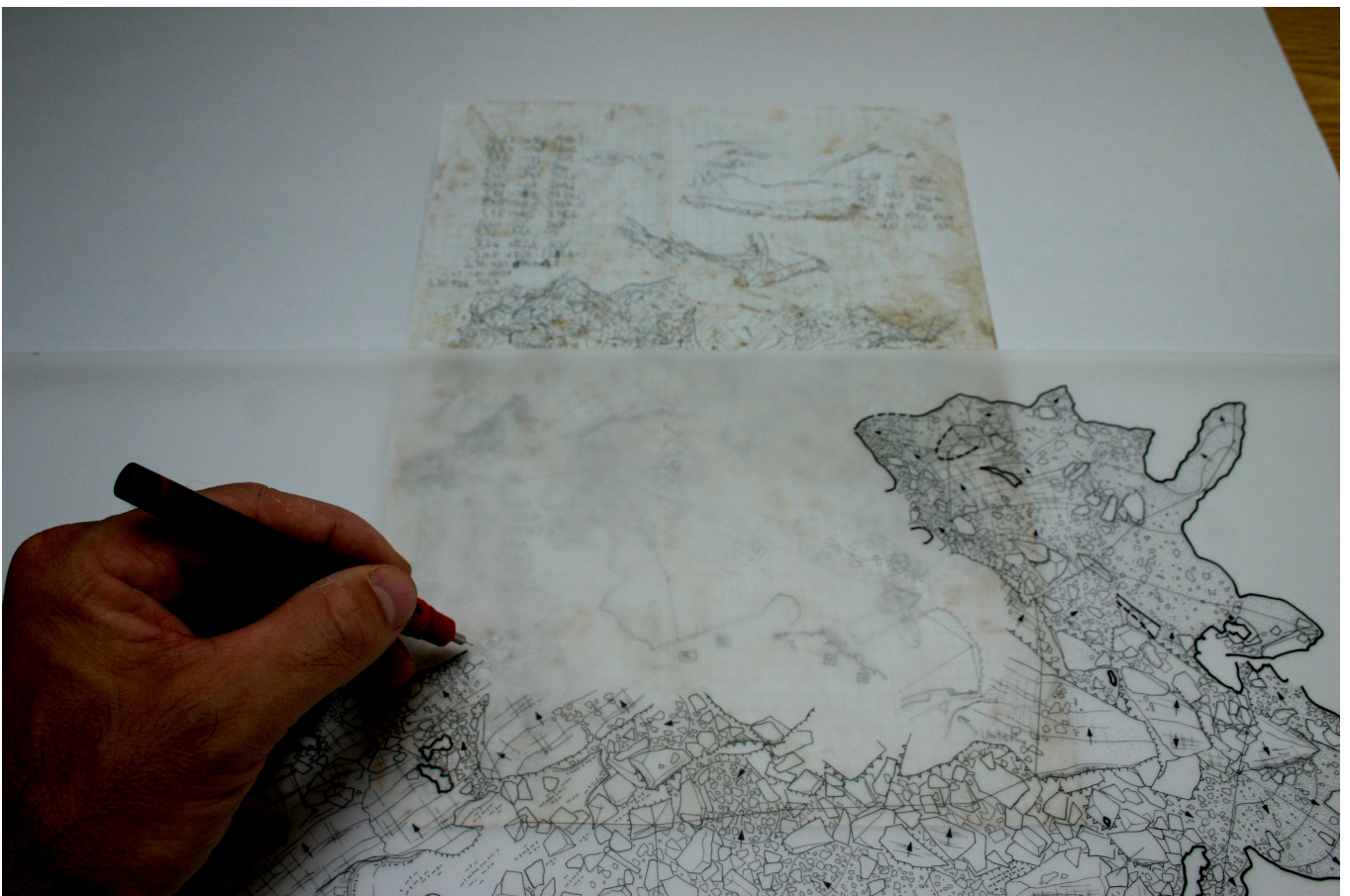
Papierschere, falls vorhanden Stanleymesser und lange Metallkante zum Abschneiden von Papierbögen von der Rolle

Arbeitsschritte

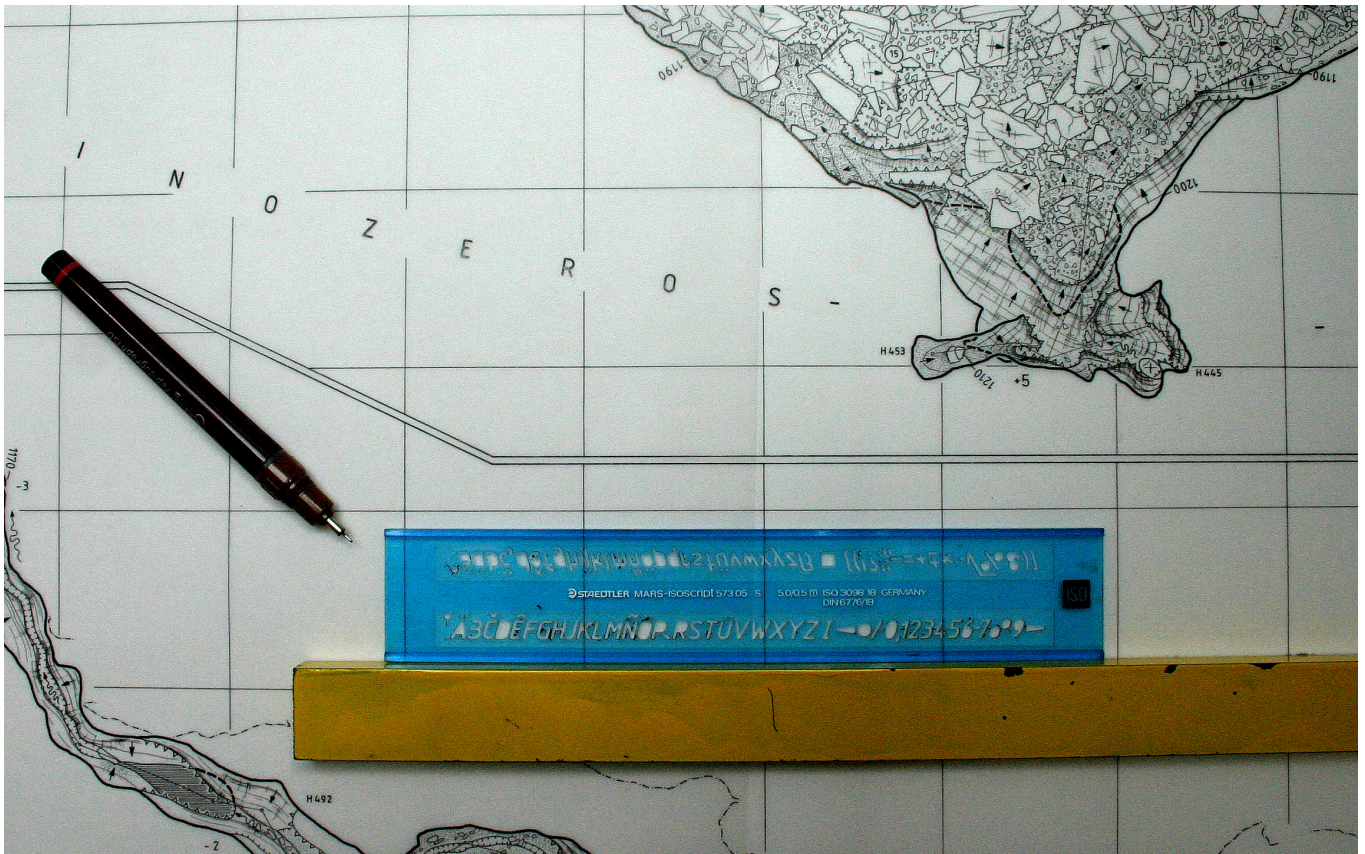
1. Entwürfe mit feuchtem Schwamm vorsichtig reinigen, nach Möglichkeit auch kopieren (zur Erleichterung von Arbeitsschritt 7)
2. Vorbereitung: Ständer für Tuschestifte innen befeuchten, Tuschestifte aufdrehen, auf Funktion prüfen und im Ständer nach Strichstärken geordnet abstellen. Planformat (DIN) und Situierung des Planes am Papier überlegen. Bei großen Plänen Transparentpapier in DIN-Format von der Rolle abschneiden und das mm-Papier in etwas größerer Dimension abschneiden. Maßhaltigkeit des mm-Papiers mit dem Meterlineal prüfen.
Tipp: Feuchtes Transparentpapier dehnt sich aus oder wird wellig. Daher größere Pläne nicht in feuchten Räumen herumliegen lassen. Vor Beginn der Zeichenarbeit sollte sich das frisch von der Rolle geschnittene Papier an das Raumklima „gewöhnen“ können.
3. Messzüge (Polygon) am Computer auf normales Papier ausdrucken/ausplotten oder bei einzelnen Kleinhöhlen mit wenigen Messzügen nochmals exakt auf mm-Papier oder kariertem Papier auftragen
4. Bei großen Plänen: am mm-Papier mit Bleistift ein grobes Gitternetz anzeichnen und beschriften (z.B. 50-m-Raster im Grundriss oder 20-m-Höhenschichtlinien im Längsschnitt) und entsprechend der errechneten Koordinaten einige Polygonpunkte am mm-Papier auftragen (Grundriss)
5. Transparentpapier über das mm-Papier legen, mindestens 3 Bezugsmarken zum Koordinatengitter (mit Bleistift) und die Bezugs-Polygonpunkte (mit Tusche) durchzeichnen.
6. Messzugausdruck/-plot unter das Transparent legen und mit den Bezugspunkten in Übereinstimmung bringen. Den Polygonzug (soweit man in der nächsten Zeichenphase arbeiten möchte) mit Tusche auf das Transparent durchpausen. Dabei das voreilige Auftragen unterlagernder Messzüge vermeiden!
7. Hier beginnt die kreative Arbeit: den Entwurf unter das Transparent schieben, so dass jeweils der Messzug, in dessen Bereich man gerade zeichnet, mit jenem am Transparent übereinstimmt (so genau der Entwurf eben ist, falls erforderlich stückweise verschieben). Nun kann das entsprechende Stück Höhle reingezeichnet werden. (siehe Abbildung auf B48c). Hilfreich ist es dabei, eine Kopie des Entwurfes unter das Transparent zu legen und den Originalentwurf zusätzlich unverschleiert bei der Hand zu haben. Schmutzige Originalentwürfe in eine Klarsichthülle stecken.
8. Koordinatengitter auftragen. Sofern nicht Variante c des vorhergehenden Arbeitsschritt zur Anwendung kommt: den Raster vom mm-Papier mit dem Meterlineal durchpausen (dünne Gitternetzlinien ziehen: 0,18mm oder max. 0,25mm!). „Runde“ Netzlinien am Planrand mit Koordinaten beschriften. Platz für Plantitel freilassen.
Dieser Arbeitsschritt 8 kann auch nach Schritt 9 erfolgen, vor allem wenn sehr ausgedehnte Schriftzüge vorgesehen sind (um das Gitter nicht wieder auskratzen zu müssen – vgl. Korrigieren im Merkblatt B48d).
9. Beschriftung des Plans (Messpunkte, Gangbezeichnungen, Isohypsen etc.)
Variante a) (empfohlen): die „nackte“ Reinzeichnung scannen und am Computer mit einem geeigneten Programm beschriften, inkl. Plantitel, Koordinatengitter, Maßstabsleiste usw. und fertig stellen. Dann hat man einen digitalen Plan mit Handzeichenqualitäten erzeugt!
Variante b) Schablonenbeschriftung: Das Transparent wieder mit den Passmarken zum mm-Papier in Übereinstimmung bringen. Nun die jeweilige Schriftschablone an der passenden Stelle an die Metallschiene anlegen und mit dieser an die Linien des mm-Papiers oder des bereits gezeichneten Koordinatengitters ausrichten. (Schräg verlaufende Beschriftungen nur dann, wenn es ein Gangverlauf nahe legt bzw. der Plan dadurch „lesbarer“ wird – z.B. bei den Isohypsen).
Variante a) handschriftlich – sollte nur bei schöner Handschrift und Kleinhöhlenplänen erfolgen.
10. Plantitel schreiben: nach Möglichkeit digital erstellen (Arbeitsersparnis, besseres Aussehen und Ergänzungsmöglichkeit) und für die Vervielfältigung des Planes mit wiederablösbaren Klebeband (z.B. Scotch) montieren.
[In den Jahren, als noch Lichtpausen als kostengünstige Vervielfältigung gemacht wurden, habe ich digital erstellte Plantitel auf Transparent-Klebefolie ausgedruckt und aufgeklebt – das ist heute nicht mehr notwendig.]



Arbeitsschritt 6: Durchzeichnung der Messzüge (Polygon - vom untergelegten Ausdruck, Plot oder Handauftrag)



Arbeitsschritt 7: Reinzeichnung der Höhlendarstellung (über dem passgenau untergelegten Originalentwurf)



Arbeitsschritt 9, Variante b: Beschriftung mit Schablone. Um ein ebenes Schriftbild zu erzielen, wird die Schablone an einer waagrecht ausgerichteten, fest aufliegenden Metallschiene verschoben (Für kleine Pläne kann dafür ein Zeichenbrett mit Zeichenschiene verwendet werden).

Für gebogene, gedehnte Schriftzüge wie am Bild oben, wird zuerst ein Bleistiftstrich an einem Kurvenlineal oder einer gespannten Kartonkante gezogen und die Schriftschablone für jeden Buchstaben extra gedreht und angelegt.

Generell ist heute das Einscannen der Raumdarstellung und die Beschriftung am Computer zu empfehlen.

Tipps:

Auf **fettem Transparentpapier** perlt die Tusche ab: Daher nicht mit Wurstbrotfingern arbeiten und auch den Zeichentisch möglichst trocken und fettfrei halten. Die Zeichenhand möglichst nicht direkt auf das Transparent stützen, sondern immer ein Blatt Papier dazwischen legen. Falls das Papier dennoch einmal fett geworden ist – etwa bei Plänen, die schon länger herumgelegen sind – den Zeichenbereich mit dem weichen Radierer abrädieren.

Tuschelinien, vor allem jene mit größeren Strichbreiten, benötigen einen Moment zum **Trocknen**. Daher wie beim Schreiben mit Füllfeder immer vom gerade gezeichneten Bereich wegarbeiten und ein Geodreieck bzw. Schablonen mit Noppen verwenden.

Korrigieren: Bei jeder Planzeichnung möchte man dann und wann wieder eine Linie löschen: dafür verwendet man bei der Tuschezeichnung eine Rasierklinge, die man mit der senkrecht auf das Papier gestellten Klinge mit ganz sanftem Druck schnell über die Korrekturstelle auf und abzieht, so dass sich die Klinge hin- und herbiegt. (Die Methode heißt zwar „Kratzen“, es sollte aber eher wie Radieren ausgeführt werden, um das Papier nicht zu beschädigen). Danach die Papierstelle durch kurzes Radieren mit dem weichen Radierer und ev. auch mit dem Fingernagel wieder glätten.

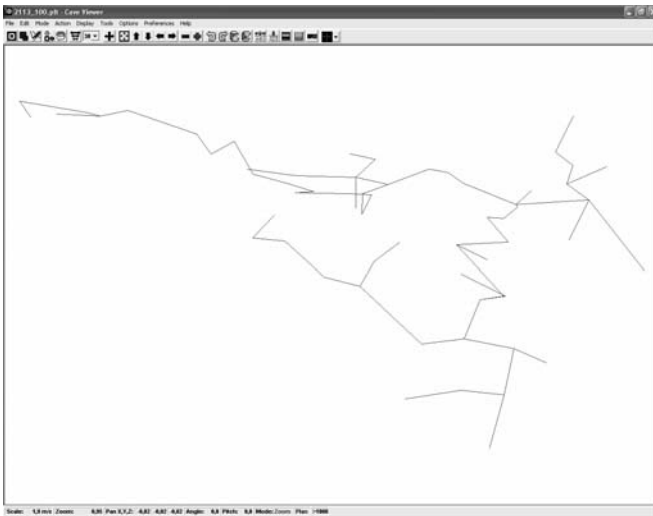
Tuschestifte halten nicht ewig. Die meisten gehen aber vorzeitig durch „Absturz“ aus der Hand des Zeichners zu Grunde. In diesen Fällen nicht gebrochene, aber verstopfte Zeichenkegel, die auch durch Auswaschen nicht in Gang kommen, können in Einzelfällen noch durch das Halten in eine Feuerzeug-Flamme gerettet werden. Gebrauchte Tuschestifte sind über e-Bay sehr günstig erhältlich (Zustand vor dem Kauf prüfen!)

Übertragung vom Entwurf zum Plan am Computer

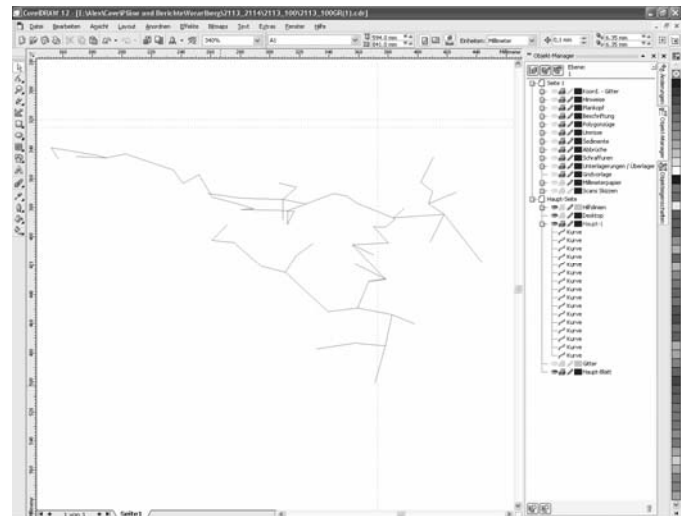
- inkl. "Hybridtechnik" am Beispiel von *Corel Draw* und *Compass*

Verarbeitung der Messdaten

Als erster Schritt in Richtung digitaler Höhlenplan steht die Verarbeitung der Messdaten, wobei für deren Verwaltung und Darstellung dem Höhlenforscher eine Vielzahl von Programmen wie etwa *Compass*, *Survex*, *CaveRender* oder *Toporobot* und dergleichen zur Verfügung stehen. Mit Hilfe dieser Anwendungen können Messdaten meist graphisch in Form von Polygonzügen dargestellt werden und in beliebige Formate exportiert werden. Diese Messdatenverwaltungsprogramme bieten Exportmöglichkeiten für diverse File-Formate von Grafikapplikationen.



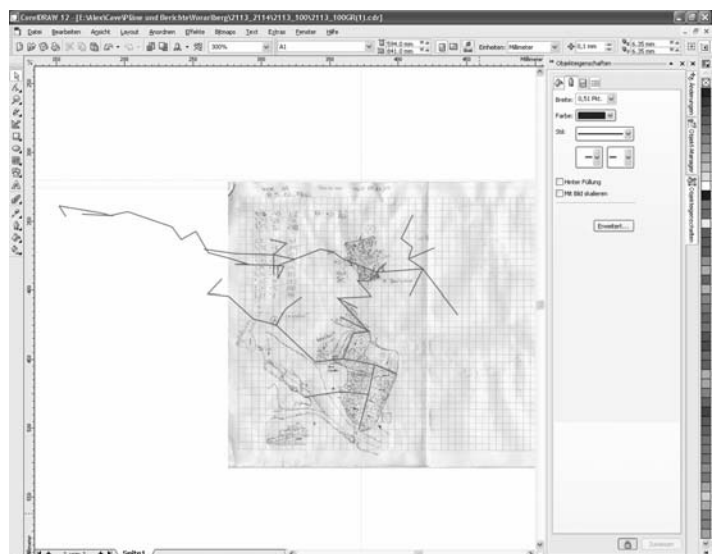
Darstellung der Messdaten als Polygonzüge im Programm *Compass* (Viewer).



Importierte Messzüge im Programm *Corel Draw*.

Digitalisieren der Entwurfshandskizze und erste Schritte vor dem Planzeichnen

Die bisher gängige Methode Pläne mit Tusche zu zeichnen, indem man die Skizzen unter ein Transparentpapier legt und anschließend abpaust ist der Methode des Planzeichnens am Computer durchaus ähnlich. Dafür muss der Entwurf zuerst eingescannt und anschließend in das Grafikprogramm importiert werden. Beinahe alle professionellen Programme bieten dabei die Möglichkeit mit Layern (übereinander liegenden Zeichenebenen) zu arbeiten. Ähnlich wie bei der ursprünglichen Methode wird dann die Handskizze ganz nach unten gelegt und anschließend werden die digitalen Polygonzüge in eine Ebene darüber eingefügt und die Skizze jeweils so ausgerichtet, dass im Bereich wo man gerade zeichnen will der Polygonzug übereinstimmt.



Eingescannte Handskizze mit ausgerichteten Messzügen darüber (*Corel Draw*).

Planzeichnen am Computer

Neben diesen beiden Layern sollten der Übersichtlichkeit halber und um spätere Änderungen zu erleichtern für jeden Arbeitsschritt weitere Ebenen erstellt werden (Umrisse, Abbrüche, Schraffuren, Sedimente, Gewässer, Beschriftung, Koordinatengitter, Plankopf usw.). Je nach belieben können dann später die verschiedenen „Folien“ ein- und ausgeblendet werden bzw. rasch abgeändert werden. Das Erstellen des Höhlenplans am PC erfolgt ebenfalls ähnlich dem alt bewährtem Zeichnen per Hand. Man beginnt zuerst mit den Umrissen entlang der Handskizze, danach folgen Abbrüche und Schraffen, später die Sedimente und Wasserläufe usw. Die Strichstärke kann dabei gemäß den Signaturvorgaben angepasst werden. Es bietet sich auch die Möglichkeit Farbe einzusetzen (z.B. für Wasserläufe sowie Über- und Unterlagerungen). Auf das Planzeichnen am Computer wird unter ➔ MB B51 noch genauer eingegangen.

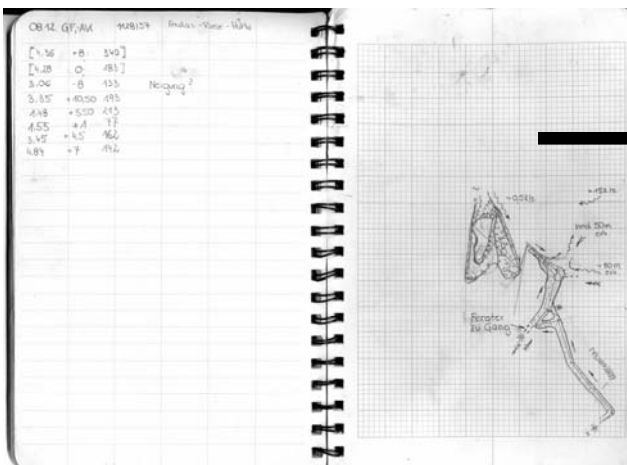
Hybridtechnik

Dabei handelt es sich um eine Mischform von herkömmlichem Höhlenplanzeichnen und computerunterstützter Plangestaltung. Sowohl die Polygonzüge, als auch der Plankopf und andere im Vorhinein festlegbare Bestandteile des Planes werden am PC entworfen und anschließend auf ein Transparentpapier ausgedruckt. Anschließend wird wie gewohnt die Skizze unter die vorgedruckten Messzüge gelegt und der Plan per Hand vervollständigt. Die recht effiziente Methode eignet sich vor allem für kleinere Objekte ohne Fortsetzungsmöglichkeiten.

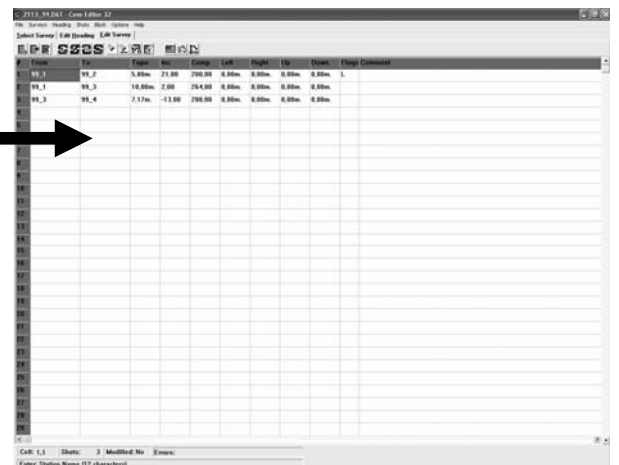
Darstellung der Hybridtechnik anhand eines Beispiels

1. Eingabe der Messdaten

Vom Messbuch werden die Daten in ein Messdatenverwaltungsprogramm wie z.B. *Compass* eingegeben.



Vermessungsskizze aus der Höhle.



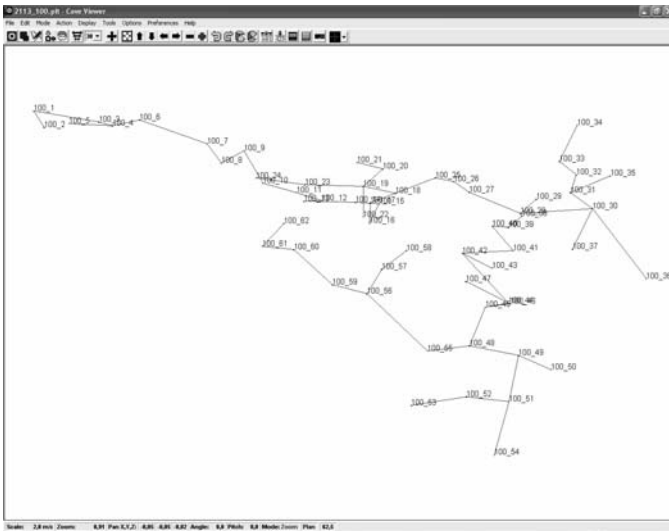
Messdatenverwaltung mit Hilfe von *Compass*.

2. Darstellung und Export der Messdaten in ein Grafikprogramm

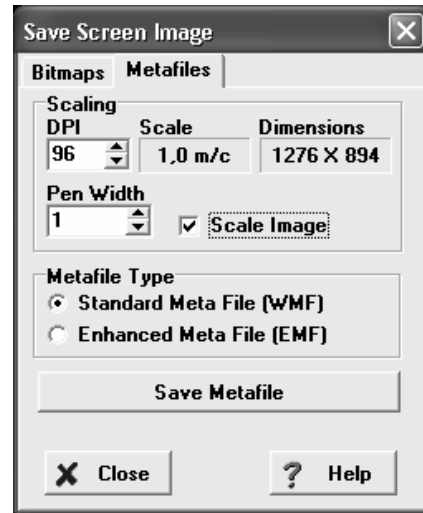
Mit Hilfe des Viewers im Programm *Compass* können die Messdaten dargestellt und in ein Grafikprogramm wie *Corel Draw* exportiert werden. Wichtig dabei ist, dass die Polygonzüge bereits im gewünschten Maßstab verarbeitet werden.



Unterschiedliche Layer in *Corel Draw*. Die Symbole kennzeichnen welche ebenen sichtbar, druckbar und bearbeitbar sind.



Darstellung der Daten in *Compass* (Viewer).

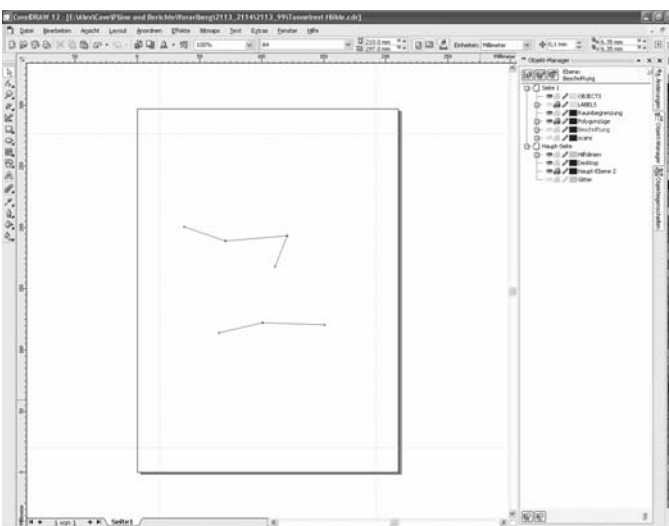


Speichern der Polygonzüge als Windows Metafile (.wmf) zur Weiterverarbeitung in *Corel Draw*

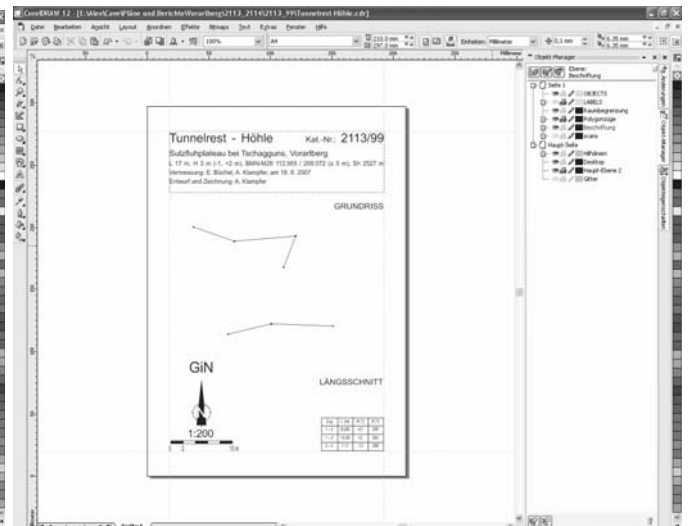
3. Gestaltung des Planes mit Hilfe eine Grafikprogramm am Beispiel von *Corel Draw*

Nachdem die Polygonzüge als *.wmf – File (dies ist ein Vektorgrafikfile im Gegensatz zu Rastergrafikformat wie z.B. JPEG) in *Corel Draw* innerhalb des Layers „Polygonzüge“ importiert wurden, können die wichtigsten Planelemente wie etwa der Plankopf, die Maßstabsleiste und der Nordpfeil erstellt werden. Schließlich wird der Plan auf ein Transparentpapier gedruckt und der Rest wie üblich per Hand dazugezeichnet. Details zur Arbeit mit *Corel Draw* sind dem ➔ MB B51 zu entnehmen!

Zu beachten ist, dass der Polygonzug im wmf-Format zwar Maßstabsgetreu exportiert wird, die Bildkoordinaten aber nicht extrem genau sind. Er darf daher nachträglich nicht vergrößert werden. (z.B. Export 1:1000 und dann Skalierung um 500% um den Maßstab 1:200 zu erzielen). Besser ist es wenn er größer exportiert, und dann verkleinert wird. (z.B. 1:200 auf 1:100).



Polygonzugdarstellung in *Corel Draw*.



Fertiger Hybridplan bereit für den Druck auf Transparentpapier.

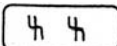
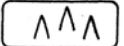
Generalisierung von Höhlenplänen

Es ist unmöglich und wäre auch nicht zweckmäßig, die Natur in einem Plan genau so abzubilden, wie sie ist. Wir müssen also generalisieren (vereinfachen), um handliche und lesbare Pläne zu erzeugen. In der Kartographie werden zwei Arten von Generalisierung unterschieden:

1. Aufnahmegeneralisierung (bei der Entwurfszeichnung im Gelände)
2. Kartographische Generalisierung (bei der Verkleinerung des Abbildungsmaßstabes)

Aufnahmegeneralisierung

Die Aufnahmegeneralisierung ist vom Zeichner im Gelände ständig durchzuführen. Je kleiner der Aufnahmemaßstab ist, desto geringer wird zwar der Zeitaufwand, allerdings bei steigendem Generalisierungsaufwand, da eine strikere Auswahl der noch darstellenswerten Geländeformen und Rauminhalte vor Ort zu treffen ist. Objekte, die zu klein sind um annähernd maßstäblich gezeichnet zu werden, müssen bereits im Entwurf als abstrakte Signaturen eingetragen werden. Eine Signatur ist ein unmaßstäbliches Zeichen in stilisierter Grund- bzw. Aufrissdarstellung für ein begrifflich festgelegtes Objekt.

Bsp. für abstrakte Entwurfssignaturen kleiner Objekte: Excentriques  Lehmhäumchen 

Prioritäten bei der Aufnahmegeneralisierung:

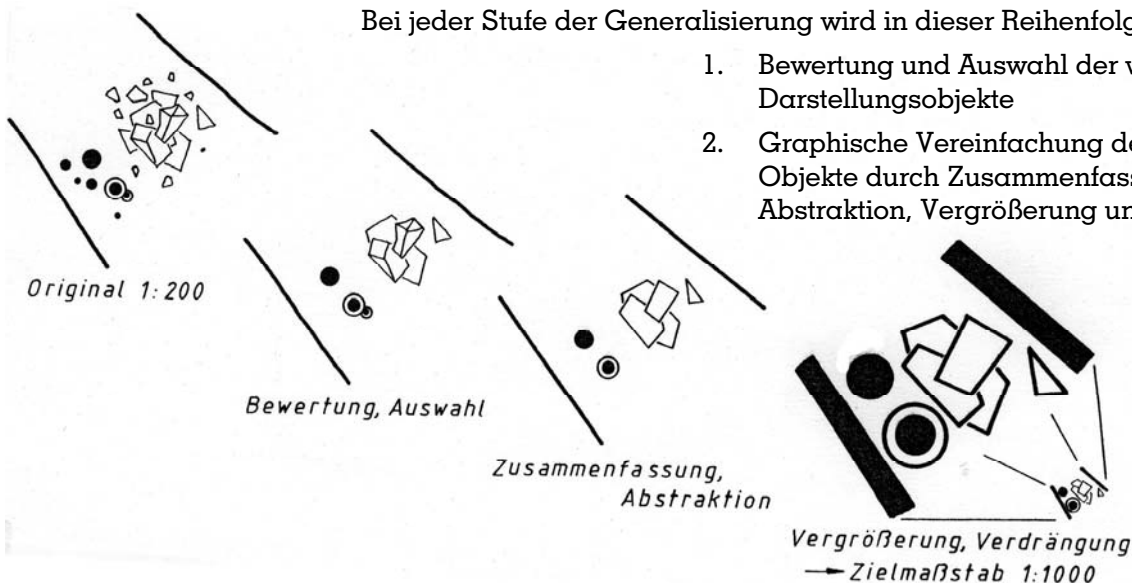
- | | |
|-----------|--|
| wichtig | 1. Messstrecke |
| ↓ | 2. Raumbegrenzung |
| unwichtig | 3. mit der Raumbegrenzung zusammenhängende Signaturen (Schächte, Ende der befahrbaren Strecke: z.B. verstürzt, verlehmt, zu eng) |
| | 4. wichtige Rauminhalte (für Orientierung; wissenschaftliche Bedeutung) |
| | 5. sonstige Rauminhalte |

Kartographische Generalisierung

Setzt man voraus, dass der Grad der Generalisierung mit zunehmender Verkleinerung des Darstellungsmaßstabes wächst, kann stufenweise – beginnend mit dem größten Maßstab – von Maßstab zu Maßstab vorgegangen werden. Bei Erreichen der graphischen Mindest-Darstellungsdimension muss die Eintragung ihre Maßstäbigkeit verlieren (muss größer gezeichnet werden). Zusätzlich zu den bereits bei der Aufnahmegeneralisierung verwendeten Signaturen können dann weitere Objekte nur mehr als abstrakte Signaturen dargestellt werden.

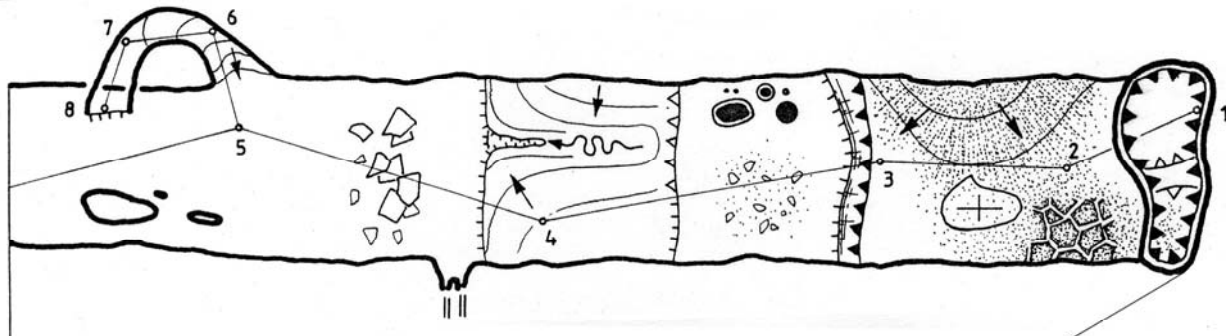
Bei jeder Stufe der Generalisierung wird in dieser Reihenfolge vorgegangen:

1. Bewertung und Auswahl der wesentlichsten Darstellungsobjekte
2. Graphische Vereinfachung der ausgewählten Objekte durch Zusammenfassung, Abstraktion, Vergrößerung und Verdrängung

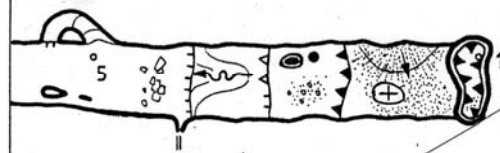


In der Praxis der Kartographischen Generalisierung wird meist so vorgegangen, dass der Originalplan auf das gewünschte Ausmaß verkleinert wird und dann über die Verkleinerung einer neuer Plan gezeichnet wird (digital im Rahmen von Layern). Graphisch bessere Ergebnisse erzielt man durch „überhaltene“ Zeichnung (etwa dickere Linien als erforderlich) in einem Zwischenmaßstab und anschließende zweite optische Verkleinerung auf den Zielmaßstab.

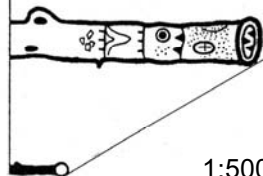
Beispiel einer stufenweisen Generalisierung:



1:200 (**Aufnahmemaßstab**). Der Rauminhalt ist vollständig dargestellt. Es dürfen keine Fragen bezüglich von Fortsetzungsmöglichkeiten offen bleiben. Beschreibung nach dem Plan ist möglich. Geringste Schlufdimension noch maßstäblich (herausmessbar).



1:500 (**z.B. Höhlenatlas**). Die Eintragungen müssen bereits kategorisiert werden (z.B. Feinsedimente/Bruchschutt/Blockwerk), da eine maßstäbliche Darstellung nur von Objekten mit mindestens 0,5 m Durchmesser möglich ist. Ist der Maßstab 1:500 auch der Aufnahmemaßstab, muss der Messzug vollständig eingetragen werden.



1:1000 (**Übersichtsplan**). Die Orientierung in Labyrinth ist meist nicht mehr möglich, teilweise nur mehr als Höhlenverlaufskarte brauchbar (siehe unten).

1:5000 (**Höhlenverlaufskarte**). Abgesehen von einer abstrakten Eingangssignatur bleibt nur mehr die grundlegende Information über die Lage und den Verlauf der Höhle erhalten.

Die Form der möglichen Darstellung in einem bestimmten Maßstab ist aber auch vom Charakter und der Geräumigkeit einer Höhle abhängig.

Während die Hermannshöhle (2871/7) im Maßstab 1:1000 nur mehr als Höhlenverlaufskarte darstellbar ist, sind Verkleinerungen von Atlasblättern der Dachstein-Mammuthöhle (1547/9) auf 1:1000 noch als vollwertiger Höhlenplan verwendbar.



Prägung von Höhlennamen

Die Benennung einer bis dato unbekanntes bzw. undokumentierten Höhle (als Voraussetzung für die Aufnahme ins Österreichische Höhlenverzeichnis) gilt als Privileg des Entdeckers/Erforschers. Gleichwohl sind einige Richtlinien zu beachten. Zu leitenden Prinzipien sollten dabei Klarheit und Eindeutigkeit sowie das Vermeiden von Verwechslungen und falschen Eindrücken gemacht werden.

1. Unbedingter Vorrang ist einem der örtlichen **Bevölkerung geläufigen Namen** zu geben, wobei eventuelle Dialektformen behutsam der Schriftsprache anzupassen sind (z.B. Galmeilucke statt dialektal „Gomailucka“). Daher: Einheimische befragen, ob schon ein ortsüblicher Name für die Höhle existiert. Solchen Namen ist Priorität einzuräumen, selbst wenn sie (siehe Punkt 4) unstatthaft (also z.B. vulgär) erscheinen.
2. Bei Neuprägungen sollte der Vorzug den von der **Topografie abgeleiteten Namen** gegeben werden. Der nächstliegende Punkt der Topografie, der eine namensmäßige Bezeichnung trägt, empfiehlt sich dafür. Die Namen sollten vorzugsweise der Österreichischen Karte (in der Schreibung der jüngsten Ausgabe des jeweiligen Blattes) entnommen werden, z.B. Totengrabenhöhle (1567/41) — im Totengraben gelegen. In weiterer Folge können auch zusätzliche Informationen über den Höhlentyp oder den Höhleninhalt miteinfließen, z.B. Mittagkogel-Schichtgleithöhle (1547/132) oder Däumelkogel-Sandhöhle (1547/124).
3. Aus den Namen sollte direkt oder indirekt hervorgehen, **dass es sich um eine Höhle handelt**. Eine entsprechende Artbezeichnung (-höhle, -loch, -lucke, -schacht, -kluff etc.) wird günstigerweise nachgestellt, denn in einem alphabetischen Verzeichnis lässt sich eine Fahnenköpflhöhle leichter finden als eine Höhle im Fahnenköpfl (1725/5).
4. **Als unstatthaft können Namensprägungen gelten,**
 - a aus denen nicht hervorgeht, dass es sich um eine Höhle handelt, z.B. Warnix (1339/166; besser: Warnixschacht) oder Yogipapp (1339/174), auch Unsere Mähre (1511/303) oder Plumsdröhn (1624/172). Auch die Bezeichnung „-system“ schafft dem Uneingeweihten keine Klarheit darüber, um was für ein System es sich handeln könnte. Daher besser Jägerbrunntrög-Höhlensystem (1335/35) als Jägerbrunntrögssystem (das könnte ja auch eine systematisierte Methode der Jäger bei Aufstellung von Brunntrögen sein).
 - b die noch lebende Personen zum Gegenstand haben. Früher war es an der Tagesordnung, sich, seinen Kollegen, Gönnern und hohen Herren onomastische Denkmäler zu setzen (z.B. Kolowrathhöhle, 1339/1). Heute ist derlei verpönt und sollte auch bei der Benennung von Höhlenteilen nur in Ausnahmefällen geschehen.
 - c die Bezeichnungen aus dem Bereich des Vulgären und Obszönen verwenden. Höhlennamen sind ja nicht nur intern verwendete Arbeitsbezeichnungen, sondern auch eine Visitenkarte gegenüber der Öffentlichkeit und haben durch die Übernahme ins Österreichische Höhlenverzeichnis auch (teilweise gesetzlich geregelt) amtlichen Charakter. Selbst die Erforscher einer im „Roßarsch“ (Warscheneck; Name ortsüblich!) gelegenen Eishöhle verzichteten auf eine sehr naheliegende Bezeichnung — das Objekt heißt nun Sutan-Eishöhle (1636/24).
 - d die einer in der Umgebung nicht gesprochenen Sprache entstammen und kein spezifizierendes Beiwort (siehe Punkt 3) in der Umgebungssprache enthalten. Dabei ist eine Maci laci barlang (1331/95; ungarisch - im Steinernen Meer!) ebenso ein Unding wie ein Public Subway (1511/241), eine Cava quæ ipse aparuit (1335/180; Latein mit Rechtschreibfehler) oder gar ein/e (?) Prajnaparamita (1615/14; Sanskrit).

5. Eine eigene Problematik bildet die Prägung eines **Namens für ein Höhlensystem**, das eine Verbindung von zwei oder mehreren bereits bekannten Höhlen darstellt. Hier empfiehlt es sich, den seit Längerem bekannten Namen oder den der bislang größeren Höhle voranzusetzen, z.B. Brunnecker-Petrefakten-Höhlensystem (1511/1).
6. Katasterführenden Vereinen kann angeraten werden, die **Namensprägungen von ausländischen Forschergruppen dem örtlichen Standard anzupassen**, also z.B. aus Trou Boubou (1628/2) ein Boubouloch zu machen und aus einem Verlorenenwegschacht (1324/83, Teil des Systems des Lamprechtsofen) einen grammatikalisch korrekteren Verlorener-Weg-Schacht. In ausländischen Veröffentlichungen bereits publizierte Namen müssen jedoch unbedingt als Zweitnamen erhalten bleiben, damit Verwechslungen bei der Korrelation von Literatur und Höhlenverzeichnis vermieden werden.
7. In **Höhlenballungsgebieten** gehen den Entdeckern bald die „originellen“ Namen aus, zudem verliert man bei uneinheitlicher Benennung die Übersicht. Hier empfiehlt sich die Verwendung des von Volker Weißensteiner entwickelten Steirischen Benennungssystems:

Es wird eine einheitliche, falls nötig durch Bindestriche verknüpfte Kombination gebildet aus

- Geländebezeichnung (z.B. Hochstein, Seekar, Margschierf)
- Höhlenart/Höhlentyp (z.B. Höhle, Schacht, Schluf, Kluft)
- der laufenden Nummer innerhalb der Kataster-Teilgruppe des Österr. Höhlenverzeichnisses

Beispiel: Margschierfschacht 163 (1547/163), Margschierfschacht 164 (1547/164) usw.

Für die Geländebezeichnung kann zur Vermeidung allzu langer Namen auch ein Kürzel aus der ersten Silbe oder den ersten 3-5 Buchstaben der Geländebezeichnung gewählt werden. Dieses sollte durch Großbuchstaben gekennzeichnet werden, z.B. „HIR-Schacht-45“ (ein Schacht in der Hirschgrube mit der Katasternummer 1744/45).

Ausnahmen von dieser Regel werden im Ballungsgebiet nur für vorhandene historische Höhlennamen und bei Bedarf für besonders auffallende oder bedeutsame Objekte gemacht.

Kleinere Höhlengruppen können auch mit römischen Ziffern durchnummerierten, einheitlichen Namen versehen werden, z.B. Weichselbodenhöhle I-VI (Katasternummer 1811/6-11)

Literatur

Weißensteiner, V. (1974): Ein Beitrag zur systematischen Bezeichnung von Schächten, Klüften und Höhlen im Hochgebirgskarst. "Die Höhle", Jg. 25, Heft 1;

Schreibung von Höhlennamen

Die Schreibung von Höhlennamen sollte den in der deutschen Rechtschreibung geltenden Grundsätzen für die Schreibung geographischer Namen folgen. Dadurch soll einerseits orthographische Korrektheit erzielt werden, andererseits sollen Unklarheiten und falsche Eindrücke vermieden werden.

Höhlennamen sind in den meisten Fällen zusammengesetzte Wörter (Komposita). Während in anderen Sprachen Teile eines derartigen Kompositums wohl *zusammengerückt* werden (z.B. Sloan's Valley Cave System), werden sie im Deutschen üblicherweise *zusammengeschrieben* oder aber durch einen Bindestrich verbunden.

1. Zusammenschreibung wird daher die Regel sein, wenn das zusammengesetzte Wort (also der Höhlennamen) nicht zu umfangreich wird.

2. Bindestriche

a) sind unverzichtbar bei der Verwendung von vollen Personennamen:

Kurt-Taschner-Halbhöhle (1866-49); himmelschreiend falsch wäre eine (fiktive) Johann Straußhöhle (Eindruck eines Personennamens, Vorname „Johann“, Familienname „Straußhöhle“). Auch die Eduard-Richter-Eishöhle (Teil der Eiskogelhöhle 1511/101) braucht ihren ersten Bindestrich unbedingt (ansonsten Eindruck eines Herrn Eduard aus der doppelnamigen – adeligen? – Familie „Richter-Eishöhle“).

b) müssen, wenn sie verwendet werden, jedes Element eines zusammengesetzten Wortes vom nächsten abgrenzen: Lagergenossenschaft-Ennstal-Höhle (1625/181) statt Lagergenossenschaft Ennstal-Höhle.

c) sind zu empfehlen, wenn Komposita (die meisten Berg-, Alm- und Flurnamen sind solche) aufeinander treffen: Sonnleitstein-Gipfelkluft (1852/2). Statt Schwarzmooskogeleshöhle (1623/40) besser Schwarzmooskogel-Eishöhle, ebenso statt Schoberwiesloserbärenhöhle (1624/4) besser Schoberwiesloser-Bärenhöhle.

Achtung: vor und nach einem Bindestrich kommt kein Leerzeichen!

3. Getrennte Schreibung ist angebracht bei Namen mit

a) vorgesetztem Artikel, z.B. Der Zuagstoante (1627/33)

b) vorgesetzter Artbezeichnung: Quelhöhle Fürstenbrunn (1339/10), Schacht D 3 (1323/45)

c) Attribut in Form eines (spezifizierenden) Adjektivs: Großer Stubenschacht (1744/192), Trockenes Loch (1836/34)

d) Genitivattribut: Schacht der Verlorenen (1511/275), Eishöhle der Saligen (1339/63), Günthers Schacht (1335/186)

e) Ortsangabe mit Präposition: Kluft im Kleinen Gries (1853/52), Schneeloch auf der Pauschenalm (1815/41)

f) Ortsableitungen auf –er: Puxer Lueg (2745/1), Erlacher Tropfsteinhöhle (2872/3), auch Wiener Neustädter Höhle statt dzt. immer noch Wiener-Neustädter-Höhle (1851/30) wäre gerechtfertigt.

g) Ordinalzahlen: Erster Schacht in der Hochkogeltiefe (1511/29)

4. Hinsichtlich der Einbeziehung von Zahlen bzw. Zahlen-Buchstaben-Kombinationen in Namen existieren keine verbindlichen Regeln. Meine Empfehlung geht dahin, Zahlen nicht durch Bindestriche anzugliedern. SCHWA-Schacht 80 (1623/80) erscheint logischer als z.B. BAUM-Schacht-20.

Ein Umding stellt die Verwendung einer Klammer innerhalb eines Namens zur Andeutung einer Namensvariante dar, etwa die Steller(weg)höhle (1623/41). Nachdem das Österreichische Höhlenverzeichnis die offizielle Bezeichnung einer Höhle festhält, hieße besagtes Objekt dann offiziell weder Stellerhöhle noch Stellerweghöhle, sondern eben Steller(weg)höhle und wäre in dieser Schreibung immer zu zitieren.

Das hier über die Schreibung von Höhlennamen Angemerkte gilt im Übrigen gleicherweise auch für die Schreibung der Namen von Höhlenteilen.

Inhalt von Forschungsberichten

Forschungsberichte sind das Ergebnis der höhlenkundlichen Tätigkeit und Spiegelbild der Leistung und Fähigkeit der Beteiligten. Leider beschränken sich manche „Höhlenforscher“ darauf, Erlebnisberichte in der Art von Schulaufsätzen zu produzieren, was die Akzeptanz der Höhlenforschung bei Grundeigentümern und ihren Stellenwert in der Öffentlichkeit nicht gerade steigert.

Elemente von Forschungsberichten

Praktische Höhlenforschung kann ein sehr unterschiedliches Gesicht haben. Die dargestellte Struktur kann daher nur Anregung sein, soll aber die kreative Entfaltung nicht behindern!

1. Überblick, Einführung
2. Grunddaten des/der Forschungsobjekte(s)
3. Lageangaben (Lage- und Zugangsbeschreibung, Lageübersicht, ...)
4. Raumbeschreibung(en)
5. Chronik, Zeitablauf
6. Befahrungshinweise
7. Literaturübersicht

Daneben kann ein Bericht aufgelockert und bereichert werden durch:

8. Erlebnisberichte
9. thematische Aufbereitung bestimmter Fachthemen

Als Beilagen werden dem Originalbericht vollständig beigelegt:

10. Fotos, Pläne, Messdaten etc. (möglichst in analoger und digitaler Form)

Gute Berichte mit z.B. treffenden und zuverlässigen Raumbeschreibungen entstehen rasch nach der Forschungsfahrt. Andernfalls drohen erhebliche Lücken: schon nach kurzer Zeit sind viele Beteiligte nicht mehr kontaktierbar oder sie können sich nicht mehr genau erinnern.

Überblick, Einführung: Das „Wer?“ (Organisation), „Was?“, „Wo?“, „Wann?“ (ev. auch: „Warum?“) lässt den Benutzer/Leser auf einen Blick erkennen, ob der Bericht für ihn Interessantes enthält. In Fachzeitschriften ist eine englische Zusammenfassung üblich.

Die **Lageangabe** nennt den Ort des Höhleneinganges anhand topographischer Bezeichnungen und Gegebenheiten. Sie hilft vor allem dem Betrachter einer Landkarte. Die **Zugangsbeschreibung** beschreibt eine *Wegstrecke*, um dorthin zu gelangen. Bei zahlreichen behandelten Höhlen/Höhleneingängen ist eine **Lageübersicht** sinnvoll (z.B. „Die beschriebenen Höhlen liegen alle im Südhang des Hochfichts, einem Ausläufer des Tannberges bei Föhrenburg, Baumland“ oder „das bearbeitete Gebiet umfasst den gesamten Gipfelbereich des Hochspitzes, der zentralen Erhebung des oberkakanischen Kaisergebirges, etwa ab einer Seehöhe von 3700 m“). Bei ausgedehnten Höhlen wird auch der **Lagebezug** zur Oberfläche hergestellt werden (z.B. „die Höhle durchörtert fast den gesamten Höllerkogel von SW nach NO“).

Befahrungshinweise werden bei tieferen Schachtabstiegen in Tabellenform gegeben. Darin sind enthalten: die jeweiligen Schachttiefen, der Seilbedarf, der übrige Materialbedarf (mit Hinweisen auf belassenes Material und Verankerungen), Gefahren- und Orientierungshinweise, Schwierigkeitsangaben.

Der Forschungsbericht soll nachfolgenden Forschern die Weiterarbeit ermöglichen, kann aber auch darauf hinweisen, dass die eigene Bearbeitung noch nicht abgeschlossen ist.

Abfassung von Raumbeschreibungen

Mit Hilfe der Raumbeschreibung soll sich jeder Höhlenbesucher in der Höhle orientieren können und jeder Leser einen möglichst realistischen Eindruck von der Höhle gewinnen.

Ein **einleitender Überblick** kann oft mit einem einzigen Satz gegeben werden

z.B. „Die Höhle besteht aus dem horizontal entwickelten, oberflächenahen Drachenlabyrinth und dem im Eingangsbereich abzweigenden Zwergencanyon, der mit zahlreichen Stufen bis in 350 m Tiefe führt“.

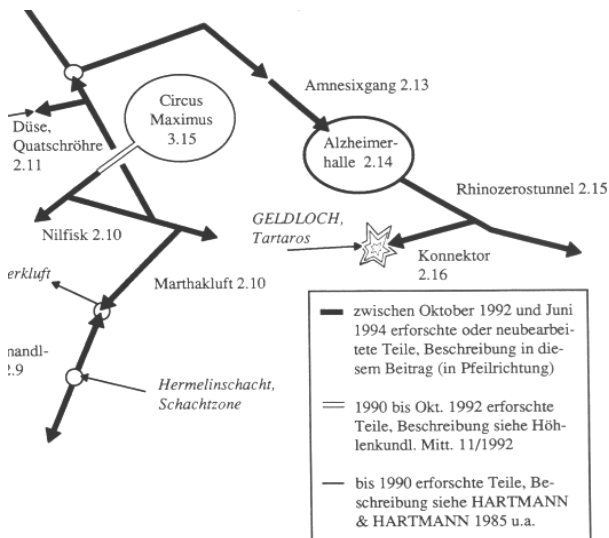
Die Raumbeschreibung erfolgt am besten vom Eingang her bergwärts, wobei man sich zweckmäßigerweise zuerst den Hauptteilen widmet und dann von diesem „Rückgrat“ ausgehend den Seitenteilen. Eine übersichtliche Raumbeschreibung zeichnet sich daher durch eine **Gliederung in Abschnitte** entsprechend der räumlichen Gliederung der Höhle aus (ev. auch befahrungstechnischen Gesichtspunkten). Ist die Höhle sehr kompliziert aufgebaut, können beigefügte Skizzen, Pläne oder Kartogramme (schematisierte Plandarstellungen) die Orientierung erleichtern.

Auch innerhalb der Abschnitte soll die Struktur von Überblicks- und Detailbeschreibung beibehalten werden. Beschreibt man etwa einen geräumigen Gang mit Seitenteilen, so empfiehlt es sich zuerst den Gang zu beschreiben und dann die Seitenteile – jeweils in der Form, dass man zuerst mit einem Satz den Gang/Seitenteil charakterisiert. Falls erforderlich und sinnvoll kann eine Detailbeschreibung folgen.

z.B. „Der Lehmgang ist ein übermannshoher, röhrenförmiger Tunnel, der 300 m geradlinig nach NO führt. Auf den ersten 20 m fällt er steil zu einer Wasseransammlung ab, von der das Wasserlabyrinth seinen Ausgang nimmt. Hinter diesem mit Hilfe von Trittsteinen leicht zu überquerenden See steigt er mit tiefgründigem, feuchtem Lehmboden zu einer 5 m hohen und 6 m breiten Raumerweiterung an.“

Eine Raumbeschreibung ist kein Erlebnisbericht!

z.B. Statt „Durch den elenden Schluf kamen wir mit letzter Kraft in eine große Halle“ formuliert man hier besser „Durch den Schluf gelangt man sehr mühsam in eine große Halle“.



Ein Kartogramm kann bei komplizierten Höhlen dafür sorgen, dass der Leser den Überblick behält.

Wichtig:

- **Genau Bezeichnung:** einmal geprägte Namen müssen beibehalten und in Text und Plan ident sein (z.B. „Lehmschluf“ ≠ „Lehmsunk“ ≠ „Schlammsunk“)
- **Dimension:** Maße angeben! (jeder empfindet Räume anders)
- **Ausrichtung:** Kompassrichtung (z.B. „NW“, meist besser als „links und rechts“!), Neigung (fallend oder steigend) und Verlauf (geradlinig oder mäandrierend, wo erfolgen Richtungsänderungen...)
- **Gestaltcharakteristik:** Raumtypus (Halle/Kammer/Canyon/Schluf...), Profilform (Linsen-/Rund-/Schlüsselloch-/Dreieck-/Trapez-/Kastenprofil etc.)
- **Relative Position:** über- und unterlagernd, Abzweigungen von Seitenteilen, Nähe zu anderen Höhlen,...
- **Höhleninhalt:** Sedimente (Geröll, Sand, Lehm, Blockwerk, Humus,...), Eis- und Wasserführung (Schwankungen, Schüttung, Wasserstandsmarken...), Mineral- und Tropfsteinbildungen, Wetterführung (Richtung, Intensität,...)

Werden Fachthemen nicht in eigenen Texten behandelt, können zoologische und geologische Beobachtungen und ähnliches gegebenenfalls in die Raumbeschreibung eingeflochten werden.

Dokumentarische Höhlenfotografie

Fototechnik

Ziel: Bestmögliche Wiedergabe der Natur

Dokumentarische Höhlenfotografie zielt darauf ab, dem Bildbetrachter – abgesehen von der realen Finsternis – einen möglichst wirklichkeitsnahen Eindruck von der Höhle zu vermitteln. Dies schließt durchaus die Absicht ein, „schöne Bilder“ zu erzeugen. Das Augenmerk liegt nicht auf künstlerischen Effekten wie z.B. Lichteffekten, die dem menschlichen Auge gewöhnlich verborgen bleiben (siehe Buchtitel unten), und Farbveränderungen, Verzerrungen, Retuschen usw. sind überhaupt unbedingt zu vermeiden. Eine digitale Nachbearbeitung kann dennoch zweckmäßig sein (z.B. Aufhellung unterbelichteter Bildteile, um ein Gangprofil besser erkennbar zu machen).

Im Licht/Schatten-Bereich von Höhleneingängen wird bei der Dokumentation versucht, ein Bild zu erzeugen, das dem menschlichen Sinneseindruck möglichst nahe kommt. Dabei kann/muss durchaus auch mit künstlichem Licht nachgeholfen werden.

Ausrüstung

Die Fotoausrüstungen sind so unterschiedlich wie die Charaktere der Forscher, und die Technik schreitet auf diesem Gebiet rasend schnell fort. Daher sollen eher grundsätzliche Empfehlungen gegeben werden:

Kamera mit manueller Bildsteuerung: Kamera- und Blitzautomatiken scheitern zuverlässig an den komplexen Anforderungen in der Höhle. Daher unbedingt eine Ausrüstung verwenden, die eine vollständig manuelle Einstellung erlaubt (Schärfe, Blende, Zeit, Blitzansteuerung und -einstellung). Durch die unmittelbare Kontrollmöglichkeit am Display der Digitalkameras kann man problemlos experimentieren, bis ein optimales Ergebnis erzielt ist. Für hohe Bildqualität immer die Blitzleistung voll ausschöpfen und mit der Blende regulieren, bei teilweiser Tageslichtverwendung auch mit der Verschlusszeit.

Bildsensoren: Bei CMOS-Sensoren die unterschiedliche Qualität (Tests!) beachten! Aufgrund der Objektivgeometrie und zur Vermeidung des „Bildrauschens“ sind Kameras mit Vollformat-Sensor ideal, aber extrem teuer. (Auch noch bei sehr hoch eingestellter Empfindlichkeit kein Qualitätsverlust).

Weitwinkelzoom. Höhlenfotografie ist meist Weitwinkelfotografie. Empfehlung: 24-80 mm bei Vollformatsensoren ≈ 14-50 mm bei Standard-CMOS-Bildsensoren. Nie das Objektiv in der Höhle wechseln!

Blitzgeräte: Hauptblitz (hohe Leitzahl, fein abstuftbar!) und Kamera mit Kabel verbinden. Nur mit einem Abstand zwischen Blitzgerät(en) und Objektiv >30 cm entstehen plastische Bilder und werden störende Wassertropfen und Staub vermieden. Entfernte Raumteile mittels weiterer Blitzgeräte (angesteuert durch „Sklavenauslöser“) ausleuchten. Mit einem Hauptblitz und einem Sklavenblitz lassen sich schon von 95% aller Höhlenmotive sehr gute Aufnahmen machen. Bei vollständig manueller Steuerung muss auch die Farbtemperatur eingestellt werden (Tageslicht ~5.200 K, Blitzlicht 6000 K). Manche Fotografen arbeiten auch mit LED-Lampenlicht („Painting with Light“).

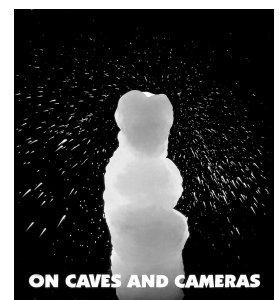
Sklavenauslöser: Nur empfindliche Sklaven (z.B. Firefly), die auch ohne direkten Sichtkontakt auslösen!

Zubehör: Stativ, Auslösekabel, Reservebatterien, weiches Tuch, stoßfeste Verpackung (dennoch: wie jede andere Höhlenausrüstung ist auch die Kamera ein Verbrauchsgegenstand).

Tipps: Zur Vermeidung von Dampfbildern Abstand zwischen Gesicht (Körper) und Kamera halten (mit Stativ oder „freihändig“ fotografieren)! Bei Kompaktkameras hellt der nahe am Objektiv gelegene Blitz Partikel in der Luft auf („Schneegestöber“), daher diesen mit schwarzer UV-durchlässiger Folie (z.B. schwarzes Diapositiv) überkleben. Der Firefly am Sklavenblitz löst aufgrund des IR-Lichts trotzdem aus.



On Caves and Cameras. A Comprehensive Guide to Underground Photography, 2005, Edited by Norman R. Thompson & John Van Swearingen IV, NSS, English. Preis: € 36,- .



Was soll auf Fotos festgehalten werden?

Die Fotodokumentation einer Höhle soll unbedingt umfassen:

- Bild des Höhleneingangs / aller Höhleneingänge
- Bilder charakteristischer Gänge und Räume der Höhle (nicht nur „schöne Motive“)
- Morphologische Details, die Interpretationen der Höhle erläutern können (z.B. Fließfacetten, Harnische)
- Bilder des Höhleninhalts (z.B. Tropfsteine, Sedimente, Knochen, Eis, Gewässer)
- Lebewesen, Pflanzen

Diese Liste wird meist durch Bilder von den Erforschern und befahrungstechnisch relevanten Stellen/Momenten ergänzt werden – dies sind die am liebsten abgelichteten Motive, und Höhlenvorträge bestehen leider häufig fast ausschließlich aus solchen Szenen.

Bildarchiv

Umfang

Zusätzlich zu aktuell erstellten Dokumentationen enthält ein Bildarchiv (soweit verfügbar):

- Verfügbare Historische Bilder der Höhlen – vor allem des Höhleneingangs / aller Höhleneingänge
- Bilder aus der Forschungsgeschichte (Personen, Forschungsgeschehen)

Ein Bildarchiv enthält schnell tausende Bilder bzw. etliche Gigabyte Datenvolumen. Es ist daher wichtig, uninteressante oder weniger gelungene Aufnahmen vorab auszusortieren. Einmal einsortierte Aufnahmen sollten im Sinne archivarischer Grundsätze nicht mehr entfernt werden, auch wenn später qualitativ bessere Fotos eines bestimmten Motivs dazukommen. Unterschiedlich weit zurückliegende Aufnahmen eines Motivs lassen Veränderungen ablesen (Monitoring).

Empfehlungen

Systematische Gliederung: Es wird trotz raffinierter Suchsysteme am Computer empfohlen, die Systematik des ÖHVZ zu übernehmen (Ordnergliederung nach Katasternummern). Ich selbst ändere den Dateinamen in die Katasternummer und eine innerhalb der Höhle fortlaufende Bildnummer um. Eingangsbilder markiere ich durch ein spezielles Kürzel, wieder unter Verwendung der Buchstabenbezeichnung im ÖHVZ und ggf. einer Laufnummer.

Digitale Bilder unbedingt in einem **Standardformat** (Empfehlung: JPEG) abspeichern. Bildbeschreibungen und Bildautor in die Bilddatei in Standardformaten (EXIF-Datei) integrieren, nicht nur in Spezialdatenbanken bestimmter Bildarchivprogramme, die vielleicht in 10 Jahren schon überholt sind und nicht mehr gelesen werden können.

Digitale Bildarchive zweifach auf externen Festplatten **sichern und regelmäßig umspeichern**. CDs und DVDs sind für die Datenmengen eines Bildarchivs kaum ausreichend und haben nach heutigem Stand eine bestenfalls wenige Jahrzehnte lange Lebensdauer.

Verortung der Höhlenaufnahmen – Zusammenspiel von Plan und Bild

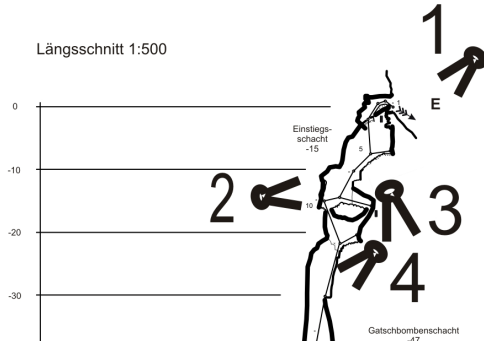
Bis heute wurden Höhlenfotos innerhalb von Höhlen(systemen) kaum systematisch verortet, man ist meist auf die Beschriftung von Bildern/Dias/Bilddateien angewiesen und muss hoffen, dass die Ortsangaben stimmen bzw. dass sich der Name des Höhlenteiles seither nicht verändert hat. Räumlich nicht mehr zuordenbare Bilder werden für die Höhlenforschung wertlos. Vor allem bei großen Höhlensystemen geht so im Lauf der Zeit sehr viel Information verloren. Dokumentation bedeutet aber das Erzeugen einer in der Zukunft eindeutigen und nachvollziehbaren Arbeitsgrundlage.

Die Verortung von Höhlenbildern geschieht am besten und einfachsten mit Hilfe eines Planes. Auch hier hilft uns mittlerweile die digitale Technologie, da wir Pläne und Bilder zusammenführen und immer wieder ergänzen können. Die Abbildung auf der Folgeseite soll symbolisch eine einfache Variante einer verorteten Bilddokumentation darstellen. Dies kann schon die Grundlage eines Geographischen Informationssystems (GIS) bilden!

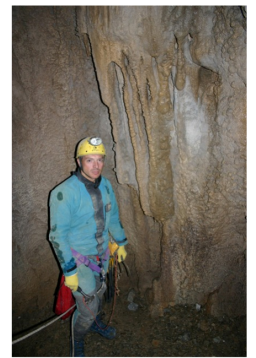
Plattenschrofenschacht Kat.Nr. 1711/53

Am Admonter Kalbling, Steiermark UTM-Koord. 464.140 / 5.265.940 (± 10)
 L 568 m H 222 m (+1 m, -221 m) Sh 1900 m

Längsschnitt 1:500

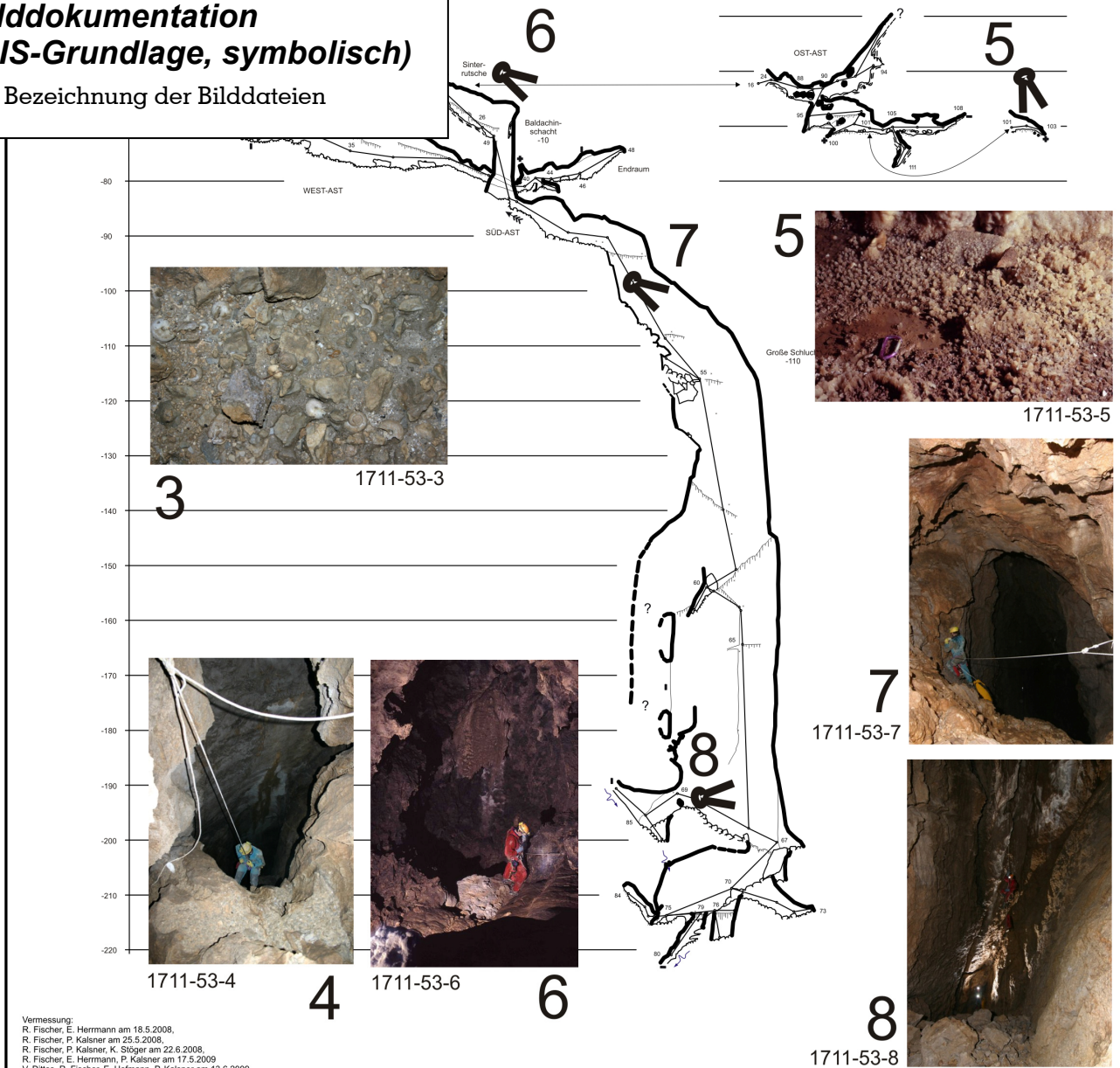


1 1711-53-1E



2 1711-53-2

**Beispiel für eine verortete
 Bilddokumentation
 (GIS-Grundlage, symbolisch)**
 Mit Bezeichnung der Bilddateien



Vermessung:
 R. Fischer, E. Herrmann am 18.5.2008,
 R. Fischer, P. Kalsner am 25.5.2008,
 R. Fischer, P. Kalsner, K. Stöger am 22.6.2008,
 R. Fischer, E. Herrmann, P. Kalsner am 17.5.2009
 V. Dittes, R. Fischer, E. Hofmann, P. Kalsner am 13.6.2009

FILMEN IN HÖHLEN

Im Gegensatz zur Fotografie, die für druckbare Höhlendokumentation optimal ist, können Videos die Situation und Abläufe inklusive dem Originalton einem unbeteiligten Betrachter realitätsnahe wiedergeben. Sie können spannend und informativ zu gleich sein. Allerdings sind sie – will man das Video in guter Qualität abdrehen – wesentlich aufwendiger (Beleuchtung, längere Drehzeit etc.) als die Fotografie. Im Folgenden wird das „Filmen in Höhlen“ von der technischen Seite betrachtet, um die Scheu vor Eingriffen in manuelle Einstellungen zu nehmen – denn der Camcorder kann wesentlich mehr als nur den >Automodus<!

Licht

Bei Aufnahme in einer Höhle, ob mit einer Foto-, oder Videokamera, ist man auf die richtige „Ausleuchtung“ angewiesen. Der Kontrast zwischen Hell und Dunkel zeichnet Formen und Konturen, die Farben dagegen gestalten die Oberfläche und das Aussehen der Objekte. Bei Außenaufnahmen muss man sich den Lichtverhältnissen der Natur anpassen. Bei Aufnahmen in Höhlen muss man das fehlende Tageslicht durch Kunstlicht ersetzen. Dieses hat allerdings so seine Tücken. Wer will schon den Grün-, Blau- oder Orangerotstich (vor allem bei Karbidlicht) auf seinen Aufnahmen. Das Schlüsselwort heißt Farbtemperatur, denn Licht ist nicht gleich Licht, und was die Fotokamera (der Film) und die Videokamera als Weiß definieren, ist nicht immer das, was unsere Augen als Weiß wahrnehmen.

Wie misst man die Temperatur einer Farbe?

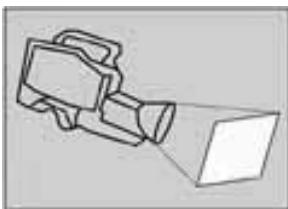
Um die Qualität der Beleuchtung zu beurteilen, benötigt man einen Maßstab. Den erhält man mit der Messung der Farbtemperatur. Die hat nichts mit dem subjektiven Empfinden von "warmem" Rot und "kaltem" Blau zu tun noch mit der Helligkeit, sondern es handelt sich um physikalische Größen.

Kunstlicht etwa hat im Allgemeinen eine Farbtemperatur von 2000 bis 6000 K (Kelvin), Sonnenlicht ungefähr 6000 K und mehr, intensives Licht (z.B. im Gebirge) hat bis zu 16000 K (Siehe Tabelle).

Optimale Videoaufnahmen durch den richtigen Weißabgleich.

Verfügt Ihr Digital-Camcorder oder Ihre Videokamera über die Möglichkeit, einen manuellen Weißabgleich vorzunehmen, verwenden Sie diesen so oft es geht. Vor jeder Aufnahme sollte man allerdings kurz überlegen - stimmt der Weißwert noch, oder hat sich die Lichteinwirkung seit der letzten Aufnahme stark verändert? Das ist besonders bei einem Standortwechsel von drinnen nach draußen oder umgekehrt der Fall. Vorsicht ist bei Neonlampen angebracht, diese verleihen dem Bild häufig einen Grünstich. Dasselbe gilt auch für Mischlicht, also ungünstige Kombinationen aus Tages- und Kunstlicht am selben Ort.

Einstellbarer Weißabgleichsbereich	Bläulicher Stich	10.000 K	<ul style="list-style-type: none"> • Blauer Himmel • Blaue Szene am Fernsehbildschirm • Bewölkter Himmel • Sonnenlicht • Weißes Röhrenlicht • 2 Stunden nach Sonnenaufgang oder vor Sonnenuntergang • 1 Stunde nach Sonnenaufgang oder vor Sonnenuntergang • Elektrisches Halogenlicht • 30 Minuten nach Sonnenaufgang oder vor Sonnenuntergang • Weiße Glühlampe • Sonnenaufgang, Sonnenabend • Kerzenlicht
		9.000 K	
		8.000 K	
	7.000 K		
	6.000 K		
	5.000 K		
Weiß	4.000 K		
Rötlicher Stich	3.000 K		
	2.000 K		
	1.500 K		



Arbeitet man unter gleichmäßigen Lichtbedingungen, also kein Mischlicht, ist die beste Wahl, mit einem vorher festgelegten Weißwert zu arbeiten. Man hält einfach ein weißes Blatt Papier vor den Camcorder oder richtet die Videokamera auf eine weiße Fläche und betätigt die Weißabgleichstaste. Das Ergebnis des Weißabgleichs kann sofort im Sucher oder auf dem Monitor betrachten werden. Wichtig beim Weißabgleich ist, dass die weiße Fläche von der Lichtquelle beleuchtet wird, mit der gefilmt wird.



Weißabgleich bei Karbidlicht

Mit Karbidlicht verursacht der Weißabgleich oft Probleme. Der Kunstlicht-Wert, der im Camcorder voreingestellt und meist mit einer Glühbirne gekennzeichnet ist, liefert viel zu gelbe Bilder. Der Weißabgleich auf eine weiße Fläche zerstört jedoch die Lichtstimmung und liefert neutrale Bilder, ohne die Wärme des Karbidlichtes deutlich zu machen. Es gibt nun die Möglichkeit, einen Weißabgleich nicht auf Weiße sondern auf eine anders farbige Fläche durchzuführen, um den angestrebten Mittelwert zu erreichen. Bei Karbidlicht verwendet man eine bläuliche Fläche, um den Weißwert in Richtung Gelb zu verschieben. Dazu kann man farbiges Papier oder Karton (für die Höhlentauglichkeit in Kunststoffolie einschlagen oder verschweißen) verwenden. Relativ blasse Farben sind dabei völlig ausreichend.

Eine besser zu berechnende Möglichkeit, sind CTB-Folien. Diese werden dazu verwendet, das Licht von Kunstlichtlampen an das Tageslicht anzugleichen (im Fachgeschäften erhältlich).

Lichtquellen

Durch den Einsatz von zusätzlichen Lichtquellen erreichen Sie optimale und rauschfreie Videoaufnahmen, auch bei Karbidlicht oder schlecht ausgeleuchteten Räumen. Für Innenaufnahmen kann man als Amateur nie genug Licht haben. Natürlich werben alle Camcorder-Hersteller damit, dass ihre Kameras schon bei wenigen Lux Bilder (Night Mode) aufzeichnen können, jedoch werden diese Bilder dann durch Rauschen überlagert (meist auch nur in S/W). Profis leuchten daher oft mit 10000-W-Scheinwerfern und mehr ihre Szenen aus.

Filmen Sie bei wenig Licht oder bei Karbidlicht, so spielt die Lichtempfindlichkeit ihres Camcorders eine große Rolle. Um z.B. mit einer 100-Watt-Glühbirne auf eine Entfernung von 3 m noch brauchbare Videoaufnahmen zu erhalten, muss der Camcorder mit einer Lichtempfindlichkeit von 10 Lux ausgestattet sein. Eine Kerze hingegen erzeugt denselben Lux-Wert nur noch bis zu einem Abstand von 0,2 m. Generell kann man mit Karbidlicht schöne Stimmungsbilder machen, aber sobald andere Details als die Stimmung gefragt sind, kommt man kaum ohne zusätzliches Licht aus.

Ein **Gain** kann dabei helfen. Dieser hebt den gesamten Signalpegel an, und mit einem Gain von 6 dB hat man eine ganze Blende gewonnen, d.h. die Lichtleistung hat sich verdoppelt. Bei DV-Camcordern kann mit einem Gain von bis zu 9 dB gearbeitet werden, ohne dass es zu einer auffälligem Bildrauschen kommt. Wird die Automatik des Camcorders benutzt, wird diese das Bild massiv aufgehellt und womöglich mit Hilfe der Gain-Funktion die Helligkeit noch zusätzlich weiter angehoben. Dadurch wird das Bild meist grieslig, verrauscht, farbarm und grau.

Zusätzliche Lichtquellen sind oft die bessere Lösung! Videoleuchten sind eine preiswerte Lösung und können am Zubehörschuh auf dem Camcorder angebracht werden. Mit 10 bis 30 Watt ist ihre Leistung ausreichend, um einen Bereich von ein bis drei Metern auszuleuchten.

Meistens ist das Licht der Handlampe jedoch zu hart, so dass die Teile in der Bildmitte überstrahlen und der Rand zu dunkel ist. Bei Film und Fernsehen wird dafür eine sogenannte Frostfolie vor das Licht gespannt. Bei Handlampen bis max. 50 Watt kann auch ein kleines Stück Transparent-Papier verwendet werden, in einem gewissen Sicherheitsabstand vor die Lampe befestigt wird, sodass der gesamte Lichtkegel durch das Papier hindurch scheint. Dadurch wird das Licht zwar etwas schwächer aber dafür auch viel weicher.

Smear-Effekt

CCD-Aufnahmechips können nur mit beträchtlichem Aufwand helle Lichtpunkte abbilden. Denn punktförmige Überstrahlungen produzieren eine nicht schnell ableitbare Informationsdichte. Es entsteht dann ein senkrechter, heller Streifen, der sogenannte „Smear-Effekt“. Mit dem 1/4 CMOS-Bildwandler (statt bisher zumeist 1/3 CCD-Sensoren) können Bilder wesentlich schneller ausgelesen werden (eröffnet nun auch eine Zeitlupenfunktion) und die Einstellungen kommen in HDV-Auflösung (für Full HD-Fernseher) in absoluter Sendefähigkeit. Der „Smear-Effekt“ gehört mit diesen neuen CMOS eindeutig der Vergangenheit an.



Der richtige Lichtaufbau

Licht kameratauglich zu positionieren ist eine Kunst, die oft unterschätzt wird. Umso schwieriger ist es, eine Höhle so zu beleuchten („auszuleuchten“), dass die vorherrschende Stimmung nicht zerstört wird. Es gibt einige klassische Positionierungstipps, die als Basis für eine gute Beleuchtung dienen können. Jedoch sollte man sich nicht scheuen, Variationen auszutesten bis man mit dem Lichteindruck zufrieden ist.

Tipp: Wenn möglich einen Videomonitor bei den Aufnahmen an der Kamera anschließen. Der Sucher der Kamera vermittelt selten den richtigen Lichteindruck.

Grundsätzlich werden meistens drei Lichtquellen eingesetzt, was allerdings einen gewissen Aufwand voraussetzt:

- **Führungslicht:** stellt immer die Hauptlichtquelle dar. Da es im inneren einer Höhle kein natürliches Licht gibt, ist es relativ unerheblich, wo das Führungslicht positioniert ist. Lässt einem der Höhlenraum jedoch mehr gestalterischen Freiraum, so wird das Führungslicht oft seitlich in einem 45-Grad-Winkel etwas versetzt neben der Kamera platziert. Je nach Einfallswinkel auf das Objekt wirft das Führungslicht nun Schlagschatten auf die Oberflächen. In der Höhle erhöht man durch gezielten Einsatz von Schatten die Plastizität der Objekte.
- **Aufhelllicht:** sind die Schatten nicht gewollt, werden diese durch das sogenannte Aufhelllicht reduziert. Daher platziert man dieses auf der anderen Seite neben der Kamera.
- **Gegenlicht:** die dritte Lichtquelle hebt das Objekt gegenüber dem Hintergrund hervor. Dazu sollte es so positioniert werden, dass es nicht direkt in die Kamera leuchtet, sondern nur das Objekt von hinten bestrahlt.

Oft werden noch weitere, weniger dominante Lichtquellen (auch bewegte) eingesetzt, um im Hintergrund oder im Höhlenraum Lichtakzente zu setzen. Dies kann notfalls auch mit herkömmlichen Taschenlampen erfolgen, die vorteilhaft mittels Papierklappen in ihrer Streulichtung begrenzt werden.

Unverzichtbares Zubehör für einen guten Film

Weitwinkelvorsatz

Für praktisch jeden Camcorder, der einen Schraubaufsatz vor dem Objektiv besitzt, sind verschiedene Weitwinkelvorsätze (Weitwinkelkonverter) erhältlich. Durch diesen kann die Kamera einen größeren Bildwinkel aufnehmen und scheint weiter vom Objekt entfernt. Daher eignet sich ein solches Objektiv besonders bei Aufnahmen in einer Höhle, engen Raum, etc. Grundsätzlich gewinnen Bilder durch einen solchen Konverter einfach mehr Weite und nehmen den Aufnahmen etwas von dem klassischen "Heimvideo"-Ausschnitt. Gängig sind zwei Brennweiten 0,7 und 0,5, wobei 0,5 den Blickwinkel stärker vergrößert, jedoch auch eher zu Verzerrungen neigt (Am besten im Videofachgeschäft testen und zu Hause in Ruhe entscheiden und eher keine Billigprodukte verwenden).

Stativ

Viele der heutzutage angebotenen Camcorder haben einen sog. „SteadyShot“ (Antiwackelschutz) entweder digital (z.B. Panasonic, JVC) oder optisch (z.B. Sony, Canon) eingebaut. Ein Stativ sollte aber trotzdem zur Ausrüstung eines ambitionierten Videofilms gehören und ist im Telebereich trotz „SteadyShot“ unverzichtbar. Beim Stativ ist ein Kompromiss zwischen geringem Gewicht (Transport!) und Stabilität zu finden.

Eine Besonderheit: das Schwebestative

Diese erlauben es die Kamera frei vor sich "schweben" zu lassen, ohne dass die Vibrationen, die beim Gehen entstehen, auf die Kamera übertragen werden. Dadurch sind die unglaublichsten Kamerafahrten auch für ambitionierte Videofilmer möglich. Das Prinzip beruht dabei darauf, dass das Gewicht der Kamera unter den Haltegriff verlegt wird, wodurch der Camcorder extrem träge wird. Gepaart mit einem guten Weitwinkelobjektiv können auf diese Weise extrem lebendige Einstellungen verwirklicht werden. Ein gutes (aber auch teures – ca. € 1000) Modell für Videokameras bis 1,5 kg ist der "Handy Man 1000" von ABC-Filmtechnik.

Schutz des Camcorders vor Feuchtigkeit und Verschmutzung

Unterwassergehäuse zum Schutz Ihres Camcorders sind für den Einsatz in Höhlen nur bedingt verwendbar. Eigenkonstruktionen sind oft die bessere Möglichkeit: Ich habe mir zu diesem Zweck ein Polokalrohr mittels Industrieföhn so geformt, dass mein Camcorder gerade noch hineinpasst, trotzdem aber platzsparend transportiert werden kann. Die offenen Enden wurden mit einem Deckel wasserdicht verschlossen. Für die Höhle wird der Camcorder in eine maßgeschneiderte Plastiktasche verpackt, um Kondensatbildung im Kassettenschacht zu verhindern und ihn vor Verschmutzung zu bewahren. Auch ein Verkleben des Auswurfschachtes mit Klebeband kann Abhilfe schaffen.

Speichermedien

Verschiedene Camcorderhersteller bieten seit einigen Jahren DVD-Camcorder im Handel an. Dabei muss man aber bedenken, dass eine DVD nie so sicher wie ein Band sein kann. Bei einem Bandfehler ist in der Regel stets nur eine Stelle von wenigen Augenblicken (Dropouts) betroffen. Ein Datenfehler oder tiefer Kratzer auf einer DVD führt zwangsläufig zum Totalverlust aller Aufnahmen auf dieser.

Tipps zu den Kassetten: man spielt sie jährlich vor und zurück, um Ablagerungen und Verkleben des Bandmaterials zu verhindern - sonst gehen die Aufnahmen möglicherweise unwiederbringlich verloren.

Das Überspielen und Speichern Ihrer Projekte von Band auf DVD

Immer mehr rückt eine langfristige Projektsicherung ins Interesse. Da die DVD unter Umständen nicht verlässlich genug erscheint, kann zur längerfristigen Abspeicherung von Videofilmdaten auch die DVD-RAM verwendet werden. Die DVD-RAM hat eine größtmögliche Datensicherheit und Langlebigkeit. Das Medium erlaubt rund 100.000 (!) neue Beschreibungen und sie ist auf eine Datensicherheit von 30 Jahren ausgelegt. Sie wird wie eine Festplatte verwaltet und bei der Aufnahme werden die Daten kontinuierlich auf fehlerhafte Bits überprüft und korrigiert (allerdings wird sie nicht von allen DVD-Brennern unterstützt). DVD-RAMs werden entweder mit Cartridge oder Jewelcase (beides sind Kassetten) geliefert, und nur diese schützen Ihre DVD-RAM's vor unnötigen Kratzern und Fingerabdrücken.

Weitere Tipps

Die folgenden Anmerkungen stammen von Gabriel Wimmer (OÖ) und geben praktische Tipps aus seiner Sicht zum Thema Höhlenvideo wieder:

- Für einen guten Film braucht man in erster Linie eine *Idee*, kombiniert mit guten Einstellungen und einem guten Schnitt.
- Interessante Einstellungen entstehen spontan (aus der Situation) und sind nicht gestellt.
- Zu lange Sequenzen langweilen den Zuseher.
- Weitwinkelobjektive sind in der Höhle ein *Muss*, um auch in kleineren und engeren Höhlenteilen attraktive Bilder einfangen zu können.
- Um ein Unterkühlen der Begleiter und handelnden Personen zu vermeiden, sollte man die einzelnen Szenen relativ schnell abfilmen (die Kunst liegt nicht nur in guten Aufnahmen, sondern auch in der Zeit, in der sie abgedreht werden).
- Beim Drehen verzichte auf jegliche Digitaleffekte. Diese können beim Schnitt über das jeweilige Schnittprogramm hinzugefügt werden.
- Oft reicht die normale Lampe zur Beleuchtung der Szene. Wichtig dabei ist aber, dass sie möglichst „randlos“ und nicht zu grell ist. Weitwinkelobjektiv in größeren Höhlenräumen auf Nahdistanz einstellen und Camcorder auf eine Spotleuchte in Entfernung richten ergibt gute Effekte.
- Bei automatischer Einstellung und automatischer Blende ist es wichtig, dass keine Lichtquelle in Richtung Camcorder leuchtet, da in diesem Fall die Blende schließt und nur mehr einen weißen Punkt zu sehen ist.
- Den Nachtsichtmodus auf vielen Camcordern kann man getrost ignorieren.
- Ein Stativ finde ich für „Actionaufnahmen“ nicht notwendig – eine ruhige Hand genügt. Man kann auch den Ellbogen am Bauch oder an einer Wand (Felsen) abstützen. Auch für alle anderen Aufnahmen (wenn man sich Zeit lässt) geht es auch ohne, denn das Gewicht eines Stativs ist nicht zu unterschätzen.

Speläologie - Höhlenkunde

Speläologie ist die Wissenschaftsdisziplin, die sich mit Höhlen beschäftigt. Aufgrund der engen Verflechtung mit der Karstkunde wird der Begriff teilweise auf die Karst- und Höhlenkunde ausgeweitet. Er stammt vom lateinischen *spelaeum* bzw. *spelunca* – die Höhle, womit auch der Titel dieser Merkblätter erklärt ist.

Definition von Höhle

Es gibt keine allgemeingültige Definition für Höhle. Eine der am häufigsten verwendeten ist folgende: *Eine Höhle ist ein natürlicher, mehr als menschengroßer unterirdischer Hohlraum.* Das Hauptproblem ist der Bezug zum Menschen, der, wenn man die Entstehung von Höhlen betrachtet, keinen Sinn ergibt. In Österreich und einigen anderen Ländern wird als Untergrenze für die Aufnahme einer Höhle ins Höhlenverzeichnis (bis auf wenige Ausnahmen) eine Ganglänge von 5 m vorausgesetzt.

Aufgrund der obigen Definition ist der Begriff *Naturhöhle* überflüssig. Der Begriff *Grotte* wurde ursprünglich gleichbedeutend mit *Höhle* verwendet, sollte aber vermieden werden, da seine Definition noch uneinheitlicher ist und meist auch künstliche Objekte beinhaltet.

Typen von Höhlen

Höhlen können nach diversen Kriterien unterschieden werden:

- *Ganglänge* (die Werte in Klammern beziehen sich auf die für Österreich definierten Grenzen): Kleinhöhle (5 – 49 m), Mittelhöhle (50 – 499 m), Großhöhle (500 – 4999 m) und Riesenhöhle (\geq 5000 m)
- *Höhleninhalt*: Eishöhle, Tropfsteinhöhle, Wasserhöhle, Knochenhöhle
- *Räumliche Anlage*: Horizontalhöhle, Schachthöhle, Halbhöhle (Breite größer maximale Distanz von der Trauflinie), Abri (Felsdach), Naturbrücke...
- *Verwendung*: Wohnhöhle
- *Zoologisch-paläontologische Bedeutung*: Fledermaushöhle, Bärenhöhle...
- *Umgebendes Gestein*: Lavahöhle, Gipshöhle, Karsthöhle, Lößhöhle, Gletscherhöhle...
- *Entstehung der Höhle im zeitlichen Bezug zum umgebende Gestein*: Primärhöhle (entsteht gleichzeitig mit dem Umgebungsgestein z.B. Lavahöhle, Tuffhöhlen) und Sekundärhöhlen (entstehen später, z.B. Karsthöhlen, Brandungshöhlen)
- *Entstehungsprozess*: wird im MB „Karst und Karsthöhlen“ sowie „Nicht-Karst-Höhlen“ behandelt.

Als *Höhlensystem* wird ein zusammenhängendes, verzweigtes Netz von Hohlräumen mit einer beliebigen Anzahl von Tagöffnungen bezeichnet.

Höhlenkunde als Wissenschaft

Höhlenkunde ist eine interdisziplinäre Wissenschaft am Schnittpunkt diverser Fachdisziplinen wie Biologie (Zoologie, Botanik,...), Erdwissenschaften (Geologie, Petrologie, Paläontologie, Mineralogie, Klimaforschung,...), Geographie, Geomorphologie, Anthropologie, (Ur)Geschichte, Kunst, Medizin, etc. Teilweise werden auch Begriffe aus der Kombination zweier Disziplinen verwendet, z.B. Biospeläologie oder Geospeläologie.

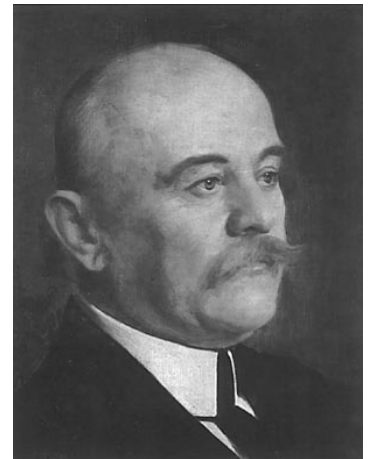
Die Speläologie kann neben dem Wissen über die Höhlen und ihrer Lebewesen selbst auch Aussagen über Prozesse außerhalb der Höhle liefern, z.B. über die Landschaftsentwicklung. Große Bedeutung für das tägliche Leben hat die Karstforschung vor allem bei der Wasserversorgung, da Wasser aus Karstgebieten wichtige Trinkwasservorkommen darstellen. In Österreich z.B. wird rund die Hälfte der Bevölkerung mit Karstwasser versorgt. Erkenntnisse aus der Karst und Höhlenkunde helfen, die Eigenschaften von Quellen und ihrer Einzugsgebiete zu charakterisieren. Im Zuge der Klimadebatte wurde in den letzten Jahrzehnten die Bedeutung von Höhlensedimenten als hervorragende Klimaarchive entdeckt und mit großem Aufwand erforscht (siehe MB Höhlen und Paläoklimaforschung). Die Speläotherapie, bei der vor allem Atemwegserkrankungen durch Aufenthalte in Höhlen behandelt werden, ist eine medizinische Anwendung der Speläologie.

Karst und Karsthöhlen

Die überwiegende Zahl der Höhlen weltweit sind Karsthöhlen; das gilt auch für Österreich. Damit sind Karst- und Höhlenforschung eng miteinander verbunden. Ein entsprechendes Wissen über Karst ist daher notwendig, um auch das Gepräge und die Entstehung von (Karst)höhlen verstehen zu können.

Was bedeutet Karst?

Der Begriff *Karst* (vom slowenischem *Kras* bzw. dem italienischen *Il Carso*) stammt von einem Regionalnamen für das Gebiet an der slowenisch-italienischen Grenze im Hinterland von Triest, wo die Karstforschung ihren Ursprung nahm. Heute wird der Begriff weltweit für den dort beschriebenen Landschaftstyp verwendet. **Jovan Cvijić**, der an der Uni Wien dissertierte, ist für die Verbreitung des Begriffes maßgeblich verantwortlich, da er ihn erstmals in seiner Arbeit „Das Karstphänomen“ in Pencks Geographischen Abhandlungen aus dem Jahre 1893 als überregionalen wissenschaftlichen Terminus verwendete. Viele der heute international verwendeten Fachbegriffe in der Karstkunde stammen daher aus dem Serbokroatischen (z.B. „Dolina“, was soviel wie Tal bedeutet). Auch der Begriff „Krâs“ selbst ist serbokroatisch und bedeutet „steiniger Boden“.



Jovan Cvijić (1865-1927)

Definition des Begriffs Karst

Nach Ford und Williams (2007) ist *Karst* eine **Landschaft mit charakteristischer Entwässerung und charakteristischen Landformen**, die von der **Löslichkeit des Gesteins** und der dadurch entstandenen **hohen (Kluft-)Porosität** herrühren.

Das Charakteristische an der Entwässerung ist, dass sie vorwiegend unterirdische abläuft, wobei in weiten Bereichen der Landoberfläche Gewässer fehlen, im Tal aber meist große Quellen zu Tage treten. Die speziellen Landformen können zum Beispiel geschlossene Hohlformen wie Dolinen oder Poljen sein (siehe MB Oberflächenkarstformen). Gut wasserlösliche Gesteine wie Kalk, Dolomit, Gips u.a. werden ebenfalls in einem eigenen Merkblatt besprochen. Große Poren schaffen das Betätigungsfeld des Höhlenforschers, da die durch Lösung entstandenen Hohlräume und Röhren oft für Menschen befahrbare Ausmaße erlangen und somit als Höhlen bezeichnet werden.



Karsthöhlen

Eine *Karsthöhle* (auch Lösungshöhle bzw. etwas eingeschränkt Korrosionshöhle genannt) ist eine Höhle, die vorwiegend durch die korrosive Wirkung des Wassers, also durch chemische Lösung (= Verkarstung, siehe eigenes MB) entstanden ist. Dies bedeutet aber, dass nicht alle Höhlen in verkarstungsfähigen Gesteinen Karsthöhlen sind, obwohl dies teilweise aufgrund abweichender Definitionen nicht so gehandhabt wird. Selbst in einigen Plateaukarstgebieten (z.B. Schneeberg, NÖ) überwiegen zahlenmäßig Höhlen, die nicht hauptsächlich durch Verkarstung, sondern durch Festsprengung und gravitative Prozesse entstanden sind (Auswitterungshöhlen und Spalthöhlen an den Flanken der Plateaus).

Typen von Karsthöhlen

Neben den bei den Höhlen allgemein genannten Typen gibt es mehrere Gesichtspunkte, die zu einer Einteilung von Karsthöhlen bzw. Teilen von Karsthöhlen herangezogen werden können:

- *Bezug zum Wasser*: Quelhöhle, Ponorhöhle
- *Initialfuge*: Schichtfugenhöhle, störungsgebundene Höhle, Schichtgrenzhöhle (oder Kombination)
- *Entstehungsbedingungen in Bezug zum Karstwasserspiegel*: eine vadose Höhle entstand über, eine phreatische Höhle unter dem Karstwasserspiegel, eine epiphreatische Höhle im Schwankungsbereich (meist gibt es auch Kombinationen)
- *Hydrologisches Regime*: Bei dieser, die Entstehungsbedingungen berücksichtigenden Einteilung, werden drei Grundtypen unterschieden, wobei auch Mischtypen auftreten:
 1. „Normale“ meteorische Wässer: für die Entstehung sind Niederschlagswässer verantwortlich, die der Schwerkraft folgend abfließen. Dabei entstehen die meisten der bekannten Höhlen.
 2. *Hypogene Wässer (Tiefenwässer, wörtlich in/aus der Tiefe entstanden)*: Wässer, die in größerer Tiefe erwärmt werden (Thermalhöhlen) oder mit geogenen (unterirdisch gebildeten) Gasen (hauptsächlich Schwefelwasserstoff H₂S und/oder Kohlendioxid CO₂) angereichert sind und somit Karstgesteine lösen können.
 3. *Mischwässer in Küstengebieten*: beim Mischen von Salz- und Süßwasser können unter gewissen Bedingungen Karbonate gelöst werden, z.B. an den Flanken von tropischen Karbonatinseln.

Klassifizierung des Karsts

Wieder gibt es je nach Betrachtungsweise viele Möglichkeiten der Einteilung:

- *Gestein*: Kalkkarst, Gipskarst...
- *Bezug zur Oberfläche*: Exokarst (Oberflächenkarst) oder Endokarst (unterirdischer Karst)
- *Auftreten von Oberflächengerinnen*: die Einteilung reicht vom *Vollkarst*, wo keine Oberflächengerinne auftreten, über den *Halbkarst* bis zum *Fluviokarst*, der bedeutende Oberflächengerinne aufweist.
- *Tiefe der Verkarstung*: tiefer Karst (die unterirdische Verkarstung reicht unter das Niveau des Vorfluters bzw. der Quellen), seichter Karst (die das Karstgestein unterlagernden wasserstauenden Gesteine verhindern eine tiefreichende Verkarstung)
- *Vegetation*: Grünkarst, Kahlkarst oder nackter Karst, silvaner (=bewaldeter) Karst ...
- *Landschaftsrelief*: Plateaukarst, Karstebene, Hochgebirgskarst, Kegelkarst ...
- *Klima*: tropischer Karst, alpiner Karst, temperierter Karst, mediterraner Karst ...
- *Geologischen Gegebenheiten*: bedeckter Karst (z.B. mit eiszeitlichen Geröllen), Kontaktkarst (an der Grenze verschieden verkarstungsfähiger Gesteine)

Weiters werden folgende Karstphänomene unterschieden:

Paläokarst: alte Oberflächen- oder Untergrundkarstformen, die mit jüngeren Gesteinen bedeckt oder verfüllt und **inaktiv** sind. Teilweise werden diese Formen auch als begrabener oder plombierter Karst bezeichnet.

Pseudokarst: Karst-ähnliche Formen, die nicht hauptsächlich auf Lösungsprozesse zurückzuführen sind (siehe MB Nicht-Karst-Höhlen).

Thermokarst oder Gletscher (Pseudo)karst: durch das Schmelzen und Sublimieren von Eis bilden sich auf bzw. in Gletschern und Eisfeldern karstähnliche Formen wie Höhlen, Schwinden (sog. Moulins) etc.

Nicht-Karst-Höhlen

Die Entstehung einer ansehnlichen Anzahl Höhlen ist auch in Österreich auf Vorgänge zurückzuführen, die nichts mit Verkarstung zu tun haben. Für diese Bildungen wird oft der Begriff **Pseudokarst** (manchmal auch irreführend) verwendet. Im Folgenden werden die wichtigsten Typen aufgezählt, wobei es wie immer Übergänge zwischen diesen Formen untereinander, aber auch zwischen diesen und Karsthöhlen gibt.

Typen von Nicht-Karst-Höhlen

Tuffhöhlen

Bei der Bildung von Quelltuffen in kalkübersättigten Wässern kann es zur Hohlraumbildung bei kleinen Wasserfallstufen kommen (Primärhöhle). Einige kleinere Beispiele gibt es in Österreich (z.B. Tuffsteinhöhle, 1827/19, NÖ). Berühmt sind die Quelltuffe und Höhlen der Plitvicer Seen in Kroatien.

Spalt(en)höhlen

Vorwiegend durch gravitatives (schwerkraftbedingtes) Abgleiten bzw. Rotieren (Bergzerreißung) oder selten durch tektonische Prozesse (Bewegungen der Erdkruste) entstehen befahrbare tw. überdeckte Spalten in verschiedensten Festgesteinen. Oft ist die Spaltenbildung hangparallel und die resultierenden Höhlen werden als Abrisspalten, oder ungenauer, als Abrissklüfte bezeichnet. Früher wurde oft allgemein von *tektonischen Höhlen* gesprochen, was nicht korrekt ist, da meist nur die ursprüngliche Anlage der Störung tektonisch ist, nicht aber der Öffnungsvorgang der zur Höhlenbildung führt. In Österreich ist keine durch tektonische Zugspannungen gebildete befahrbare Höhle nachgewiesen. Schöne Beispiele tektonischer Höhlen findet man z.B. auf Island.

Erosionshöhlen, Uferhöhlen und Brandungshöhlen

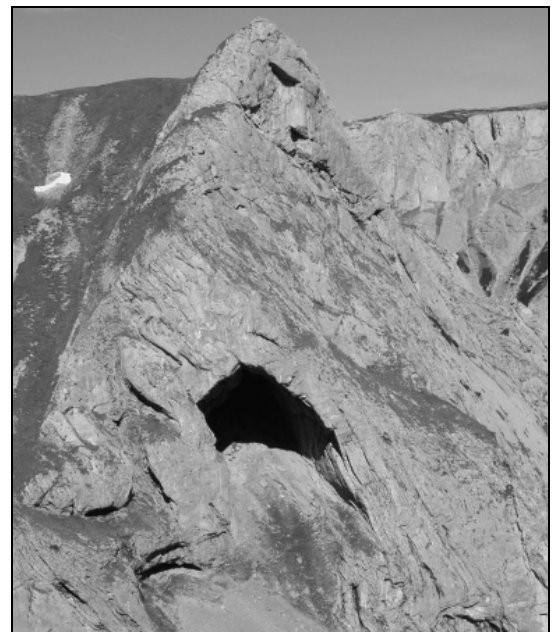
Im Bereich von Flüssen oder im Brandungsbereich von stehenden Gewässern bzw. des Ozeans können durch die erodierende Wirkung des bewegten Wassers Höhlen entstehen. Oft handelt es sich jedoch nur um Halbhöhlen.

Auswitterungs- bzw. Ausbruchshöhlen

Hierbei ist der wichtigste Mechanismus die Frostsprengung, die durch infiltriertes oder kondensiertes Wasser ausgelöst wird, sowie der meist gravitative Abtransport des Schuttes. Aufgrund der zweiten Bedingung kommen diese Höhlen hauptsächlich im geneigten bis steilen Gelände vor und stellen meist ansteigende Halbhöhlen dar. Objekte mit knapp 100 m Länge (Wetzsteinloch, 1744/12, Stmk) und ähnlicher Breite (Hornermauer-Riesendach, 1851/207, NÖ) sind bekannt. Diese Nicht-Karst-Höhlen machen sogar in etlichen Karstgebieten die Mehrzahl der Höhlen aus. Durch feinsplittrige Frostverwitterung entstehende runde Profile täuschen auf den ersten Blick Karstprozesse vor und machen so eine Erkennung nicht immer leicht. Da andererseits das Wasser, das die Frostsprengung fördert, meist durch kleine Fugen oder unbefahrbare Karströhren sickert oder fließt, ist teilweise ein Übergang zu den Karsthöhlen gegeben.

Überdeckungshöhlen

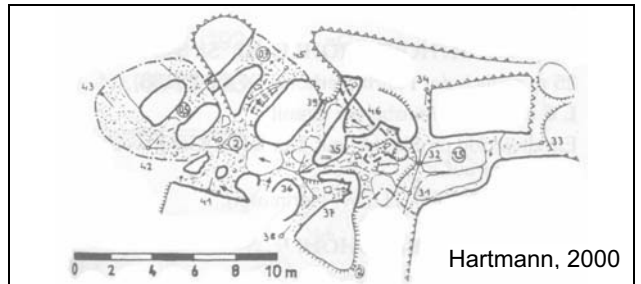
In den Ablagerungen von Massenbewegungen (Bergsturz, Felssturz) bleiben Lücken, die befahrbare Ausmaße haben können. Vor allem hier sind oft Übergänge zu den Spalthöhlen gegeben.



Das 40 m hohe und 30 m breite Portal des Wetzsteinlochs (Auswitterung von Tuffiten im Kern einer Falte im Grafensteigkalk).

Erosionsüberdeckungshöhlen und Wollsackhöhlen

Bei diesen beiden Typen werden große Blöcke durch Massenbewegungen oder die sog. Wollsackverwitterung, die vor allem im Granit wirkt (und z.B. die Wackelsteine formt), gebildet. Der Abtransport von Gesteinsmaterial erfolgt erosiv oder gravitativ. Die Mehrzahl der Höhlen im Granit der Böhmisches Masse gehört zu diesem Typ. Ein Beispiel für ausgedehnte Erosionsüberdeckungshöhlen im Granit sind die von einem Bach durchflossenen Obere und Untere Saubachlhöhle (6847/127 u. /128, NÖ), die zusammen über 500 m Ganglänge und je ca. 130 m Horizontaler Streckung aufweisen und die längsten Höhlen Österreichs nördlich der Donau darstellen.



Grundriss der Fahrthoferhöhle V (6845/181) – eine typische Erosionsüberdeckungshöhle im Weinsberger Granit.

Piping Höhlen

In schlecht verfestigten feinkörnigen Sedimenten wie Torf, Lehm aber vor allem im Löß (feinkörnige eiszeitliche Windablagerungen) können entlang von Initialfugen durch erodierende Wässer unterirdische Hohlräume entstehen. Sie sind oft raschen Veränderungen unterworfen. Teilweise bedingen auch menschliche Bauwerke die Bildung dieser Höhlen. In den Lößgedenden in Niederösterreich ist das ausgedehnteste Objekt das Wasserschloß (6846/12, NÖ) mit 38 m Länge und 10 m Höhenunterschied.



Durch Piping entstandener Schluf unterhalb des Ottentalschlingers (6846/14).

Vulkanische Höhlen und Lavahöhlen

Durch verschiedene Prozesse während der Bildung von Vulkanen können Höhlen entstehen (Primärhöhlen). Die bedeutendsten sind Lavahöhlen (*Lavatubes*), die durch das Ab- bzw. Ausfließen der Lava aus einem unter der erstarrten Oberfläche fließenden Lavastrom entstehen. Die zurzeit ausgedehnteste Lavahöhle (Kazumura Cave) auf Hawaii und hat 66 km Länge und 1101 m Höhenunterschied. In Österreich sind keine echten Lavahöhlen bekannt. Lediglich einige Höhlen in vulkanischen Gesteinen, die sekundär (nachträglich) durch gravitative Prozesse (Spalthöhlen) entstanden, sind bekannt.

Gletscherhöhlen

Unter und innerhalb von Gletschern bilden sich durch das Schmelzen und Sublimieren vom Eis Formen, die Karstformen sehr ähnlich und teilweise auch ausgedehnt sind. Diese entstehen an Spalten und Fugen im Eis und am Kontakt Eis-Fels.

Konsequenzhöhlen

Darunter versteht man Höhlen, die durch die Wechselbeziehung von menschlichen (z.B. Bergbau) und natürlichen Prozessen entstehen. Obwohl der Ursprung antropogen (menschengemacht) ist, entstehen durch anschließend natürliche Prozesse (z.B. Versturzvorgänge) Räume, die oft auch von gänzlich natürlichen nicht zu unterscheiden sind. Zumeist fanden diese Höhlen bisher keinen Eingang in den Höhlenkataster.

Für Mitteleuropa unbedeutende Nicht-Karst-Höhlen sind Winderosionshöhlen, blasenartige Hohlformen die durch die sog. Tafoni-Verwitterung in trockenen Gebieten entstehen, sowie Höhlen im Permafrost.

Weiterführende Literatur

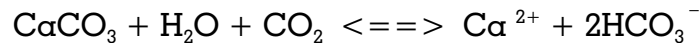
Striebl, T. (2005): Höhlenbildung in „nicht verkarstungsfähigen“ Gesteinen: welche Formen sind Karstformen? – Laichinger Höhlenfreund, 40 (1): 31-52.

Prozess der Verkarstung

Verkarstung und Höhlenbildung sind eng miteinander verknüpft. Im Folgenden soll kurz auf die Grundvoraussetzungen für die Verkarstung eingegangen werden. Da Karbonate (u.a. Kalk und Dolomit) die bedeutendsten Karstgesteine sind, wird nur auf diese genauer eingegangen.

Kalk und Dolomit

Die Lösung von Kalken (Korrosion) erfolgt nach der allgemeinen und vereinfachten Summenformel:



Im Detail laufen bei der Lösung von Kalken eine Vielzahl von chemischen und physikalischen Prozessen ab. Analog funktioniert auch die Lösung von Dolomit.

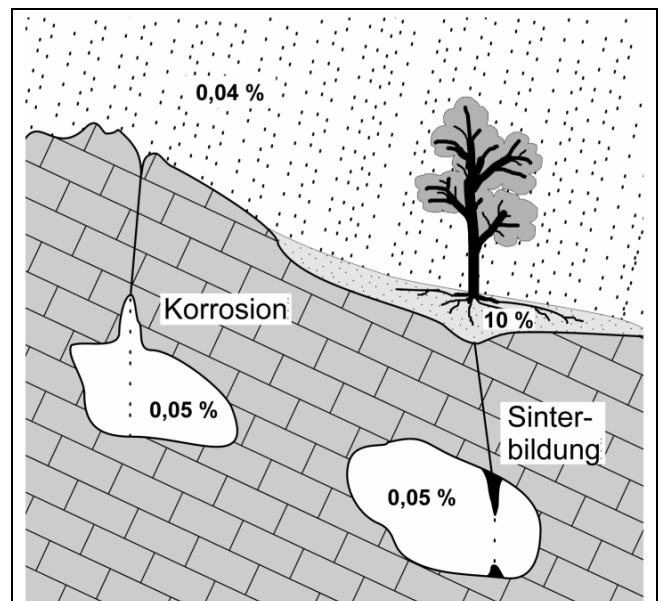
Wasser wird durch Lösung von Kohlendioxid zur Kohlensäure. Kohlensäurehaltiges Wasser löst den Kalk durch Bildung der Ionen Ca^{2+} und HCO_3^- . Es handelt sich um eine Gleichgewichtsreaktion (Doppelpfeil): Kommt auf der linken Seite CO_2 hinzu, kann zusätzlich Kalk gelöst werden (aggressives Karstwasser); Verliert das System CO_2 , wird Kalk z.B. als Sinter ausgeschieden (Wasser ist übersättigt).

Faktoren der Verkarstung

Aus obiger Formel kann man leicht erkennen, dass neben dem Vorhandensein von verkarstungsfähigem Gestein (Kalk bzw. Dolomit) auch Wasser und CO_2 wichtig sind. Somit spielt auch das Klima bei der Verkarstung eine wichtige Rolle.

Niederschlag muss ausreichend fallen. Aus diesem Grund gibt es in ariden (trockenen) Gebieten aber auch in Gebieten mit Permafrost kaum Verkarstung. Es kann aber in solchen Gebieten „alte“ Karsterscheinungen/Höhlen geben, die unter anderen Klimabedingungen entstanden sind.

CO_2 (genau genommen der CO_2 -Partialdruck oder $p\text{CO}_2$) ist in der Luft nur in sehr geringem Anteil vorhanden: 0,04 % (Genau: 375,6 ppm im Jahre 2003; Tendenz steigend). Es kann aber im Boden durch Bodenorganismen um das Hundertfache höher sein. Dies macht auch die großen Unterschiede zwischen nacktem und bedecktem Karst.



Beispiele für Korrosion oder Sinterbildung:

Fall Korrosion: Das Regenwasser mit dem atmosphärischen $p\text{CO}_2$ von rund 0,04 % kann nur wenig Kalk lösen. Trifft es auf einen Höhlenraum, wo der $p\text{CO}_2$ größer ist (im Beispiel 0,05 %), nimmt es CO_2 auf und kann Kalk lösen, wodurch z.B. ein Deckenkolk entsteht.

Fall Sinterbildung: Das Regenwasser nimmt im Boden, der einen $p\text{CO}_2$ von bis zu 10 % haben kann, reichlich CO_2 auf, wodurch es viel Kalk lösen kann. Kommt dieses in einen Höhlenraum mit deutlich geringerem CO_2 -Anteil fällt dieses aus und Kalk lagert sich als Sinter ab (s. MB Sinterbildung).

Gips und Salz

Die Lösung von Gips und Salz ist vom CO_2 -Angebot unabhängig. Sie ist nur von der Löslichkeit des Minerals im Wasser begrenzt. Da Gips westlich besser löslich ist als die oben beschriebenen Karbonate geht auch die Verkarstung im Gips um ein Vielfaches schneller. Salz ist so leicht löslich, dass es nur in ariden (trockenen) Gebieten oberflächlich vorkommt.

Verkarstungsfähige Gesteine

Karsthöhlen können nur entstehen, wenn das Gestein verkarstungsfähig, d.h. löslich ist. Das Auftreten von Karsthöhlen ist also an bestimmte Gesteine gebunden. Daher ist es hilfreich bei der Höhlensuche einen Blick auf die Geologische Karte zu werfen. Folgende Gesteine sind verkarstungsfähig:

Karbonate: Kalk CaCO_3 , Dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, Marmor – die bei weitem wichtigsten Karstgesteine (s.u.)

Sulfate: Gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Anhydrit CaSO_4 – in Österreich wenige bedeutende Höhlen, sehr ausgedehnte Systeme z.B. in der Ukraine mit mehreren 100 km Ganglänge!

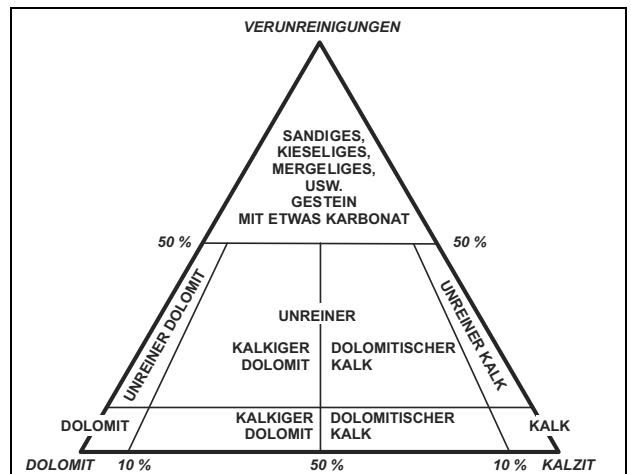
Für Österreich unbedeutend:

Salz: Steinsalz NaCl – in ariden (trockenen) Gebieten kann Salz an der Oberfläche erhalten bleiben, Salzkarst mit Höhlen gibt es z.B. in Israel nahe dem Toten Meer.

Quarzit: SiO_2 – verkarsten nur unter tropischen Klimabedingungen, bedeutende Höhlen gibt es z.B. in Venezuela und Südafrika.

Kalk - Dolomit

Eine Klassifikation der Karbonate liefert nebenstehendes Diagramm. Man kann sehen, dass es zwischen reinem Kalk und reinem Dolomit alle Übergangsformen gibt. Auch die Verunreinigung mit nicht karbonatischen Anteilen kann recht unterschiedlich sein. Hierbei ist zu beachten, dass bereits wenige % feinverteiltes Material (z.B. unlöslicher Quarzsand) die Höhlenbildung stark beeinträchtigt, da etwaige wasserwegsame Fugen mit diesen Lösungsrückständen verstopft werden. Einzelne unlösliche Hornsteinknollen wie sie in einigen Kalken vorkommen stören die Verkarstung nicht. Sie stehen oft markant aus der Höhlenwand heraus, da sie unlöslich sind.



Klassifikation der Karbonatgesteine.

Für den Höhlenforscher ist der Unterschied zwischen Kalk und Dolomit recht bedeutend, da bereits leicht dolomitischer Kalk wesentlich schlechter löslich ist als reiner Kalk. Somit ist Dolomit schlechter verkarstungsfähig und weist meist eine wesentlich geringere Höhlendichte auf als Gebiete im Kalk. Ausnahmen bestätigen wie immer die Regel!

Andererseits können sich am Kontakt von Kalk und Dolomit (wenn der Kalk über dem Dolomit liegt) bevorzugt Höhlen (Schichtgrenzhöhlen) entwickeln.

Wie unterscheide ich Kalk und Dolomit?

Das genaue Ca-Mg-Verhältnis eines Gesteines kann nur im Labor ermittelt werden. Eine grobe Einteilung kann im Gelände mit **Salzsäure** (HCl) vorgenommen werden. Man verwendet dazu rund 10-fach verdünnte Salzsäure (konzentrierte = 36%). Eine *frische* Bruchstelle wird vorsichtig betropft: schäumt die Säure auf handelt es sich um Kalk. Achtung: Auch Dolomit kann feine Äderchen von Kalzit aufweisen – genau beobachten ob nicht diese für das Schäumen verantwortlich sind.

Mit etwas Erfahrung kann man auch am Bruchmuster und an der Oberflächenstruktur eine grobe Einteilung treffen.

Marmor ist metamorpher (=kristalliner) Kalk, d.h. seine Struktur wurden bei einer Gebirgsbildung in großer Tiefe im Zuge einer Gesteinsmetamorphose unter großem Druck und Temperatur verändert. Genau genommen gibt es auch hier wieder Kalk- und Dolomitmarmore.

Entstehung von Karsthöhlen

Im Folgenden soll kurz auf die lange Entwicklungsgeschichte von wasserwegsamem Fugen, die Bruchteile eines Millimeters breit sind bis zu luffertfüllten für Menschen befahrbaren Höhlen eingegangen werden.

Welche Kräfte sind vorwiegend an der Bildung von Karsthöhlen beteiligt?

- **Korrosion:** chemische Lösung des Verkarstungsfähigen Gesteines.
- **Mechanische Erosion:** Erweiterung durch fließendes Wasser und seiner Sedimentfracht.

Weitere wichtige Prozesse

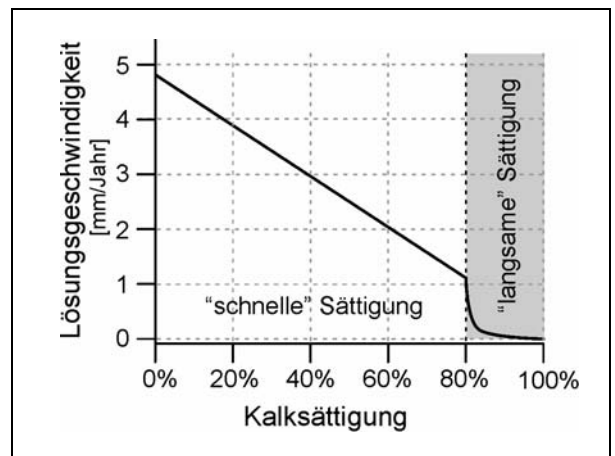
- **Versturzvorgänge** (Inkasion) tragen nicht nur zu einer Überprägung des Gangprofils bei, sondern beschleunigen auch die Lösung, da sie die Gesteinsoberfläche vergrößern.
- **Sedimentation:** Durch Ablagerung von Sediment (vor allem Lehm) kann es zur vollständigen Verfüllung von Gangprofilen kommen, wodurch das Wasser Umgehungsstrecken (Bypässe) erweitert. Ist nur der Boden mit Sediment bedeckt wird der Gangquerschnitt nach oben erweitert.

Entstehung von Höhlengängen

Neben dem Vorhandensein von Wasser mit Lösungspotential und der Löslichkeit des Gesteins ist die Existenz von wasserwegsamem Trennflächen eine Voraussetzung für die Entstehung von Karsthöhlen. Nur wenn es sog. Initialfugen gibt (man nimmt an, dass Öffnungsweiten von ca. 0,1 mm ausreichend sind), kann das Wasser in den Gebirgskörper eindringen und unterirdisch zu den Quellen fließen. Gibt es keine Fugen bleibt der Verkarstungsprozess auf die Oberfläche beschränkt. Entlang dieser Fugen bzw. bevorzugt an der Kreuzung zweier Flächen bildet sich durch Korrosion ein Netz von vielen kleinen Röhren (sog. Anastomosen). Durch Selbstverstärkungsprozesse (eine Röhre ist geringfügig größer → es fließt mehr Wasser → sie wird schneller erweitert als die anderen usw.) werden aber nur einige wenige auf Kosten der anderen zu größeren Gängen erweitert.

Aggressives (CaCO_3 untersättigtes) Wasser ist allerdings nach relativ kurzem Kontakt mit dem Gestein fast vollständig (zu 80 bis 90%) gesättigt und braucht dann lange um vollständige Sättigung zu erreichen. Deshalb geht die Höhlenbildung in der Anfangsphase extrem langsam voran. Erst wenn in einer Röhre auf die gesamte Strecke zwischen Versickerung und Quelle eine gewisse Fließgeschwindigkeit erreicht wird, kann weniger gesättigtes – also aggressiveres – Wasser auf der gesamten Länge den Gang „schnell“ erweitern.

Messungen und Modellierungen haben gezeigt, dass tieferliegende Höhlenteile fast ausschließlich bei Hochwassersituationen korrosiv erweitert werden. Nur dann kann das untersättigte Wasser aufgrund der erhöhten Fließgeschwindigkeit sehr schnell tief in die Höhlen eindringen. Mathematischen Modellierungen zufolge sind für die Aufweitung eines Ganges auf befahrbare Ausmaße mehrere 10.000 Jahre nötig.



Lösungsgeschwindigkeit von Kalken (nach Dreybrodt, 1997 verändert).

Tieferlegung der Karstwasseroberfläche

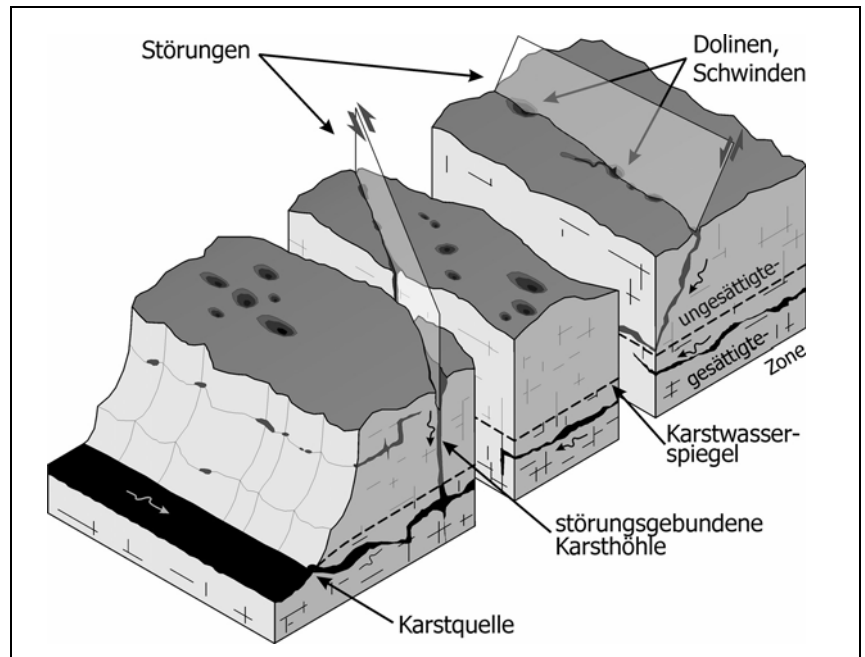
Während im Anfangsstadium der Verkarstung die Grenze der mit Wasser gesättigten Zone noch nahe der Oberfläche liegt, gleicht sich der Karstwasserspiegel durch die Entwicklung des unterirdischen Entwässerungsnetzes immer mehr dem Niveau der umgebenden Flüsse (Vorfluter) an. Auch bei gut verkarsteten Gebieten darf man sich den Karstwasserspiegel jedoch nicht als horizontale Fläche vorstellen, sondern vielmehr als eine aufgewölbte Oberfläche (piezometrisches Niveau), die auch starken Schwankungen (Hochwasser, Schneeschmelze...) unterworfen ist.

Vor allem die Erforschung von Schächthöhlen mit tiefgelegenen Siphonen hat zum Wissen über die Wasserverhältnisse in Karstplateaus entscheidend beigetragen.

Vadose und phreatische Zone

Der unterhalb der Karstwasser-oberfläche liegende, mit Wasser gesättigte Bereich wird phreatische Zone genannt. In der darüber befindlichen ungesättigten, sog. vadosen Zone gibt es auch Gerinne, die der Schwerkraft entsprechend nach unten in die phreatische Zone fließen. Im Schwankungsbereich des Karstwasserspiegels besteht eine Übergangszone (epiphreatische Zone). Auch in der vadosen Zone können, z.B. aufgrund von wasserstauenden Schichten oder vordefinierten Abflusswegen lokale Siphone auftreten.

Abgesehen von der Befahrungstechnik – in die phreatische Zone können nur Höhlentaucher in eher geringe Tiefen vordringen – hat diese Zweiteilung auch auf die Entwicklung der Höhle großen Einfluss, die sich auch oft sehr deutlich in der Ausprägung der Höhlenteile widerspiegelt.



Schematisches Blockdiagramm eines Karstmassivs.

Literatur:

Klimchouk, A., Ford, D., Palmer, A. & Dreybrodt, W. (2000): **Speleogenesis, Evolution of Karst Aquifers**. Huntsville – National Speleological Society. Sehr umfangreiches tw. anspruchsvolles Werk. Gute Englischkenntnisse und geologische Grundkenntnisse sinnvoll (ISBN- 1-879961-09-1, www.caves.org).

Kempe, S. (1997): **HB-Bildatlas – Sonderausgabe 17 (1997)**. HB-Bildatlas – Sonderausgabe 17. Leicht verständlicher Artikel über Höhlenbildung von W. Dreybrodt, einem der Begründer der neuesten Modelle zur Höhlenentstehung.

www.speleogenesis.info Online-Journal mit Beiträgen zur Höhlenentstehung (englisch).

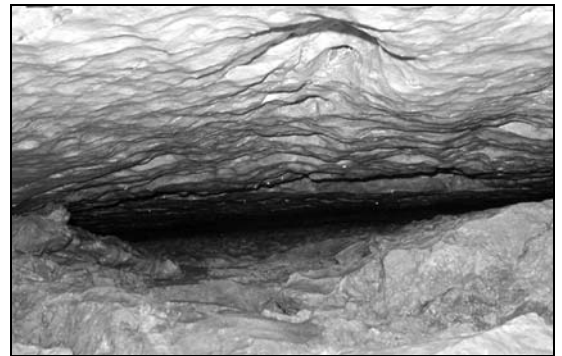
Raumprofile in Höhlen

Wenn wir die Gangprofile und den Verlauf eines Höhlenabschnittes betrachten, so ist es oft möglich auf seine Entstehungsgeschichte rückzuschließen. Auch bei der Suche nach Neuland kann es sehr hilfreich sein, sich Gedanken über die Genese zu machen. So wird es sich wahrscheinlich auszahlen, in einem Canyonschacht nach Schachtfenstern zu suchen, wenn dieser das „Ende“ eines phreatischen Tunnels bildet.

Phreatische und Epiphreatische Profile

Bei völliger Wassererfüllung kann das Profil nach allen Richtungen gleichmäßig erweitert werden. Inhomogenitäten im Gestein (wie leichter lösliche Schichten oder Trennflächen) werden nachgezeichnet und führen dabei oft zu charakteristischen Formen. Da das Wasser nicht der Schwerkraft folgt, können phreatisch entstandene Gänge ihr Gefälle wechseln. Sie können auch senkrecht ausgebildet sein, obwohl die meisten Schächte unter vadosen Bedingungen entstehen.

Den Schwankungsbereich des Karstwasserspiegels nennt man epiphreatische Zone. In manchen Höhlen konnte nachgewiesen werden, dass vor allem in diesem Bereich Höhlenbildung stattfindet.



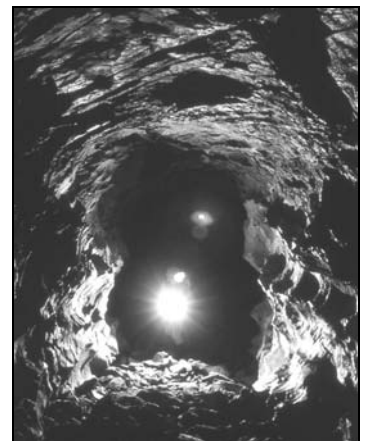
Phreatisch erweiterte Störung mit ~10 cm Höhe (Wasseralmquelle 1851/216, NÖ).



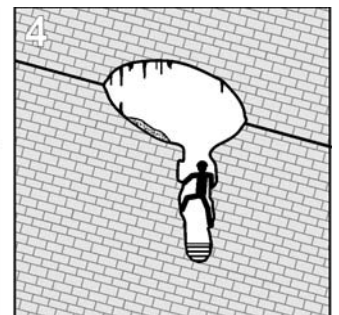
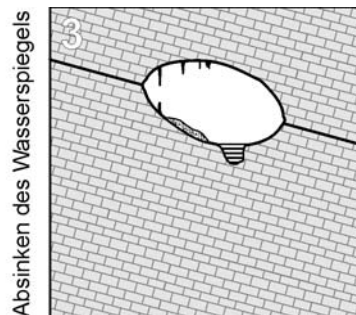
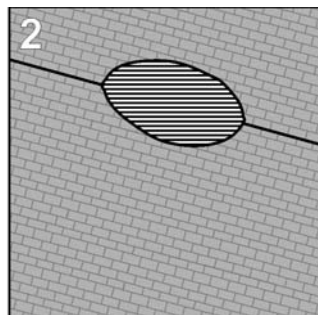
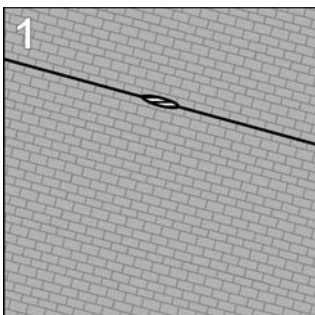
Schichtgebundene phreatische Röhre mit kleinen Fließfacetten (Trobachhöhle, 1836/27, NÖ, E. Herrmann).



Schichtgebundene phreatische Röhre (Dachstein-Mammuthöhle, 1547/9, OÖ).



Phreatischer Gang mit großen Fließfacetten (Trobachhöhle, 1836/27).



Absinken des Wasserspiegels

Eine wasserwegsame Initialfuge (1) wird unter phreatischen Bedingungen nach allen Richtungen erweitert (2) und fällt durch Absinken des Karstwasserspiegels trocken. Ein vadoser Bach / Canyon schneidet sich am Boden des Profils ein (3) und es kommt zur Ausbildung eines Schlüssellochprofils (4).

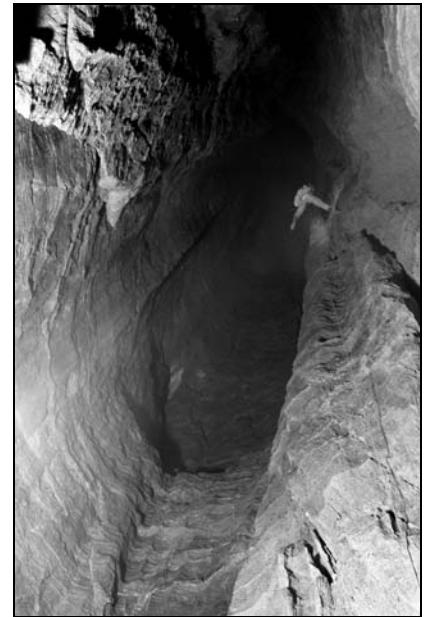
Vadose Profile

Profile, die unter teilweiser Wassererfüllung entstanden, sind meist als Canyons ausgebildet. Hier schneidet sich das Gerinne der Schwerkraft entsprechend ein, wodurch hohe schmale Passagen entstehen. Es kann keine Gegenanstiege der Sohle geben! Typisch für Canyons ist auch die Ausbildung von Mäandern - das schnell fließende Wasser neigt nämlich dazu S-Kurven zu modellieren.

Kann das Wasser entlang von vertikalen Trennflächen in die Tiefe stürzen, bilden sich Schächte aus. Diese haben oft wesentlich größere Dimensionen als ihre Zu- und Abflüsse, wie in vielen alpinen Höhlen zu beobachten ist. Durch den größeren CO₂ Austausch und die verstärkte Erosionskraft kann hier mehr Gestein abtransportiert werden.



Vadoser Canyon mit Erweiterung bei kleinem Abbruch. (Seekarschacht III, 1712/33, Stmk., A. Klampfer)



Vadoser Schacht (Slovačka Jama, Velebit, KRO, A. Stroj).

Das Schlüssellochprofil

Oft schneiden sich in vorhandene phreatisch entstandene Gänge vadoso Canyons ein, wodurch es zur Ausbildung eines schlüssellochförmigen Profils kommt. Dies muss nicht das ehemals phreatische Gerinne nach der Tieferlegung des Karstwasserspiegels sein. Meist kann man beobachten, dass junge Canyons alte phreatische Gänge mehr oder weniger zufällig anschneiden und diese auf eine bestimmte Länge benutzen, um sie dann wieder entlang einer wasserwegsamem Fuge zu verlassen. Zwischen diesen zwei wasseraktiven Phasen können beachtliche Zeitspannen liegen.

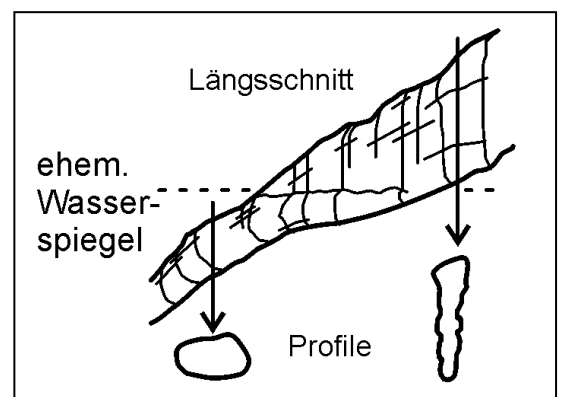


Schlüssellochprofil: Phreatische Röhre mit 20 m tiefem Canyoneinschnitt (Dachstein-Mammuthöhle 1547/9).

Übergang Canyon-Röhre

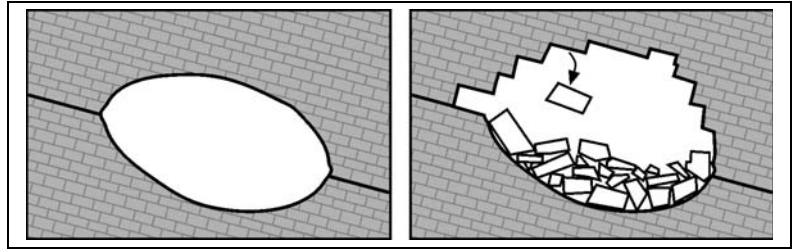
Für die präzise Erfassung von Höhlenniveaus sind besonders Punkte wichtig, wo man den Übergang von einem Canyon- zu einem Röhrenprofil erkennt, da diese die Lage ehemaliger Wasserspiegel anzeigt.

Übergang von vadosem Mäander in eine phreatische Röhre.



Überprägung der Profile durch Versturzvorgänge

Durch Versturzvorgänge kann es zu einer Veränderung des Profils kommen. Dies kann soweit führen, dass von den ursprünglichen durch Wasser entstandenen Formen nichts mehr zu erkennen ist. Zu beachten ist, dass sich dabei der Gang nach oben verlagert.



Überprägung eines phreatischen Profils durch Versturzvorgänge.

Typische Profile, die durch Versturzvorgänge entstehen, sind Kasten- und Tonnenprofile wobei die Trennflächendichte (meist Schichtmächtigkeit) ausschlaggebend für die Gestalt ist. Auch die meisten größeren Hallen sind durch Versturz maßgeblich erweitert worden. Kennzeichnend für Versturzvorgänge sind natürlich die autochthonen, nicht gerundeten Blöcke am Höhlenboden. Oftmals sind diese aber wieder entfernt und die Erkennung ist schwierig.



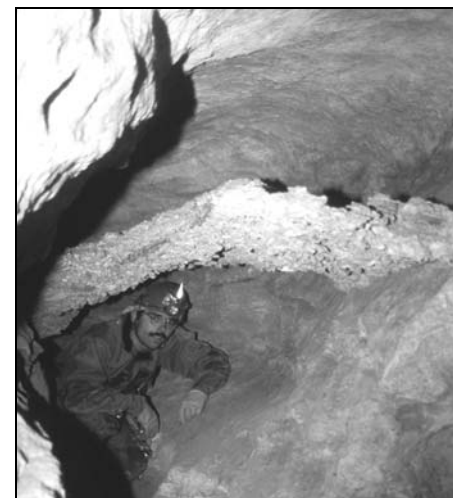
Durch Versturzvorgänge geprägter Raum im gebankten Dachsteinkalk. (Bärwies-Eishöhle, 1812/11, Stmk., *W. Hartmann*).



Versturzgeprägte Halle mit relativ ebener Decke. Das autochthone Blockwerk bedeckt den gesamten Boden (Grauer Riese 1625/391, Totes Gebirge, Stmk.).

Problematik bei der Zuordnung von Gangprofilen zu einem Genesetyp

Da die meisten Höhlen eine vielphasige Entstehungsgeschichte aufweisen, werden die Profile mehrmals überprägt, was die Entschlüsselung der einzelnen Phasen oft schwierig macht. Außerdem können Verbruchvorgänge oder Sedimenterfüllung die genetische Interpretation erschweren oder verunmöglichen.



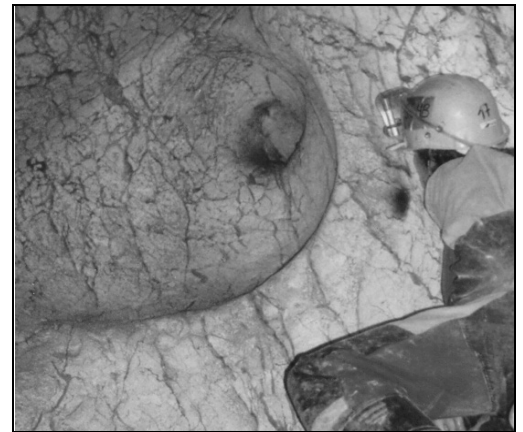
Eine Konglomerat-Bogen zeigt eine vielphasige Entstehungsgeschichte (Burgunderschacht, 1625/20, Stmk.).

Kleinformen in Höhlen

Kleinformen in Höhlen können als Indikatoren für die Entstehungsbedingungen des jeweiligen Höhlenteiles herangezogen werden. Im Folgenden werden die wichtigsten in unseren Höhlen vorkommenden hydrischen Formen beschrieben.

(Decken-) Kolke

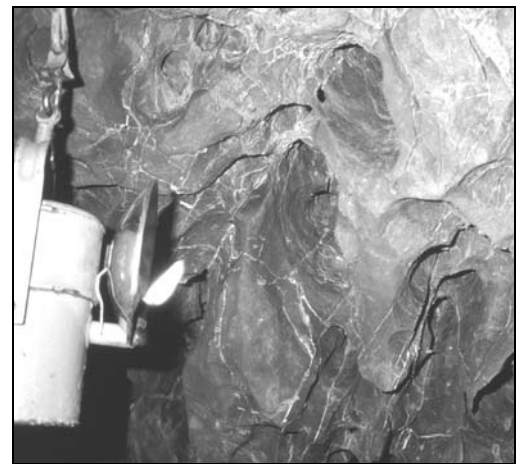
Runde, glocken- bzw. kuppelförmige Vertiefungen bis hin zu kleinen Schloten. Typische phreatische Bildungen, wo entlang einer Trennfläche punktförmig oder linear ein geringer Wasserzutritt erfolgte. Durch Mischung zweier unter unterschiedlichen Bedingungen aufgesättigter Wässer ist verstärkte Lösung möglich („Mischungskorrosion“).



Kolk an Höhlenwand (C.Probst)

Wasserstandsmarken

Horizontale Kehle in der Höhlenwand. Entstanden entlang der Oberfläche stehender Gewässer, da an der Wasseroberfläche unter bestimmten Bedingungen verstärkt Korrosion stattfinden kann.



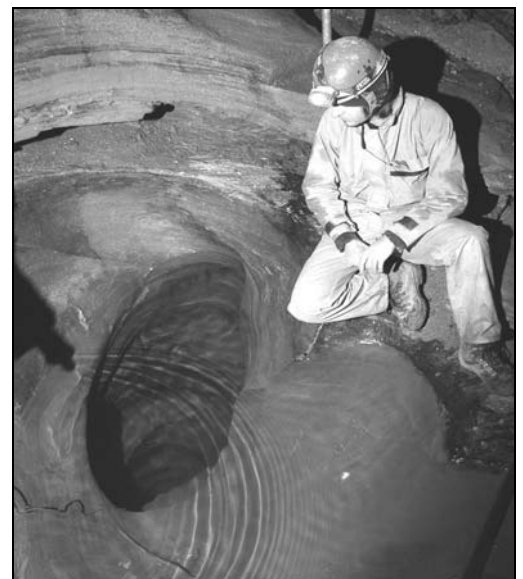
Kleine Deckenkolke (möglicherweise hydrothermal entstanden, Altenburgerhöhle 2921/23, NÖ).

Karrenbildungen

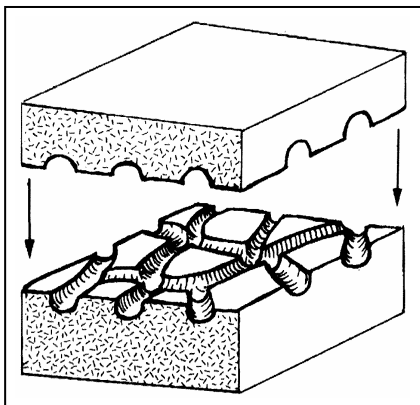
Verschiedene unter vadosen oder epiphreatischen Bedingungen entstandene Formen, die teilweise den Oberflächenformen ähneln. Die häufigsten sind Rinnenkarren, die unterhalb einer wasserführenden bzw. wasserspeichernden (bei schwankendem Wasserspiegel) Trennfläche ausgebildet sind.

Bodenkolke, Strudeltöpfe

Zylindrische Eintiefungen mit bis zu einigen Metern Tiefe in der Gangsohle. Enthalten oft noch die gerundeten Steine, die für ihre Entstehung verantwortlich waren. Sie sind kennzeichnend für Passagen mit hohen Fließgeschwindigkeiten. Sie entstehen durch die bohrende Wirkung von rotierenden Steinen und zählen somit zu den erosiven Formen. Ähnliche Formen (Gesteins- und Gletschermühlen) gibt es auch an der Oberfläche.



Mit Wasser gefüllter Bodenkolk (Spannagelhöhle, Tirol).



Anastomosen an einer Trennfläche (aus Lauritzen & Lundberg, 2000).

Anastomosen

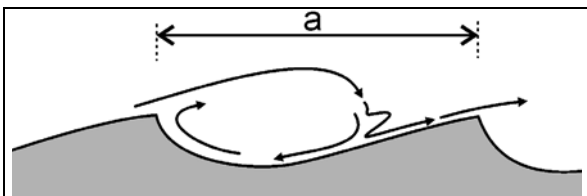
Röhren mit einigen cm bis dm Durchmesser entlang der Initialfuge. Entstanden unter phreatischen Bedingungen in einem frühen Stadium der Höhlenentstehung, bevor sich ein Hauptwasserweg (der heutige Höhlengang) „auf Kosten“ vieler Anastomosen entwickeln konnte.

Deckenkarren, Deckenmäander

Phreatische Formen an der Höhlendecke. Es gibt mehrere Entstehungsmöglichkeiten: Teilweise handelt es sich um den oberen Teil von Anastomosen, die durch Herabbrechen des unteren Gesteinspaketes freigelegt wurden. Viele Formen entstanden durch sog. Paragenese (siehe nebenstehende Abbildung), wenn sich in einem völlig mit Sediment verfüllten Gang zwischen der Höhlendecke und dem Sediment neue Wasserwege ausbilden, wobei das Wasser nur korrosiv wirksam ist und die Strömungsenergie nicht ausreicht um das Sediment zu erodieren. Die Formen werden freigelegt, wenn in einer späteren Phase das Sediment wieder ausgeräumt wird. Paragenese ist in alpinen Höhlen wegen ihrer vielphasigen Entwicklungsgeschichte sehr häufig zu beobachten.

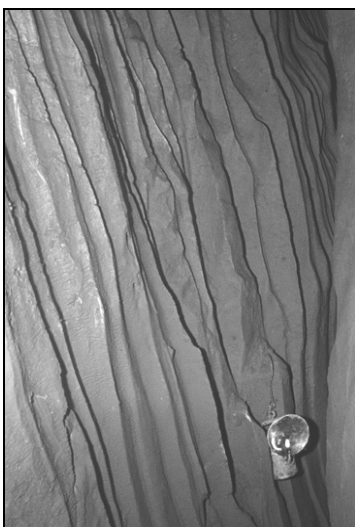
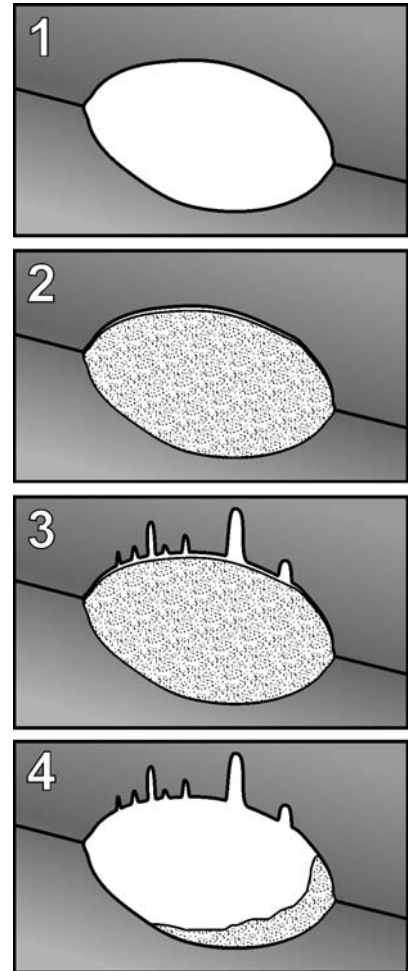
Fließfacetten

Flächenhaft angeordnete asymmetrische Näpfchen. Die Asymmetrie zeigt die Fließrichtung des Wassers an (siehe Abb.). Die Länge (a) ist indirekt proportional zur Fließgeschwindigkeit, wodurch über den Gerinnequerschnitt die Durchflussmenge berechnet werden kann. Ähnliche Formen können auch im Höhleneis beobachtet werden.

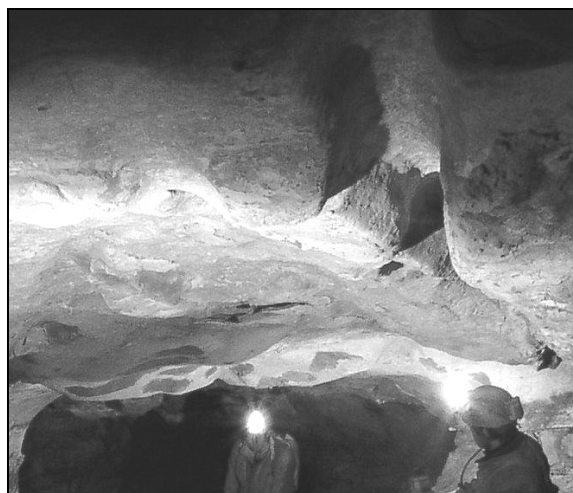


Längsschnitt einer Fließfacette mit Fließwegen des Wassers. „a“ ist die Länge der Fließfacette.

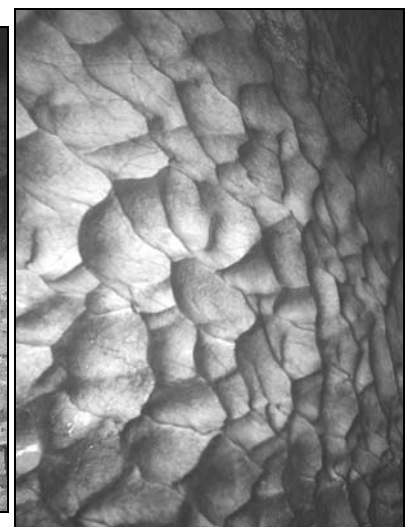
Paragenese: Ein Gang (1) wird mit Sediment verfüllt (2). Zwischen diesem und der Decke entstehen Wasserwege (Deckenmäander bzw. -karren) durch Korrosion (3). Das Sediment wird wieder ausgeräumt (4).



Rinnenkarren an einer Höhlenwand (Trockenes Loch, 1836/34, NÖ, W. Hartmann).



Paragenetische Deckenmäander (Grauer Riese 1625/391, Totes Gebirge, Stmk.).



Fließfacetten mit durchschnittlich 10–15 cm Länge. Fließrichtung von links nach rechts (Trockenes Loch, 1836/34, NÖ).

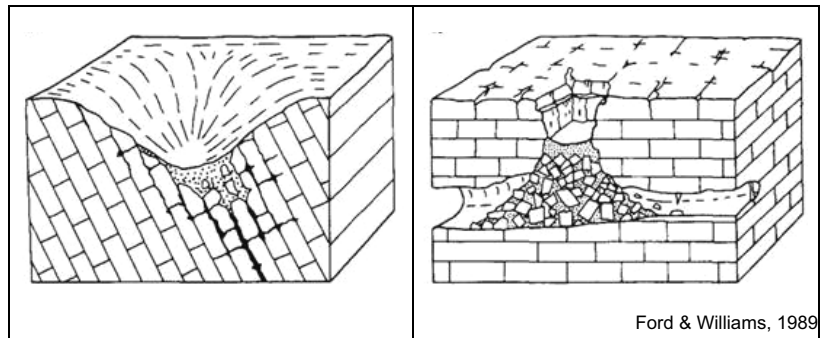
Oberflächen Karstformen – Großformen

Karstlandschaften weisen verschiedene typische Oberflächenformen auf. Der Höhlenforscher sollte diese Formen erkennen, da sie einerseits helfen Karstlandschaften bzw. gut verkarstungsfähige Gebiete als solche zu erkennen und andererseits oft in Zusammenhang mit der Höhlenentwicklung stehen und somit Aufschluss über mögliche unterirdische Karstformen geben können.

Karsthohlformen

Dolinen

Dolinen sind besonders charakteristische Formen von Karstlandschaften. Es sind einfache meist rundlich-ovale schüssel-, trichter- oder zylinderförmige (schachtartige) Hohlformen mit unterirdischem Abfluss. Ihr Durchmesser reicht von wenigen Metern bis zu über 1000 m. Auch die Tiefe kann 100 m weit übersteigen. Nach ihrer Entstehung unterscheidet man generell Lösungsdolinen, wo ein langsamer Verkarstungsprozess die Hohlform bildet, und Einsturzdolinen, bei denen unterirdische Hohlräume plötzlich einstürzen. Die Unterscheidung zwischen diesen Typen ist nicht immer einfach.



Lösungsdoline

Einsturzdoline

Nach ihrer Form kann man folgende Typen unterscheiden (nach Fink, 1973):



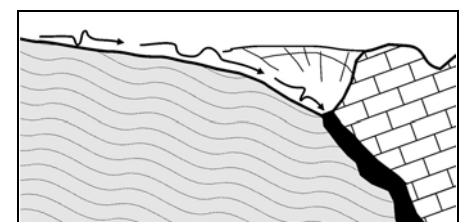
Trichterdoline

Wannendoline

Muldendoline

Schachtdoline

Ponordolinen sind Hohlformen, in die ein permanentes oder temporäres Gerinne eintritt. Prinzipiell haben aber alle Lösungsdolinen die Eigenschaft, dass sie Wasser punktuell in den Karst infiltrieren und dadurch sind unterhalb der meisten Formen größere Wasserwege, also befahrbare Höhlen, ausgebildet. Oft sind diese aber durch nachrutschenden Schutt und eingeschwemmten Lehm verstopft. In etlichen Formen konnten schon großräumige Höhlen ergraben werden.



Ponordoline mit Höhle am Kontakt von Karst- und Nicht-Karst-Gestein.

Schacht oder Doline?

Bei Schachtdolinen wird für die Einteilung das Verhältnis von Durchmesser zu Tiefe herangezogen. Ist der Durchmesser größer als die Tiefe, wird die Form als Doline bezeichnet, ist er kleiner als Schacht. Natürlich gibt es im Grenzbereich Übergangsformen.

Uvalas

Uvalas sind größere unregelmäßige Hohlformen, die aus mehreren Hohlformen (Dolinen) zusammengesetzt sind. Im alpinen Raum ist eine weitere Unterteilung sinnvoll:

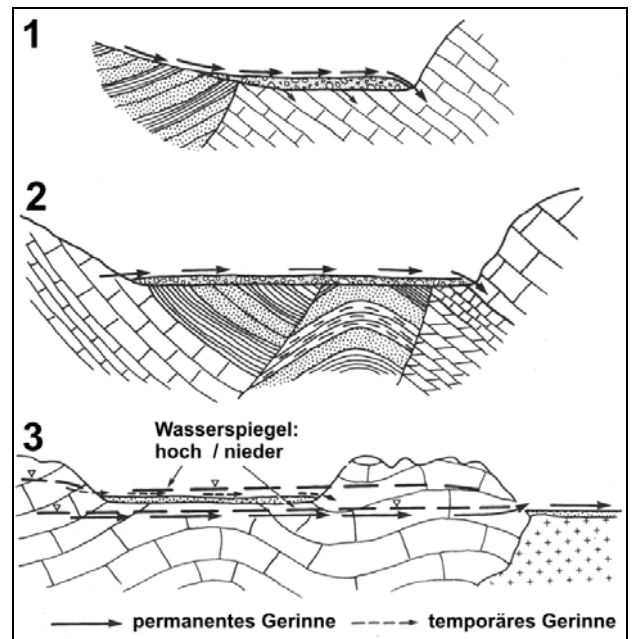
Karstmulden: Große geschlossene Karsthohlformen mit unregelmäßigem Boden, der oft von Dolinen weiter untergliedert wird.

Karstwannen: Große geschlossene schüsselförmige Karsthohlformen mit ebenem, meist durch Lehme abgedichtetem Boden, der sich mit scharfem Knick, der tw. von kleinen Dolinen nachgezeichnet wird, von den Seitenflanken absetzt.

Poljen

Ein Polje (das Polje) ist eine große (mehrere 100 m Durchmesser) geschlossene Karsthohlform, die Wasserzutritte aufweist und von Oberflächengerinnen durchflossen wird. Der flache Boden kann als „normale“ fluviale Landschaft betrachtet werden, während die steileren Flanken verkarstet sind. Die Wasserläufe können auch temporär sein, wobei die Gerinne an Ponoren (Schwinden) wieder in den Karst eintreten. Bei großem Wasserangebot kann es zur Überflutung des Poljes kommen. Mehrere Bedingungen können zur Ausbildung dieser Karsthohlform führen (siehe nebenstehende Abb.):

1. **Grenzpolje:** Sedimentschüttungen aus nicht verkarsteten Gebieten können den Boden abdichten.
2. **Strukturpolje:** Aufgrund tektonischer Gegebenheiten kann die Basis aus wasserstauenden Gesteinen aufgebaut sein.
3. **Vorfluterpolje:** Der Boden entspricht dem Niveau des Vorfluters und hat kein Erosionspotential mehr.



Typen von Poljen (aus Ford & Williams, 1989).

Da an den Schwinden oft große Wassermengen infiltrieren, bestehen besonders gute Chancen, dass großräumige Höhlen ausgebildet sind. Diese sind aber oft verstopft.

Polygenetische Hohlformen

In den Alpen gibt es oft Hohlformen, deren Entstehung neben Verkarstung auch auf Gletscher-Erosion zurückzuführen ist.

Lineare Karstformen

Trockentäler

Dies sind nicht mehr wasseraktive Täler im Karst. Oft zeigen Dolinen oder Ponore, dass kein durchgehender Wasserlauf mehr möglich ist. Ihre Entstehung geht auf eine Zeit zurück, wo die Verkarstung noch nicht so entwickelt war und es noch Oberflächengerinne gegeben hat oder durch Permafrost die Infiltration in den Karst nicht möglich war.

Karstgassen

Sind mehrere Meter bis Zehnermeter breite und um ein Vielfaches längere geradlinige Gräben mit meist steilen Wänden. Das Gefälle muss nicht gleichsinnig sein und der Boden kann von Dolinen und Schächten durchsetzt sein. Sie entstehen entlang von Störungszonen.

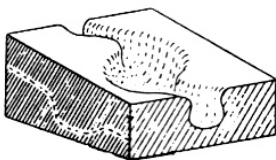
Oberflächen Karstformen – Kleinformen

Karren

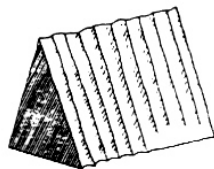
Karren sind korrosiv entstandene Kleinformen der Karstlandschaft. Die alpinen Typen können folgendermaßen eingeteilt werden:

	Neigung	freier Abfluss		gebundener Abfluss
		flächige Korrosion	lineare Korrosion	strukturgebundene Korrosion
Freie Felsfläche (Nackter Karst)	flach	Skulpturformen	Karrenbecken (=Kamenica) Trittkarren	freie Strukturkarren (scharfgratige Korrosionsformen an lithologischen Trennflächen)
	steil		Grübchenkarren Firstrillenkarrn	
Bodenbedeckte Felsfläche (Bedeckter Karst)	flach	flächige Korrosion ohne spezielle Karrenformen	freiliegend gebildete Rinnenkarren	subkutane Strukturkarren (gerundete Korrosionsformen an lithologischen Trennflächen)
	steil			
			mäandrierende Rinnenkarren (± in Falllinie)	
			mäandrierende Rund- und Hohlkarren (± in Falllinie)	

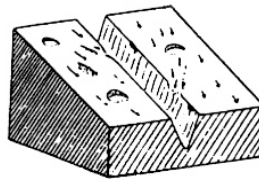
Besonders die Differenzierung von Formen, die ohne Bodenbedeckung entstanden sind und subkutan (unter einem Boden) gebildeten Karren, lässt Rückschlüsse auf die Vegetationsbedeckung während der Genese zu.



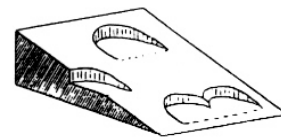
Rundkarren



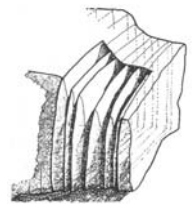
Firstrillenkarrn



Rinnenkarren



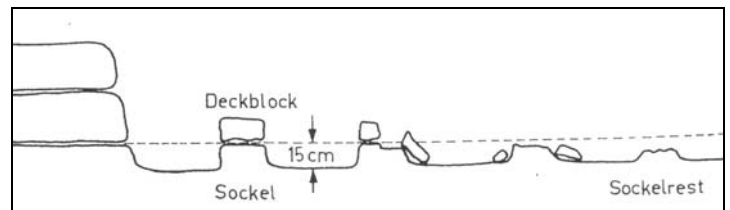
Trittkarren



Strukturkarren

Karsttische (Karrentische)

Karsttische sind Sockel unter Felsblöcken, die entstehen, wenn die Umgebung durch die Korrosion des Niederschlagswassers abgetragen wird, aber unter dem Felsblock kein Niederschlag fällt. Geht man in glazial überformten Gebieten davon aus, dass die Lage der Blöcke seit dem Eisrückzug unverändert ist, dann entspricht die Höhe des Sockels dem Karbonatabtrag in dieser Zeitspanne.



Karrentische nach Bögli, 1978

Karstgebiete Österreichs

In der nachfolgenden Karte ist – in schwarzer Farbe unterlegt – überblicksartig die Verbreitung der verkarstungsfähigen Gesteine (nicht der Höhlengebiete!) – insgesamt rund 21 % des österreichischen Staatsgebietes – ausgewiesen. In diesen überwiegend karbonatischen Gesteinen finden sich naturgemäß die meisten der derzeit knapp 14 000 Höhlen Österreichs. Doch auch außerhalb dieser Zonen konnten und können immer wieder bedeutende Höhlen entdeckt werden.

Der Nordosten Österreichs hat einen flächenmäßig erheblichen Anteil am **Südböhmischen Kristallin**, das durch Mühl-, Wald- und (teilweise) das Weinviertel repräsentiert wird. Verkarstungsfähige Gesteine (hauptsächlich Marmor) finden sich hier nur sehr selten, die Höhlen sind zumeist rein tektonisch entstanden oder auch als teilweise recht ausgedehnte Blockhöhlen in Nichtkarstgesteinen (z.B. Granit) entwickelt.

In den **Beckenlandschaften** (z.B. Wiener Becken) gibt es gesteinsbedingt nur recht wenige Höhlen, die dann zumeist in verfestigten Konglomeraten und jungtertiären Kalken (z.B. Leithakalk) entwickelt sind. Auch die südlich anschließende **Molasse**- und die **Flyschzone** sind materialbedingt äußerst höhlenarm, wiewohl auch nicht wirklich hinreichend untersucht.

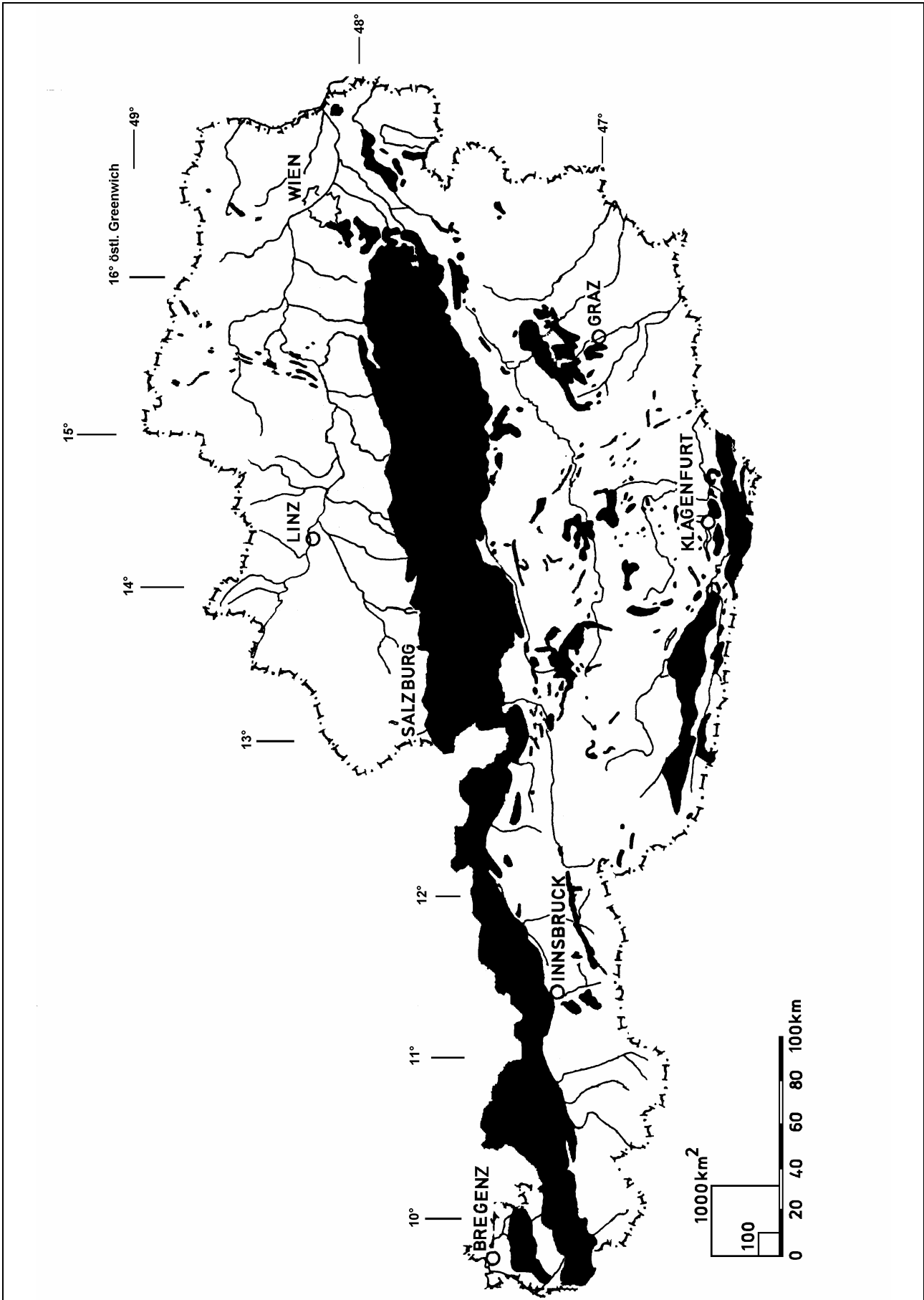
Im **Helvetikum** bzw. **Ultrahelvetikum** trifft man im vor allem im Westen Österreichs, in Vorarlberg, auf einen breiten Bereich bedeutender und höhlenreicher Karstgesteine jurassisch-kretazischen Alters (z.B. Schrattekalk)

In den **Nördlichen Kalkalpen**, wo sich der flächenmäßig weitaus größte (und die nachstehende Abbildung auch entsprechend dominierende) und vielfach zusammenhängende Bereich verkarstungsfähiger Gesteine befindet, dominieren triassische Karstgesteine, vor allem Dachsteinkalk, in dem die weitaus größten Höhlensysteme entwickelt sind und der hauptsächlich im östlichen Bereich der Nördlichen Kalkalpen verbreitet ist. Daneben sind exemplarisch Wettersteinkalk und -dolomit sowie Hauptdolomit zu nennen. Alle genannten Gesteine können Mächtigkeiten von 1000 Metern und mehr erreichen. Die Dolomitgesteine sind zwar als Höhlenmuttergesteine aufgrund ihrer gesteinsmechanisch bedingten Brüchigkeit relativ wenig bedeutend, als Karstwasserspeicher jedoch durchaus von erheblicher Relevanz für die Trinkwasserversorgung im alpinen Raum. Die geringer mächtigen jurassisch-kretazischen Karstgesteine sind in den Nördlichen Kalkalpen zwar oftmals bereits der Erosion zum Opfer gefallen, jedoch als Träger des Karstphänomens mancherorts von durchaus regionaler Bedeutung (z.B. Plassenkalk, Oberalmer Schichten).

Die **Zentralalpen** erscheinen auf den ersten Blick für die Höhlenbildung weniger prädestiniert, doch findet sich hier eine überraschende, wenngleich oft kleinräumige Vielfalt an meist metamorphen Karbonaten (Marmoren), die in weiten Bereichen noch einer genauen karstkundlichen Untersuchung harren. In den tektonisch höheren Bereichen der Zentralalpen zeigen sich dabei durchaus Verwandtschaften der triassischen Schichtfolgen mit jener der Nördlichen Kalkalpen – so etwa in den Niederen Tauern. In den Hohen Tauern indessen finden sich bedeutende Karst- und Höhlengebiete hauptsächlich in den jurassischen Hochstegen- und Klammkalken.

Im Südosten des Bundesgebietes liegt mit dem **Grazer Paläozoikum** der größte zusammenhängende Bereich von schwach metamorphen Kalken devonischen Alters (z.B. Schöcklkalk), wo eine große Zahl bedeutender und überaus tropfsteinreicher Höhlen beheimatet ist.

Die **Südlichen Kalkalpen** (Nordkarawanken, Dobratsch, Lienzer Dolomiten) und die **Südalpen** (Karnische Alpen, Südkarawanken), sind durch die „Periadriatische Naht“, eine gewaltige, hunderte Kilometer lange Bewegungsfläche getrennt. Hier gibt es sowohl recht mächtige Karstgesteine aus der Trias (untergeordnet auch aus dem Jura), als auch aus dem Paläozoikum, das vor allem in den Südalpen größere Mächtigkeiten erreicht (z.B. Trogkofelkalk).



Die verkarstungsfähigen Gesteine in Österreich (Grundlage: Geologische Karte der Republik Österreich. Entwurf: Günter Stummer).

Zeitliche Einstufung wichtiger verkarstungsfähiger Gesteine

Oft ist es für den Höhlenforscher sinnvoll sich mit der Geologie des Gebietes, in dem er seine Forschungen betreibt, auseinander zu setzen. Geologische Karten und Beschreibungen bzw. die Kenntnis der Gesteine helfen bei der Suche nach neuen Höhlen oder unter anderem auch bei der Beurteilung des Forschungspotentials einer Höhle. Außerdem sollte eine gute Höhlendokumentation die Angabe des (der) Gesteins(e), in dem sich die Höhle befindet, beinhalten.

Die geologische Zeittafel auf der folgenden Seite soll dabei helfen, sich bei geologischen Beschreibungen, bei denen die einzelnen Schichten meist in chronologischer Reihenfolge behandelt werden, zurechtzufinden.

Stratigraphie und Geochronologie

Die für die Darstellung der 4,6 Ga (Milliarden Jahre) Erdgeschichte notwendige zeitliche Gliederung liefern uns die Stratigraphie und die Geochronologie. Die Stratigraphie gibt eine hierarchisch gegliederte relative Einteilung von den großen Abschnitten bis hin zu den kleinen (z.B. Stufen).

Die absoluten Alter liefert uns die Geochronologie mit ihren unterschiedlichsten Datierungsmethoden. In der Zeittafel wurden die Alter der Stufen in Ma (Millionen Jahren) angegeben – diese können aber in den verschiedenen Publikationen - je nach Forschungsstand – etwas variieren. Die Darstellung der Zeit ist natürlich nicht maßstäblich. Maßstäblich dargestellt würde z.B. das Quartär mit rund 2 Ma nur ca. 0,5% auf der Zeitachse ausmachen.

Es muss festgehalten werden, dass diese Gliederungen nicht weltweit gültig sind. So gilt die in der Zeittafel angegebene Serien und Stufengliederung der Trias nur für den alpinen Raum und die des Tertiärs nur für das Wiener Becken.

Bei den Beispielen für die Gesteine, die in der jeweiligen Zeit abgelagert wurden, sind einige für Höhlenforscher wichtige Vertreter ausgewählt, ohne die Zugehörigkeit zu ihrem Ablagerungsraum zu berücksichtigen. Sie dürfen also nicht als Schichtfolge gelesen werden!

Bei den Höhlen wurden einige bekannte Objekte angeführt, die in diesen Gesteinen entwickelt sind.

Literatur:

Faupl, P. (1997): **Historische Geologie, Eine Einführung**. Wien. WUV-Universitätsverlag (ISBN 3-85114-356-6). Gibt einen breiten recht detaillierten Einblick in die Ereignisse der Erdgeschichte. Mit besonderer Berücksichtigung Österreichs und der Alpen. Kenntnisse der Grundbegriffe der Geologie sind hilfreich.



	<i>System</i>	<i>Ma</i>	Serie	Stufe	Ablagerung wichtiger Gesteine	Bsp. f. Höhlen i. diesen Gesteinen	
K ä n o z o i k u m	Quartär	0,01	Holozän (Geol. Gegenwart)			Bildung von Tuffhöhlen (Primärhöhlen!)	
		~2	Pleistozän (Eiszeit)		Quartäre Schotter, Moränen...	viele Uferhöhlen	
	Tertiär	Neogen		Pliozän			
			24	Miozän		Leithakalk	Höhlen in St. Margarethen (Bgl.) (Augensteinsedimentation)
	Paleogen			Oligozän			
				Eozän			
		65		Paleozän		Schichten der Höheren Gosau	kaum verkarstungsfähig
M e s o z o i k u m	Kreide	144	Ober-		Schichten der Tieferen Gosau	kaum verkarstungsfähig	
			Unter-		Schrattenskalk	Schneckenloch (V)	
	Jura	206	Malm		Hochstegenmarmor	Spannagelhöhle (T)	
			Dogger		Klauskalk		
			Lias		Hierlatzkalk / Adneter Kalk		
	Trias	248	Ober-	Rhät		Dachsteinkalk und Haupt- dolomit	fast alle großen Höhlen , große Karst Plateaus (Dachstein, Tennengeb. Totes Geb...)
				Nor			
			Karn		Opponitzer Kalk Lunzer Schichten	nicht verkarstungsfähig	
			Mittel-	Ladin		Wettersteinkalk u. -dolomit / Reiflinger Kalk	Kettengebirge der NKA in W- Österreich, Hochschwab: (Frauenmauer-Langstein-Höhlensys.)
	Anis			Steinalmkalk Gutensteiner Kalk	Schachernhöhle (NÖ)		
Unter-		Skyth		Werfener Schichten	nicht verkarstungsfähig, bedeutender Wasserstauer (Schichtgrenzhöhlen!)		
P a l ä o z o i k u m	Perm	290			Haselgebirge (Salz, Gips, Anhydrit...)	viele der Gipshöhlen	
	Karbon	354					
	Devon	417			Hochlantschkalk Schöcklkalk (Marmor)	Höhlen im „Grazer Paläozoikum“: Drachenhöhle, Lurgrotte...	
	Silur	443					
	Ordovizium	494					
	Kambrium	545					
Proterozoikum					Marmor der Böhmischen Masse	Höhlen des Kremswickel (NÖ): Gudenushöhle...	
Archaikum		2500					
Hadäikum		4000					
		4600				Entstehung der Erde	

Trennflächen im Gestein

Trennflächen bestimmen maßgeblich die Anlage von Höhlen

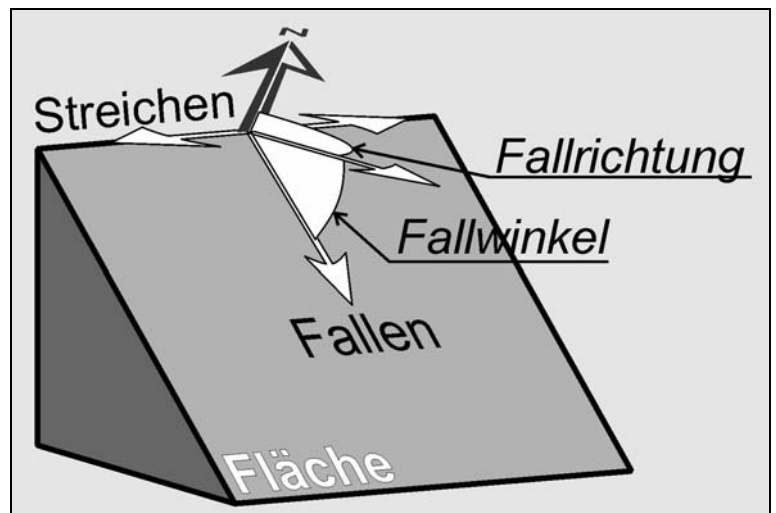
Für den Höhlenforscher ist es wichtig Trennflächen zu erkennen und zu charakterisieren, da wasserwegsame Fugen eine der Voraussetzungen für die Entstehung von Karsthöhlen sind. Erst diese ermöglichen das Eindringen von Wasser in den Gebirgskörper. Die Beschaffenheit und die räumlich Lage solcher Flächen haben großen Einfluss auf den Verlauf von Höhlen.

Prinzipiell muss man **Schichtflächen** und **Tektonische Trennflächen** unterscheiden.

Angabe der räumlichen Lage von Trennflächen

Flächen werden am einfachsten durch **Fallrichtung** und **Fallwinkel** definiert. Die Fallrichtung ist die Richtung (Angabe wie bei den Kompassrichtungen) der Falllinie, der Fallwinkel ist der Winkel zwischen der Fläche und der Horizontalen und gibt also die Neigung der Fläche wieder.

Bei fast senkrechten Flächen (z.B. Klufrichtung) ist es oft anschaulicher das **Streichen** der Fläche, also die Richtung einer Horizontalen auf der Fläche, anzugeben. Verwendet man die Streichrichtung auch für nicht senkrechte Flächen, so muss man zusätzlich angeben in welche Richtung die Fläche einfällt (die Streichrichtung ist nicht eindeutig!).



Beispiel:

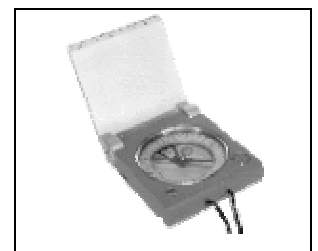
Fallrichtung Fallwinkel	Streichen	Beschreibend	Symbol f. Schichtfallen
090/10	0 – 180	flach nach Osten	┴
247/80	157 – 337	steil nach Westsüdwesten	↘

Wie kann man Flächen mit den üblichen Vermessungsgeräten messen?

Wird der Kompass horizontal an die Fläche angehalten kann eine der Richtungen des Streichens abgelesen werden. Für die Fallrichtung müssen dann 90° addiert bzw. subtrahiert werden (Überlegen wohin die Fläche einfällt!). Legt man den Neigungsmesser an die Fläche an, so kann man das Einfallen messen.

Messung mit dem Geologenkompass

Für genauere und schnellere Messungen wird ein Geologenkompass (nach E. Clar) verwendet. Dieser ermöglicht das Ablesen von Fallrichtung und Fallwinkel mit einer Messung. Bei horizontaler Lage des Kompasses (Libelle) kann seitlich der Fallwinkel abgelesen werden. Die Seite der zweifarbigen Kompassnadel zeigt zur Fallrichtung, welche dieselbe Farbe wie die Skala im Bereich des abgelesenen Fallwinkels hat.

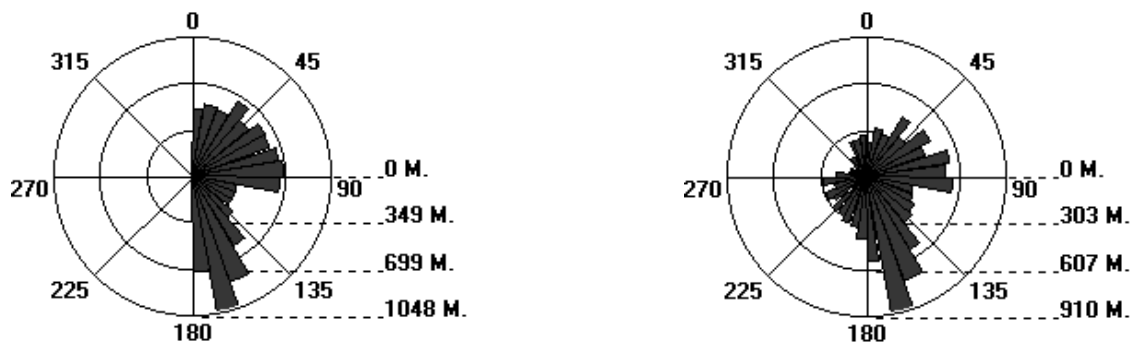


Darstellung von Flächen

Um Aussagen über die Richtungsverteilung von Flächen zu erhalten ist es hilfreich diese graphisch darzustellen. Will man daraus bevorzugte Richtungen der Höhlenentstehung und Verkarstung ablesen, so ist es weiters wichtig zu beobachten, an welchen Flächen Verkarstung stattgefunden hat. Viele Flächen die in der Höhle gemessen werden können sind zwar deutlich ausgeprägt (z.B. Harnischfläche, die durch Versturzvorgänge freigelegt wurde), hatten aber auf die Anlage der Gänge keinen Einfluss.

Kluftrosen

Mehr oder weniger vertikale Trennflächen aus Geländemessungen bzw. Lineamente aus der Luftbildinterpretation werden als Kluftrosen dargestellt. Auch Höhlenvermessungsdaten können annäherungsweise für die Charakterisierung des Trennflächennetzes herangezogen werden, wenn man geringe Fehler durch schräg zum Gang verlaufende Visurlinien vernachlässigt. Dabei werden die einzelnen Streichrichtungen in Klassen (z.B. 10°) aufsummiert und nach ihren Richtungen aufgetragen.

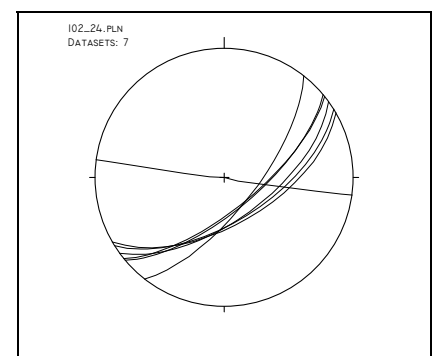


Mit dem Messdatenberechnungsprogramm COMPASS erzeugte Kluftrose der Polygonzug-Richtungen des Burgunderschachtes (1625/20). Man kann erkennen, dass NNW-SSE und E-W streichende Trennflächen dominieren. Die Meterangaben beziehen sich auf die aufsummierten Längen der einzelnen Klassen.

Selber Datensatz wie links, wobei bei der Darstellung die Neigung des Messzuges berücksichtigt wurde. Zusätzlich kann man hier ablesen, dass das Einfallen der Schichten nach SSE ebenfalls großen Einfluss auf die Anlage der Höhlengänge hat.

Komplexere Methoden

Zur Darstellung von Fallrichtung *und* Fallwinkel werden stereographische Projektionen wie z.B. das Schmidt'sche Netz verwendet. Bei dieser Methode wird der Verschnitt von Flächen mit dem unteren Teil einer Halbkugel (vergleichbar einer Salatschüssel) als Grundriss projiziert. Je steiler eine Fläche ist, desto näher verläuft ihr Großkreis (Kreisbogen) beim Mittelpunkt. Flach einfallende Flächen projizieren nahe beim Umkreis der Halbkugel. Details zu dieser Darstellung findet man in Eisbacher (1996).



Stereographische Projektion: Darstellung von Flächen als Großkreise im Schmidt'schen Netz (untere Halbkugel).

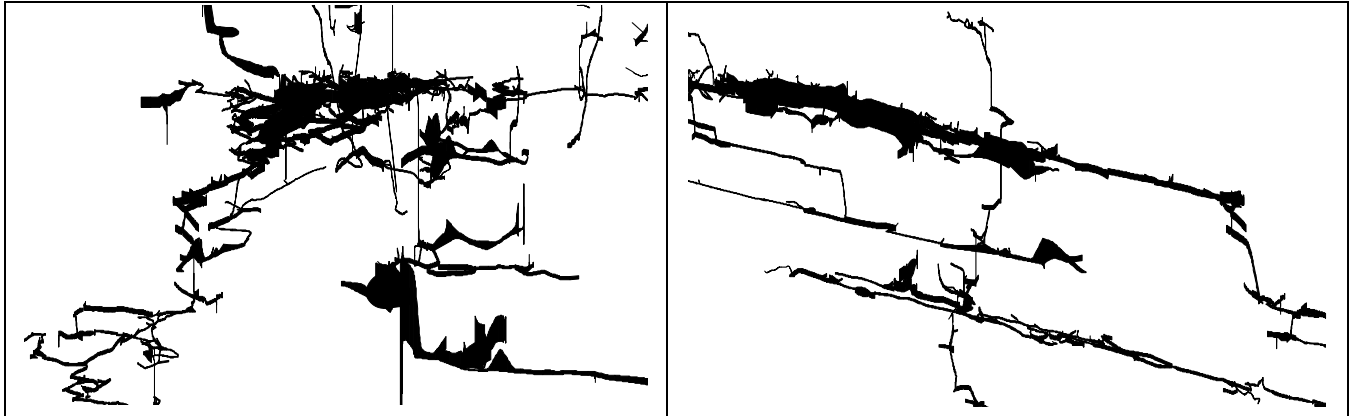
Literatur:

Eisbacher, H. (1996): Einführung in die Tektonik. - Spektrum Akademischer Verlag. ISBN: 3827412307.

Sedimentäre Schichtung

Durch sedimentäre Schichtung können wasserwegsamen Fugen entstehen, welche die Richtung der unterirdischen Entwässerung und somit der Höhlenbildung vorgeben. Weiß man über die Ausbildung und räumliche Lage Bescheid, kann man abschätzen in welche Richtung sich Höhlen bevorzugt entwickelt haben.

Sedimentäre Schichten entstehen während der Ablagerung des Gesteins durch Änderung bzw. Unterbrechung der Sedimentation. Wie die meisten Sedimentgesteine weisen auch viele Kalke und Dolomite sedimentäre Flächen auf.



Ausschnitt (Gr. Horizontalsystem) des Burgunderschachtes im Aufriss. Blickrichtung (NW).

Selber Ausschnitt wie links. Blick in Richtung des Streichens der Schichten (NNE). Man erkennt, dass die Gänge an wenigen Schichtfugen angelegt sind.

Wichtige Begriffe bei der Beschreibung sedimentärer Flächen

Je nach Dicke der Schichten unterscheidet man:






- **Bankung:** Meter-Bereich
- **Schichtung:** Dezimeter-Bereich
- **Lamination:** Sehr regelmäßige Feinschichtung, typischerweise im Millimeter-Bereich

Beschreibung der Lage von Schichten bzw. Gesteinsblöcken:

- **(das) Hangende** (die hangende Schicht): Bezeichnet die darüber befindliche Schicht (bzw. das Gesteinspaket). Der Begriff bezieht sich auf die räumlichen Verhältnisse und nicht auf die zeitlichen, welche durch Faltung und Überkippen der Schichten nicht mehr übereinstimmen müssen.
- **(das) Liegende:** bezeichnet die darunter liegende Schicht.

Signaturen auf geologischen Karten für das Einfallen von Schichten

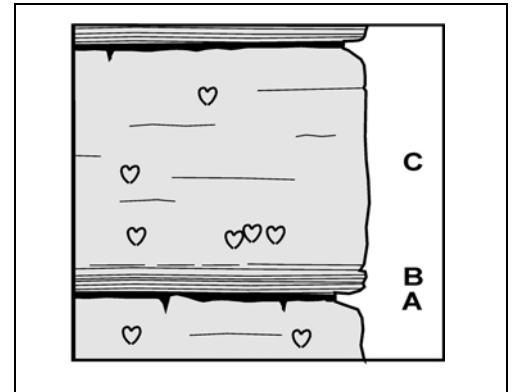
Auf detaillierten geologischen Karten ist auch das Einfallen der Schichten dargestellt. So können oft schon grobe Vorhersagen über unterirdische Entwässerungsrichtungen getroffen werden.

					
0° – 5°	- 30°	- 60°	- 85°	- 90°	> 90°
eben (söhlig)	flach		steil	senkrecht (saiger)	überkippt

Wie entsteht Schichtung?

Schichtzyklen am Beispiel des Dachsteinkalkes

Die gebankten Dachsteinkalke wurden in durch Riffe geschützten Lagunen abgelagert. Aus der zyklischen Abfolge der Bänke lässt sich ablesen, dass Teile der Karbonatplattform immer wieder trocken gefallen sind. Unter dem Aufarbeitungshorizont (A) bildete sich ein schwacher Paläokarst aus, welcher vereinzelt auch Bodenbildungen zeigt. Anschließend hatten sich knapp über bzw. im Bereich der Gezeiten dünne Schichten von Algen (dolomitische Algenlaminite) entwickelt (B). Nach dem weiteren (relativen) Anstieg des Meeresspiegels bildete sich dann unterhalb der Gezeitenlinie im flachen Wasser der Megalodonten (Kuhtrittmuscheln) führende Kalk (C). Diese Bankfolge wiederholt sich viele Hunderte Male. Die massigen, d.h. schichtungslosen Dachsteinkalke repräsentieren dagegen den eigentlichen Riffbereich mit Korallen und Kalkschwämmen.



Aufbau einer ideal ausgebildeten Dachsteinkalkbank

Schichtkontakte

Aus der Art der Abfolge zweier Schichten lässt sich erkennen, ob und welche geologische Ereignisse stattgefunden haben. Folgende Abbildung zeigt die unterschiedlichen Möglichkeiten der Abfolge von Sedimentschichten:

Konkordante Schichtung	Erosionsdiskordanz	Winkeldiskordanz

Zwischen der Ablagerung der Schichten hat keine Erosion stattgefunden (kann trotzdem große Zeitspanne umfassen).

Zwischen der Ablagerung der Schichten war eine Unterbrechung, in der Erosion stattgefunden hat.

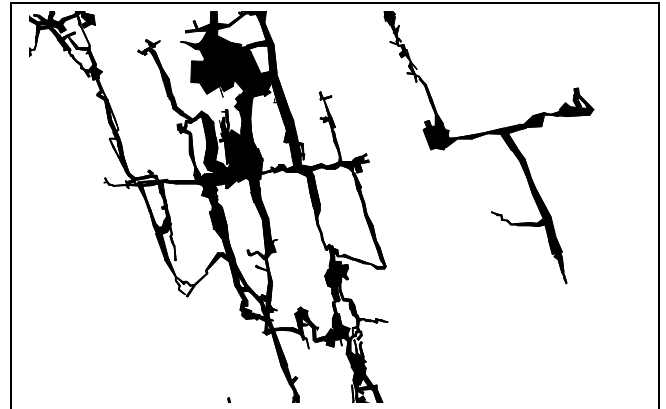
Zwischen der Ablagerung der Schichten ereignete sich eine Faltungsphase mit Erosion.

Liegt über einem nicht verkarstungsfähigen Gestein (z.B. Sandstein) ein verkarstungsfähiges (z.B. Kalk) kann ein sog. Kontaktkarst mit Schichtgrenzhöhlen entstehen, da das Wasser bevorzugt am Kontakt der beiden Gesteine in den Untergrund eintritt.

Bruchtektonische Strukturen

Eine weitere Möglichkeit für die Bildung wasserwegsamere Fugen ist die spröde (bruchhafte) Deformation des Gesteins. Das oft regelmäßige Netzwerk der dadurch entstandenen Flächen kann meist schon beim Betrachten von Höhlenplänen beobachtet werden. Für den Höhlenforscher ist das Erkennen tektonischer Trennflächen wichtig, da sie sowohl Einfluss auf die Verkarstung haben, als auch die Stabilität des Gesteins bestimmen. So können sich zum Beispiel an größeren Störungen Versturz zonen in der Höhle bilden.

Die Fachrichtungen die sich mit diesen Phänomenen beschäftigen nennt man Struktur geologie bzw. Tektonik.



Störungsgebundener Höhlenverlauf (Grundriss) im großen Horizontalsystem des Burgunderschachtes (1625/20, Stmk).

Welche bruchtektonischen Strukturen gibt es?

Klüfte

(Bruch)fuge ohne merkbaren Versatz. Sie entstehen u. a. durch Spannungsausgleich oder Entlastung. Fälschlicherweise werden in Höhlenbeschreibungen fast alle tektonischen Trennflächen als Klüfte bezeichnet. Bei genauerer Betrachtung handelt es sich aber bei den meisten um Störungen (s.u.).

Spalten

Offene Fuge im Gestein von meist wenigen mm Öffnungsweite. Spalten sind für die Höhlenentstehung von untergeordneter Bedeutung, da sie meist nur relativ geringe Ausdehnung haben.

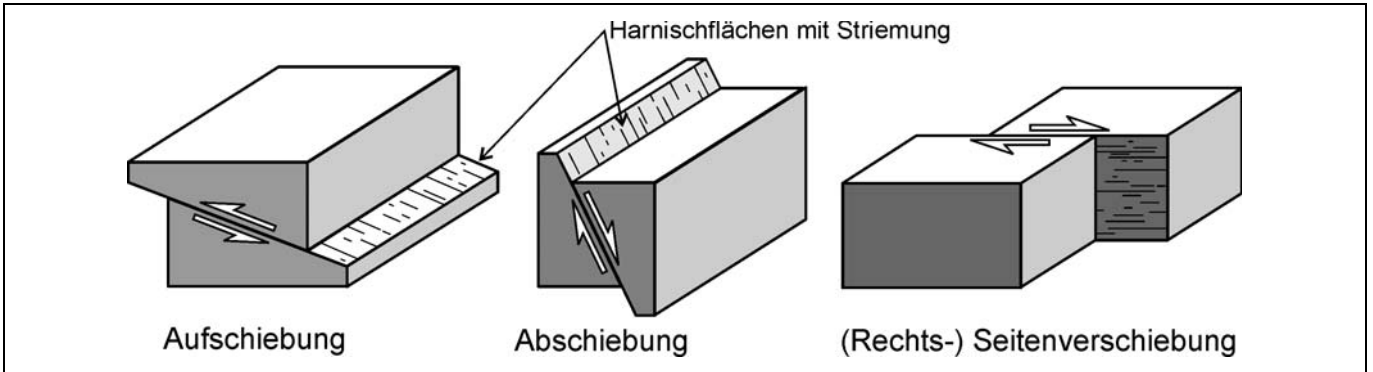
Bergzerreibungen, Abrissklüfte

Entstehen durch Rotieren bzw. Abgleiten von hangnahen Felspartien bei fehlendem Gegendruck (eiszeitlich über tiefe Täler). Teilweise entstehen dadurch befahrbare Höhlen mit typischen schmalen hohen Profilen welche oft durch Blockwerk in Etagen untergliedert sind.

Störungen (= Verwerfungen)

Trennflächen, an denen ein merkbarer Versatz stattgefunden hat. Je nach Bewegungsrichtung werden sie in 3 Gruppen unterteilt:

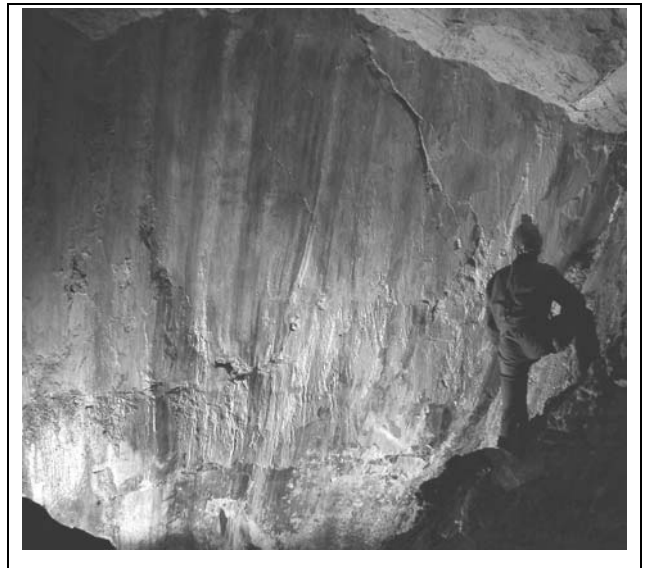
- **Blattverschiebung (= Seitenverschiebung)** Zwei Gesteinspakete werden horizontal gegeneinander verschoben. Um die Richtung der Bewegung anzugeben, bezieht man sich immer von einem Block ausgehend auf die relative Bewegungsrichtung des anderen Blockes (es ist egal von welchem Block man ausgeht!). Somit unterscheidet man Störungen mit linksseitigem (sinistralen) und rechtsseitigem (dextralem) Schersinn.
- **Aufschiebung** Wird der Block über der Störungsfläche auf den darunter liegenden geschoben so spricht man von einer Aufschiebung. Es kommt zu einer Verkürzung in der Bewegungsrichtung.
- **Abschiebung** Hier wird der hangende Block vom liegenden abgeschoben. Es kommt zu einer Ausdehnung in Bewegungsrichtung.



Die durch Störungen entstehenden, meist recht glatten Flächen, die oft freigelegt sind, nennt man **Harnischflächen**. Wenn eine Strömung (=Lineation) ausgeprägt und erhalten ist, kann man auf die Bewegungsrichtung rückschließen.

Bei größeren Versatzbeträgen bilden sich zwischen den Harnischflächen durch das Zerbrechen des Gesteins **Reibungsbrekzien** aus. Sind diese verfestigt, so werden sie als **Kataklasit** bezeichnet, unverfestigte nennt man **Kakirit**. Störungsgesteine haben auf die Verkarstung und Höhlenbildung großen Einfluss, da sie besondere hydrologische Eigenschaften haben – sie sind meist gut wasserdurchlässig, können aber auch völlig dicht sein. Der früher für diese Gesteine verwendete Begriff „**Mylonit**“ bezeichnet Gesteine der plastischen (=duktilen) Deformation, welche während einer Metamorphose unter erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen entstehen.

Besonders interessant sind Störungen die jünger als der Höhlenraum sind, also diesen versetzen oder „zerschneiden“. Sie sind ein Hinweis auf junge Tektonik.



Harnischfläche einer Abschiebung mit deutlicher vertikaler Strömung (Hirschgrubenhöhle).



Kataklasit (= Reibungsbrekzie; Hirschgrubenhöhle, 1744/450 Hochschwab).



Höhlenraum zwischen zwei Harnischflächen, der durch Ausspülen des Kataklasites entstand (Frenzsattel-Quellhöhle).

Großtektonische Strukturen

Die Alpen sind ein durch mehrphasige starke Einengung entstandener Falten- und Überschiebungsgürtel. Folgende fundamentale Begriffe sind für das geologische Verständnis und die Interpretation geologischer Karten wichtig.

Decke

Als tektonische Decke bezeichnet man einen ausgedehnten (10er km), von seinem Untergrund abgelösten Gesteinskörper, der um eine große (im Vergleich zur Dicke) Distanz auf den heutigen Untergrund überschoben wurde, wobei der innere Gesteinsverband erhalten geblieben ist. Es können auch mehrere Decken übereinander liegen (Deckenstapel). Kleinere Einheiten, wobei allerdings keine scharfe Abgrenzung besteht, nennt man **Schuppen**.

(Decken-) Fenster

Durch Erosion kann die Decke durchschnitten werden und damit örtlich die Deckenunterlage freigelegt werden.

Deckscholle, Klippe

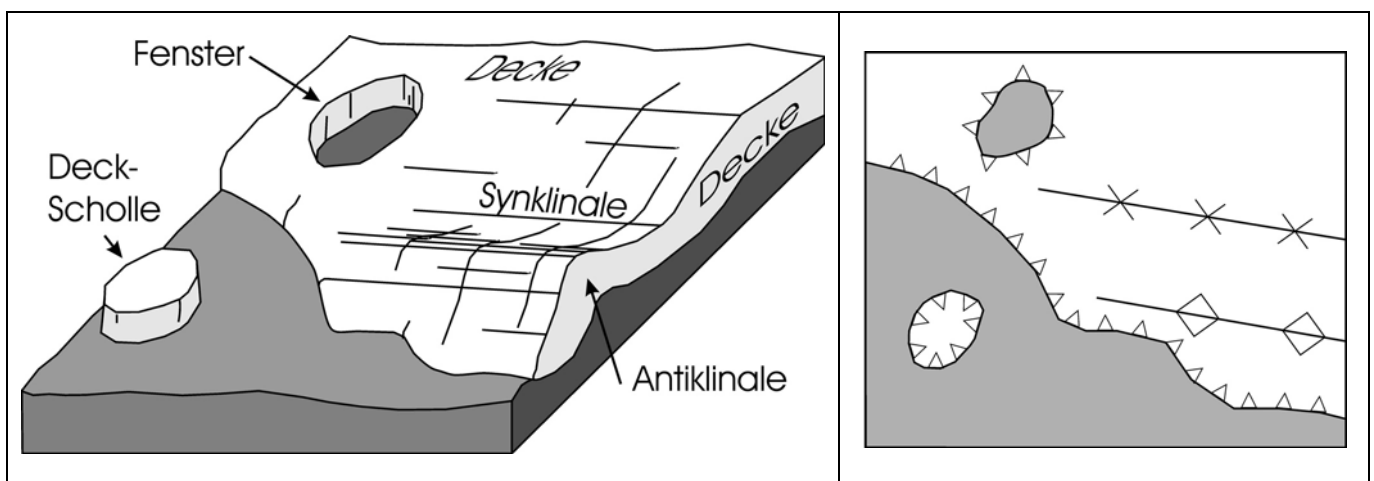
Bleibt durch fortschreitende Erosion nur mehr ein kleiner Teil einer Decke über, der isoliert auf dem Untergrund liegt, spricht man von einer Deckscholle bzw. Klippe.

Antiklinale (Aufwölbung)

Durch Faltung des Gesteins entstandene langgestreckte Aufwölbung der Gesteinsschichten. (Streng genommen gilt der Begriff nur wenn die Gesteinsfolge nicht überkippt ist. Ist diese unklar bzw. überkippt spricht man von einer Antiform.)

Synklinale (Mulde)

Durch Faltung entstandene langgestreckte Mulde. Synklinale stellen (karst)hydrologisch wichtige Strukturen dar, da sie ein Zusammenfließen bzw. Bündeln der Wässer bewirken, was zu bevorzugter **Höhlenbildung im Kern** der Synklinale führen kann. Gute Beispiele gibt es im französischen Faltenjura (Synform wie oben).



Schematische Darstellung von großtektonischen Strukturen.

Situation wie links als Kartendarstellung (Die Richtung der Zacken ist „umgekehrt“ als bei den Höhlensignaturen).

Tertiäre Entwicklung der Nördlichen Kalkalpen

Das Landschaftsbild der zentralen und östlichen Nördlichen Kalkalpen wird von verkarsteten Hochplateaus geprägt, die Relikte der sogenannten **Dachstein-Altfläche** darstellen und spärliche Reste der Augenstein-Formation tragen. Die Entwicklung der Kalkalpenplateaus ist eng mit der Bildung der großen Höhlensysteme verbunden.

Dachstein-Altfläche

Die Nördlichen Kalkalpen nahmen während der eozänen Gebirgsbildungsperiode ihre heutige tektonische Position ein. Die Dachstein-Altfläche (der Begriff "Rax-Landschaft" ist umstritten und nicht ausreichend präzise definiert, weshalb er nicht mehr verwendet wird) bildete sich unmittelbar danach in geringer Höhe über dem Meeresspiegel als ein verkarstetes Hügelland. Die Bildung der Altfläche erfolgte zwischen eozäner Gebirgsbildung und Ablagerung der Augenstein-Formation und kann deshalb auf die Zeit Obereozän und Unteroligozän eingegrenzt werden.

Augenstein-Formation

Im Oligozän erfuhr die Dachstein-Altfläche eine Absenkung und wurde dabei von der Augenstein-Formation verschüttet, einer terrestrischen Abfolge von Konglomeraten und Sandsteinen, die heute nur in kleinen Resten auf den Karstplateaus erhalten ist.

Das Alter der Augenstein-Formation kann aus der geologischen Situation heraus und aufgrund von Datierungen mit Unteroligozän bis frühes Untermiozän angegeben werden, obwohl in den wenigen verbliebenen *in situ* Vorkommen (z. B. Augensteindlgrube am Dachstein-Plateau) nur basale Reste erhalten sind. Das Liefergebiet der Augenstein-Sedimente lag im Süden und war fast ausschließlich aus schwach metamorphen paläozoischen Gesteinen (Grauwackenzone und ihre Äquivalente) sowie Äquivalenten der permotriadischen siliziklastischen (d. h. großteils nicht-karbonatischen) Basis der Kalkalpen aufgebaut. Uran-Spaltspurendaten aus Apatitkristallen, die in Geröllen enthalten sind, legen nahe, dass die Augenstein-Formation lokal (z. B. am Dachstein) Mächtigkeiten von über 1000 m, möglicherweise bis über 2000 m erreichte. Die Augenstein-Sedimentation endete im Untermiozän mit dem Einsetzen eines tektonischen Umbruchs, der eine Relieferniedrigung im Liefergebiet der Augenstein-Sedimente und ein neues, an Störungen gebundenes W-O orientiertes Entwässerungsnetz (Ennstal, Murta) mit sich brachte. In der Folge wurden die Augenstein-Sedimente erodiert und in der Vorlandmolasse wieder abgelagert.



In eine Höhle eingeschwemmte und wieder verfestigte Augensteine. (Dachstein, Margschierf)

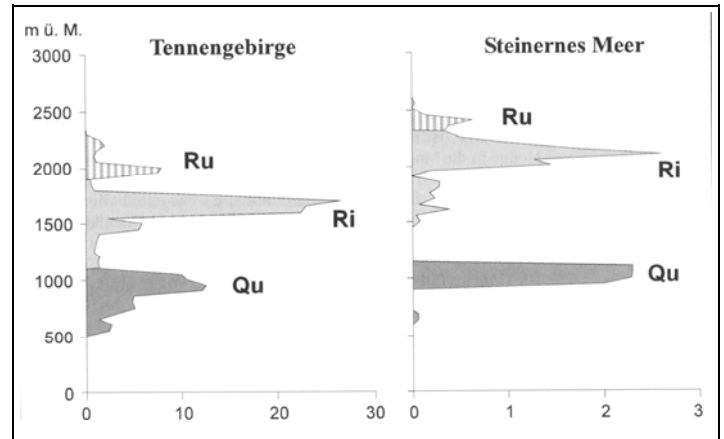
Ausbildung der Karstplateaus

Ab dem Obermiozän erfuhren die zentralen und östlichen Nördlichen Kalkalpen und mit ihnen die inzwischen wieder freigelegte Dachstein-Altfläche ihre Heraushebung in mehreren Schüben. Die Altfläche blieb dort erhalten, wo mächtige Kalksteinabfolgen (hauptsächlich Dachsteinkalk) die unterirdische Erosion in Höhlensystemen ermöglichten und damit die Oberflächenerosion auf ein Minimum begrenzten. Die heute in verschiedener Höhe liegenden Altflächenreste gehen nicht auf sukzessive Bildung als Piedmonttreppe zurück. Sie sind vielmehr Reste, die bei der finalen Heraushebung unterschiedlich stark gehoben und z. T. auch verkippt (z. B. westlicher Dachstein, Hochkönig) wurden.

Die Kalkalpen westlich des Inn-Durchbruchs enthalten keine Plateaus und weisen eine deutlich unterschiedliche Entwicklungsgeschichte seit dem Eozän auf. Sie wurde bereits im Oberoligozän und Untermiozän herausgehoben und schütteten Gerölle in die Molassezone. Augensteinreste sind aus dieser Region nicht bekannt.

Entwicklung der Höhlen

Die Anordnung der Höhlen in drei Horizonten (Höhlenniveaus) zeigt, dass die Heraushebung der Kalkalpen in Etappen erfolgte. Vermutlich wurde das höchste Höhlensystem, das oberflächennahe Ruinenhöhlenniveau, bereits während der Bildung der Dachstein-Altfläche angelegt. Augenstein-Sedimente wurden während der Überschüttung über die Altfläche in dieses Höhlensystem eingeschwenkt. Das größte Höhlenniveau, das Riesenhöhlenniveau, wurde im frühen Stadium der Heraushebung der zentralen und östlichen Kalkalpen, im Obermiozän, gebildet, das jüngste und tiefste Höhlensystem, das Quellhöhlenniveau, im Pliozän und Quartär. Augensteinmaterial wurde sukzessive in die tieferen Höhlensysteme umgelagert.



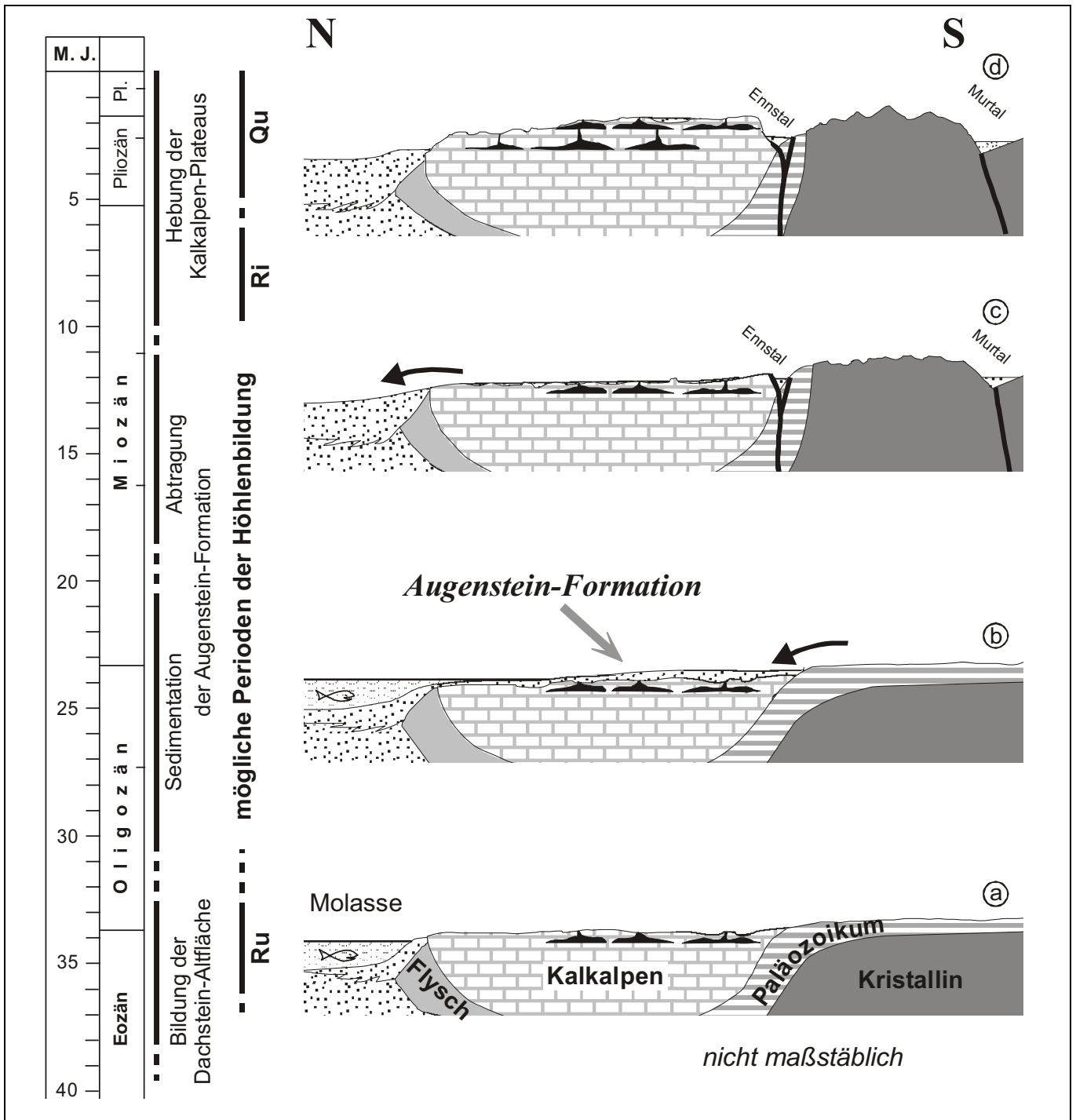
Länge (in km) der Höhlengänge in Höhenintervallen von 50 m. Ru: Ruinen-, Ri: Riesen-, Qu: Quellhöhlenniveau. (nach Fischer, 1990)

Es wurde versucht, Gesteinsmaterial aus dem Riesenhöhlensystem zu datieren. Uran-Blei-Datierungen an Tropfsteinen aus der Dachstein-Mammuthöhle und der Eisriesenwelt (Tennengebirge) erbrachten wegen zu geringer Urangelhalte kein direktes Alter, doch lassen Isotopenverhältnisse auf ein vor-pleistozänes Alter schließen. Untersuchungen der Sauerstoff- und Kohlenstoff-Isotopenverhältnisse an dem Tropfsteinmaterial aus der Eisriesenwelt wurden durchgeführt, um Hinweise auf klimatische Veränderungen zu erhalten. Ein 280 mm langer Probenkern vom Außenrand des Tropfsteins ergab geringe Schwankungen für die Temperatur der Regenwässer, die zur Tropfsteinbildung in die Höhlen einsickerten, was auf ein gemäßigtes Klima hinweist und ebenfalls auf eine vorpleistozäne Bildung des Tropfsteins schließen lässt. Diese Ergebnisse stehen mit der angenommenen obermiozänen Bildung des Riesenhöhlensystems in Einklang. Zerschierung von Tropfsteinen und durch Störungen verursachte Geländestufen auf den Plateaus bezeugen eine junge, teilweise quartäre Tektonik, von der die Nördlichen Kalkalpen erfasst wurden.

Literatur

Frisch, Kuhleemann, Dunkl, Székely, Vennemann & Rettenbacher (2002): Dachstein-Altfläche, Augenstein-Formation und Höhlenentwicklung - die Geschichte der letzten 35 Millionen Jahre in den zentralen Nördlichen Kalkalpen. "Die Höhle", Jg. 53, Heft 1.

Haseke-Knapczyk (1989): Der Untersberg bei Salzburg. Die ober- und unterirdische Karstentwicklung und ihre Zusammenhänge. Ein Beitrag zur Trinkwassererforschung. Österr. Akad. Wiss., MaB-Reihe, Bd. 15.



Entwicklung der zentralen und östlichen Nördlichen Kalkalpen seit dem späten Eozän: (a) Nach Beendigung der Deckenbewegungen entstand eine hügelige Abtragungsfläche (= Dachstein-Altfläche) knapp über dem Meeresspiegel und ein seichtliegendes Höhlensystem (Ruinenhöhlenniveau). (b) Die Dachstein-Altfläche wurde mit Augenstein-Sedimenten versiegelt. Das Material kam von vorwiegend paläozoischen Arealen in den Zentralalpen. Die terrestrischen Augenstein-Sedimente gingen nach N in die marine Molasse über. (c) Störungsgebundene Längstäler verhinderten weitere Sedimentzufuhr von S. Die Augenstein-Sedimente wurden abgetragen und in die Vorlandmolasse umgelagert. (d) Hebung der Kalkalpen in Schüben ermöglichte die Bildung von tieferliegenden Höhlensystemen, die sich nach dem jeweiligen Vorfluter ausrichteten. Riesen- und Quellhöhlenniveau zeigen, dass die Hebung in zwei Schüben mit einem zwischengeschalteten Stillstand erfolgte. Der Endokarst verhinderte die vollständige Zerstörung der Dachstein-Altfläche. Ru, Ri, Qu: Ruinen-, Riesen-, Quellhöhlenbildung.

Das Quartär

Der große Rahmen

So wie die Geschichte der Menschheit in einzelne Abschnitte gegliedert wird, so hat die Wissenschaft die ungleich längere und wechselvolle Geschichte unseres Planeten, die Erdgeschichte, in eine Reihe von Zeitperioden unterteilt. Wir leben derzeit in der Erdneuzeit (auch Känozoikum genannt), die übrigens bereits schon seit 66 Millionen Jahre währt. Den allergrößten Teil dieser Zeit umfasst das Tertiär, in dem z.B. die Anlage der großen Höhlensysteme der Nördlichen Kalkalpen und des Grazer Berglandes erfolgte (s. Merkblatt C26). Die letzten 1,8 Millionen Jahre der Erdneuzeit (und damit der jüngste Abschnitt der Erdgeschichte) werden jedoch eigens abgetrennt und als Quartär bezeichnet (siehe Abbildung). Wir leben im Quartär.

Was geschah im Quartär?

Die Grenzziehung der erdgeschichtlichen Abschnitte erfolgt nicht willkürlich und das Quartär hat trotz seiner relativen Kürze im Vergleich zur 4,5 Milliarden Jahre langen Erdgeschichte durchaus seine Berechtigung. Wir wissen heute, dass das Erdklima seit dem ausgehenden Tertiär eine klar erkennbare Tendenz hin zu globaler Abkühlung aufwies (siehe Abbildung). Diese Entwicklung setzte sich im Quartär fort und führte insbesondere in dessen jüngerem Abschnitt zum bekannten Wechsel von Zeiten großer Vereisung in der Nordhemisphäre (Eiszeiten, Glaziale) und wesentlich kürzeren Abschnitten mit ähnlichem Klima wie heute (Warmzeiten, Interglaziale). Einen solchen hochfrequenten Klima-Rhythmus und dem damit verbundenen Kommen und Gehen der Gletschern und dem Auf und Ab des Meeresspiegels wies die Erde nur zu gewissen Zeiten ihrer langen Geschichte auf; so das letzte Mal vor ca. 300 Millionen Jahren (Spuren davon finden sich z.B. in Gesteinen der Karnischen Alpen). Die jüngsten 1,8 Millionen Jahre der Erde sind etwas Besonderes und nach dem, was wir von der früheren Erdgeschichte wissen, dürfte das Quartär durchaus noch etliche Jahrmillionen andauern.

Quartär und Eiszeiten

Das Besondere am Quartär sind bzw. waren zweifelsohne die Eiszeiten. Stell dir vor, du würdest die Erde vor 20.000 Jahren mit einem Raumschiff umkreisen. Wie würde unser Planet aussehen? Der auffälligste Unterschied zu heute wären große, schillernd-weiße Gebiete in Nordamerika, Skandinavien, den Britischen Inseln und dem nördlichen Sibirien. Diese Gebiete waren von einer bis zu 3 km mächtigen Eisschicht bedeckt. Davor breiteten sich große Flussebenen und riesige Eisstauseen aus. Die Ostsee war vom Eis skandinavischer Gletscher erfüllt und im Ärmelkanal – der durch den Tiefstand des Meeresspiegels zu Festland wurde – bahnte sich ein gewaltiger Fluss seinen Weg in Richtung Atlantik. Auch in den Alpen hatten die Gletscher das Sagen und stießen zu gewissen Zeiten während den Eiszeiten bis über den Alpenrand vor. Etwa 22% der Landfläche waren während der Höhepunkte der Eiszeiten eisbedeckt (heute sind es knapp 10%). Dieses Schauspiel fand das bislang letzte Mal vor 20.000 Jahren statt, dem Höhepunkt der letzten Eiszeit in den Alpen und im Alpenvorland, auch Würm-Eiszeit genannt (siehe Abbildung). Atemberaubend schnell zerfiel anschließend dieses Eisstromnetz und seit etwa 14.000 Jahren finden wir ähnliche klimatische Bedingungen vor wie heute.

Früher glaubte man, dass es insgesamt vier Eiszeiten gegeben hat; später kamen einige weitere (ältere) dazu. Heute wissen wir jedoch, dass es im Quartär dutzende Eiszeit-Warmzeit-Zyklen gegeben hat, von denen jedoch nur die der letzten ca. 800.000 Jahre zu Großvereisungen geführt haben dürften, und zwar in einem zeitlichen Abstand von etwa 100.000 Jahren (siehe Abbildung).

Die vor allem an Ozean-Sedimenten durchgeführte Paläoklima-Forschung hat gezeigt, dass die Glazialzeiten der Normalfall des Quartärs sind und dass die Warmzeiten nur etwa 10 – 15 % der Zeit ausmachen. Und noch etwas ist mittlerweile klar: Man darf sich diese Eiszeiten nicht statisch vorstellen; das Klima war nachweislich wesentlich größeren und rascheren Veränderungen unterworfen als alles, was wir aus vergangenen Jahrhunderten gewohnt sind.

Wo findet sich das Quartär?

Für einen Laien ist das Erkennen des geologischen Alters eines Gesteins, eines Felsens oder eines Berges ein Buch mit sieben Siegeln. Das Quartär hingegen macht hier eine angenehme Ausnahme. Wir brauchen nur in unserer näheren Umgebung herumspazieren und werden es, so wir nicht gerade felsiges Gelände betreten,

fast immer mit Sedimenten zu tun haben, die genau aus dieser Zeit stammen. Stark vereinfacht kann man sagen, dass die quartären Ablagerungen einen geringen oder oft auch fehlenden Verfestigungsgrad aufweisen und sich dadurch klar von älteren Sedimentgesteinen z.B. der Trias unterscheiden. Die Eiszeiten waren bekanntlich für die Gestaltung der alpinen Landschaft prägend (Stichworte U-Tal, Kar, Hängetal) und auch sämtliche Seen im Alpenraum und im Alpenvorland sind Kinder des Quartärs.

Die Bedeutung des Quartärs

Das Jüngste, das Quartär, liegt zu oberst, heißt ein Grundprinzip der (stratigraphischen) Geologie und so gehen die meisten Bauvorhaben in quartären Kiesen, Sanden oder Schluffen um, so beziehen wir den größten Teil unserer Massenrohstoffe aus dem Quartär und es befinden sich große Grundwasser-Reserven in den quartären Lockergesteinsfüllungen unserer Becken und Täler. Dass wir gerade diesen wichtigen Teil der Erdkruste durch unkontrolliertes Ausbeuten von Grundwasserkörpern bzw. durch Abwässer (z.B. undichte Mülldeponien) nachhaltig verändern, sollten wir nicht aus den Augen verlieren.

Quartär und Menschheitsgeschichte

Wenngleich sich die Evolution des Menschen über das Quartär hinweg bis in das ausgehende Tertiär zurückverfolgen läßt, so tauchen verlässliche Spuren (Artefakte) in Österreich erst um ca. 220.000 Jahre vor heute auf, übrigens in einer Höhle, der Repolusthöhle (2837/1) im Grazer Bergland. Wir befinden uns mitten in der Altsteinzeit. Die Herren dieser Zeit waren die Neandertaler. Die heutige Menschenrasse (Cro Magnon bzw. Homo sapiens sapiens) taucht erst mitten in der letzten Eiszeit vor ca. 40.000 Jahre auf, während der Neandertaler das Ende derselben nicht mehr erlebt hat (siehe Abbildung).

Bald nach Beginn des heutigen Interglazials (das auch als Holozän oder Postglazial bekannt ist) beginnt die Mittelsteinzeit, die ab dem 6. Jahrtausend vor Christus von der Jungsteinzeit abgelöst wird. Ab dieser Zeit wird der Mensch in unseren Breiten sesshaft, wird Bauer. Von da an geht es Schlag auf Schlag: Um 5000 v. Chr., also 7000 vor heute wurde die Kupfer-Technologie entwickelt und das 4. und 3. vorchristliche Jahrtausend wird auch als die Kupferzeit bezeichnet. In dieser Zeit lebte übrigens der „Eismann Ötzi“, dessen Mumie ca. 5300 Jahre alt ist. Die Kulturfolge ab dem 2. Jahrtausend v. Chr. ist die Bronzezeit, die im 8. Jahrhundert v. Chr. von der Eisenzeit abgelöst wurde (siehe Abbildung).

Quartär und Höhlen

Auch wenn das Kommen und Gehen der Gletscher während des Quartärs gerade in einem Gebirgsland wie Österreich sicherlich seinen Einfluss auf die Höhlen im Untergrund gehabt hat, so dürfen wir diesen jedoch nicht überschätzen. Neuere Forschungsergebnisse (siehe Merkblatt C26) legen nahe, dass gerade die großen und heute z.T. über der Waldgrenze gelegenen Höhlensysteme der zentralen und östlichen Nördlichen Kalkalpen, aber wahrscheinlich auch jene des Grazer Berglandes in einem feucht-subtropischen Klima entstanden sind, das während ihre Entstehung einem feucht-subtropischen Klima verdanken, das während des vorangegangenen Tertiärs herrschte. Somit sind also diese Höhlen, zumindest in ihrer prinzipiellen Anlage, viele Millionen Jahre alt, sozusagen fossil. Dass solche alten Systeme in späterer Zeit als Wasserwege wieder benutzt und weiterentwickelt, z.T. aber auch zusedimentiert wurden, ist naheliegend. Leider fehlen den Wissenschaftlern zur Zeit noch einfache Methoden, um Höhlen-Sedimente aus dem früheren Abschnitt des Quartärs präzise datieren zu können und so den genauen zeitlichen Ablauf der speläogenetischen Prozesse rekonstruieren zu können.

Weiterführende Literatur

Berner, U. & Streif, H. (2004): *Klimafakten. Der Rückblick - ein Schlüssel für die Zukunft.* – 4. Auflage, 259 S., Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung).

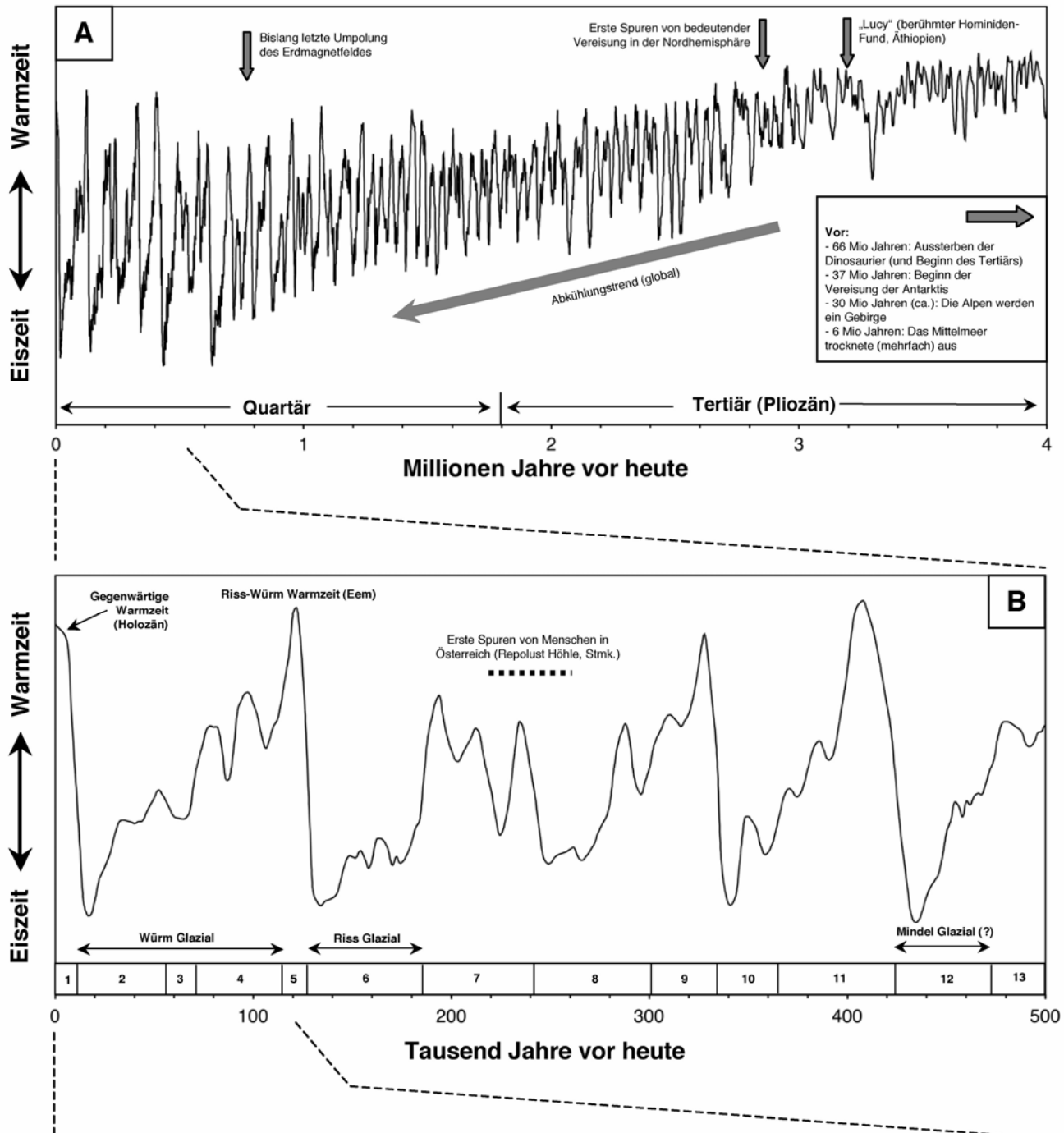
Hauser, W. (2002): *Klima. Das Experiment mit dem Planeten Erde.* – 400 S., Stuttgart (Theis).

Jost, D. & Maisch, M. (2006): *Von der Eiszeit in die Heisszeit. Eine Zeitreise zu den Gletschern.* - 149 S., Oberhofen (Zytglogge).

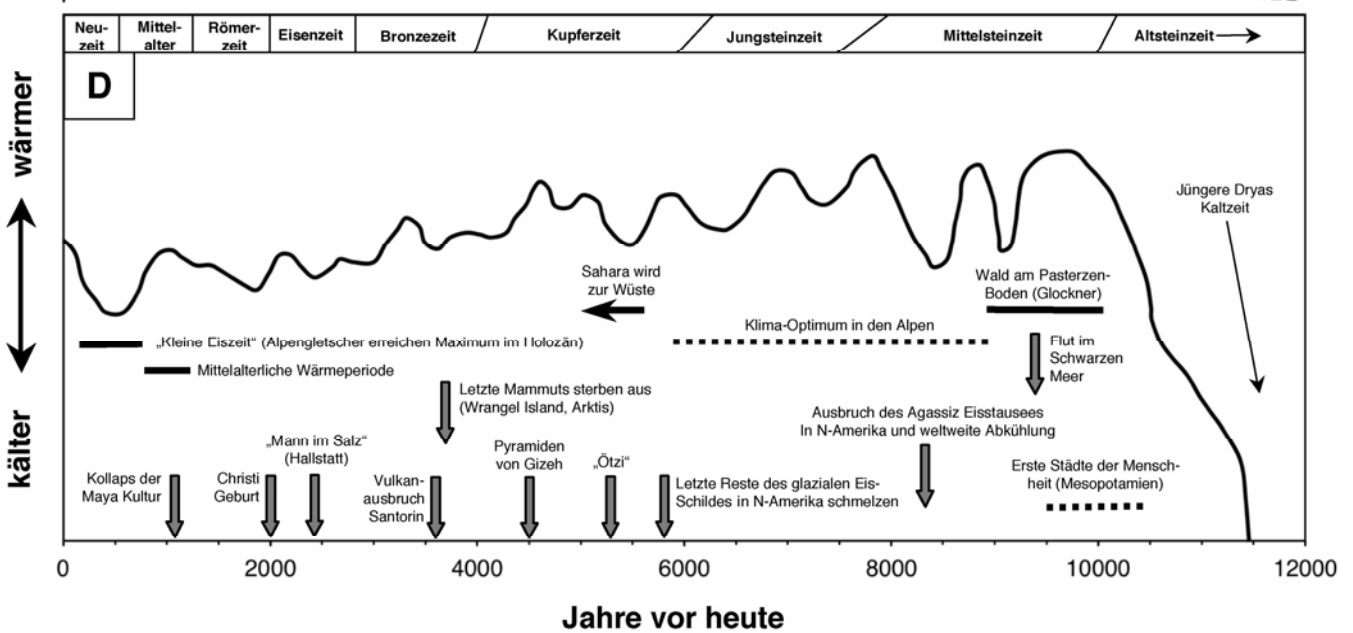
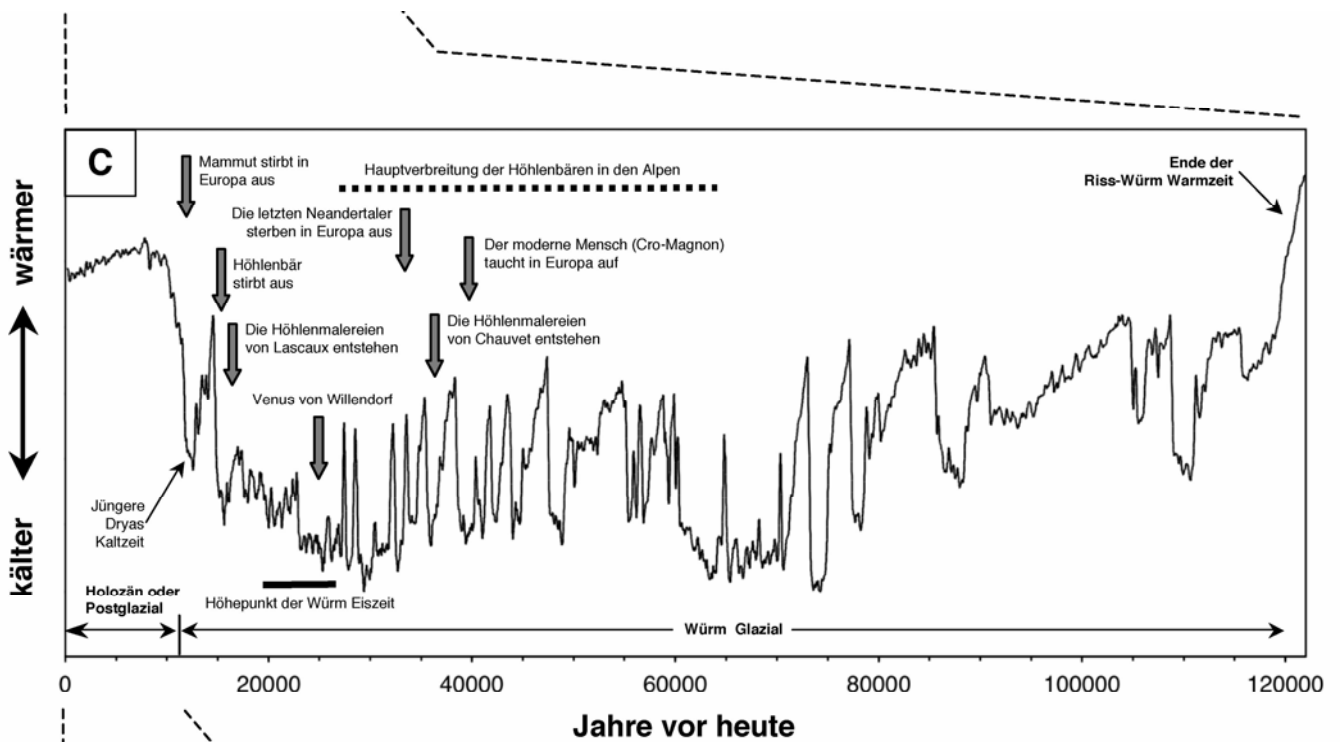
Klostermann, J. (1999): *Das Klima im Eiszeitalter.* - 284 S., Stuttgart (Schweizerbart).

Urban, O.H. (2000): *Der lange Weg zur Geschichte. Die Urgeschichte Österreichs.* – In: *Österreichische Geschichte* (Hrsg. H. Wolfram), 511 S., Wien (Ueberreuter).

van Husen, D. (1987): *Die Ostalpen in den Eiszeiten:* Wien, Geologische Bundesanstalt, 24 S.



Mit dieser zweiseitigen Abbildung wurde der Versuch unternommen, den Zeitraum des Quartärs graphisch darzustellen, wichtige Zeitabschnitte zu zeigen und bedeutende Ereignisse chronologisch einzugliedern. Die Zeit läuft in allen Diagrammen von rechts nach links, d.h. links ist heute und nachfolgende Diagramme stellen immer einen vergrößerten zeitlichen Ausschnitt der vorangegangenen dar. Die Kurven geben dabei nur schematisch den Klimaverlauf für die Alpenregion wieder. Die beiden Kurven A und B wurden aus Tiefsee-Sedimenten erstellt. In der Abbildung B (unten) sind einige der bekannten alpinen Eiszeiten eingetragen. Die Liste ist jedoch nicht vollständig, da die zeitliche Einstufung der älteren großen Gletschervorstöße nach wie vor offen ist (analoges gilt für die Zwischeneiszeiten, z.B. die Mindel-Riss Warmzeit). In dieser Abbildung findet sich am Unterrand auch eine Skala mit Zahlen von 1 bis 13. Dies sind die so genannten Marinen Isotopenstadien, mit deren Hilfe das Quartär weltweit fein gegliedert wird. Geradzahlige Stadien bezeichnen klimatisch generell warme Zeiten mit hohem Meeresspiegel, ungeradzahlige stellen Kalt- bzw. Glazialzeiten dar.



Die beiden Graphen C and D schließen an Diagramm B (Vorseite) an und geben einen einfachen Überblick über den letzten Eiszeit-Warmzeit-Zyklus bzw. die gegenwärtige Warmzeit, das so genannte Holozän. Die Kurve in C stammt aus dem Eis in Zentralgrönland. Beachte erstens, dass diese deutlich von der Tiefseekurve in Diagramm B abweicht (welche ein gedämpftes Signal im Ozean zeigt), und zweitens, welche große Unruhe das glaziale Klima während der letzten 100.000 Jahre (der Würm-Eiszeit) zeigte und wie gering sich demgegenüber die Schwankungen während der letzten ca. 11.000 Jahre (dem Holozän) ausmachen. Die Kulturfolgen sind am oberen Rand von Abbildung D eingetragen; deren Abgrenzung ist unscharf und schwankt von Region zu Region.

Höhleninhalt

Jeder Höhlenforscher hat bereits Erfahrungen mit dem Höhleninhalt gemacht. Röhren, gefüllt mit Schlamm und "Dreck", haben schon manches üble Wort hervorgerufen. Taucher wissen um die Gefährlichkeit von wassererfüllten Höhlenteilen. Viele gehen in Höhlen, um Tropfsteine zu bewundern. Und selbst der frei hängende Schachtbefahrer hat Kontakt mit dem Höhleninhalt – gehört doch die Luft der Höhlen ebenfalls zum Inhalt.

Eine simple Einteilung unterscheidet nach dem physikalischen Zustand, also ob es sich um gasförmigen, flüssigen oder festen Höhleninhalt handelt. Betrachtet man die Entstehung, ist interessant, ob der Höhleninhalt an Ort und Stelle (autochthon) entstanden ist oder in die Höhle transportiert wurde (allochthon).

Doch lassen wir in den nachfolgenden Seiten die Luft und das Wasser aus dem Spiel. Die Eigenschaften dieser Stoffe sind an anderer Stelle (Karsthydrologie, Höhlenklima etc.) eingehend beschrieben. Wir konzentrieren uns hier auf die Ablagerungen in den Höhlen, die Sedimente.

Das Studium der Sedimente kann auch dem Höhlenforscher unter Umständen Hinweise auf mögliche Fortsetzungen oder Indizien zur Höhlenentstehung geben.

Definitionen:

- Ein **Mineral** ist eine Festsubstanz, deren chemische Bausteine gesetzmäßig aufgebaut sind (und somit ein Kristallgitter aufbauen).
- Ein **Kristall** ist ein Mineral, das ungestört wachsen konnte und deshalb eine charakteristische Form aufweist.
- Ein **Gestein** besteht aus einer natürlichen Ansammlung von Mineralen. Diese Ansammlung kann aus einem (z.B. Kalk – bestehend aus dem Mineral Calcit) oder mehreren (Gneis – bestehend aus Feldspäten, Quarz, Glimmer, u.a.) Mineralen bestehen.
- Als **Sediment** bezeichnet man eine Ablagerung von Mineralien und/oder organischen Stoffen. Ist die Ablagerung verfestigt, spricht man von Sedimentgestein (z.B. Sandstein), ansonsten nur von (Locker)Sediment (z.B. Gletschermoräne oder auch Höhlenlehm).

Sedimente in Höhlen

Die Einführung in die Höhlensedimente soll Auskunft geben über Typen, Art und Eigenschaften der Sedimente. Darauf folgt ein Kapitel über die Wichtigkeit des Zusammenhanges zwischen Sedimenten und der Gangform. Zum Schluss wird ein Überblick über die Methoden der Sedimentuntersuchung präsentiert.

Ganz wichtig ist, dass alle Höhlensedimente Aussagen zur Höhle und unter Umständen zum Klima geben können. Die oben erwähnte Schlammröhre ist also nicht nur gatschgefüllt, sondern vielleicht ist der dieser Schlamm ein Zeuge einer Eiszeit?

Kann man sodann die Sedimente mit der Entstehungsgeschichte der Höhle koppeln, erhält man unter Umständen ein recht komplettes Schema der Ereignisse im Leben einer Höhle. Wird dieses Schema dann datiert, können wir wertvolle Informationen zur Klima- und Erosionsgeschichte der Gegend, wo sich die Höhle befindet, erhalten.

Höhlenmineralien und Höhlensinter

Höhlenmineralien gehören zwar auch zu den Sedimenten, werden aber in der Höhle gebildet und deshalb separat behandelt. Streng genommen gehören die häufigsten Formen, die Sinterbildungen und Tropfsteine, ebenfalls zu den Höhlenmineralien. Gleiches gilt auch für das Höhleneis. Diese haben aber wiederum ein eigenes Kapitel.

Datierung von Höhlensintern

Tropfsteine und Sinterböden waren lange Zeit die einzigen datierbaren Materialien neben Holzresten. Deswegen – und auch, weil die Sinterdatierung mittlerweile eine Routineangelegenheit geworden ist, die auch sehr oft zuverlässige Resultate liefert – ist dieser ein eigenes Kapitel gewidmet.

Sedimente in Höhlen

Welche Sedimenttypen gibt es in Höhlen?

Wir unterscheiden zwischen:

- chemischen Sedimenten (Höhlensinter, Tropfsteine, Zemente, Ausblühungen, Mineralien i.A.)
- detritischen/klastischen Sedimenten (Lehm bis Geröll, Versturz...)
- biogenen Sedimenten (Guano, Knochen...)
- Höhleneis

Die chemischen Sedimente

Als chemisch ausgefällte Sedimente gelten neben allen Sorten von Tropfsteinen auch diejenigen Calcitausscheidungen, die andere Sedimenttypen verfestigen: die Zemente. In Höhlen sind diese Zemente meist zusammen mit Tropfsteinen (gelegentlich auch verfestigten Schottern) zu finden. Sie werden deshalb nicht gesondert behandelt.

Weitere chemische Sedimente sind Mineralausblühungen an Wänden und auf Ablagerungen; hierzu zählen neben Aragonit der häufige Gips, Hydromagnesit, sowie andere, seltenere Mineralien.

Ein Spezialfall der chemischen Sedimente sind hydrothermale Hohlraumfüllungen, die im Kalkgestein ebenfalls meist aus Calcit sind. Da diese meistens in Klüften zu finden sind und in der überwiegenden Anzahl der Fälle nichts mit der Höhlenentstehung zu tun haben, werden sie hier nicht weiter erwähnt.

Mineralien wie auch Tropfsteinen sind eigene Kapitel gewidmet. Hier soll nur die Information gegeben werden, dass das Tropfsteinwachstum zumeist an Warmzeiten gebunden ist, weil dann Bodenbildung an der Oberfläche mehr CO₂ ins Wasser bringt. Des weiteren ist wichtig, dass (von Spezialfällen abgesehen) sich Sinter fast nur oberhalb des Wasserspiegels bildet.

Detritische/klastische Sedimente

"Detritisch" oder "klastisch" bedeutet zerbrochen. Detritische Sedimente sind also Ablagerungen, die aus einem bereits bestehenden Gestein oder Mineral hervorgehen, ohne (mit Ausnahme der Tonmineralien) chemischen Änderungen unterworfen zu sein. Zu den detritischen Sedimenten zählen wir nicht nur das zerbrochene Material im engeren Sinne (Versturzblöcke), sondern auch gerundete Bachgerölle, Sand und Lehm. Detritische Sedimente können entweder autochthon (aus dem Nebengestein) oder aber allochthon (von draußen) sein.

Herkunft

Die Herkunft der detritischen Sedimente kann völlig verschieden sein. Die nachfolgende Liste ist nicht abschließend, sondern gibt einige Möglichkeiten an:

- aus dem Nebengestein: Versturzblöcke, Schutt, Frostbruch, Kalkgerölle
- aus dem Nebengestein: unlösliche Bestandteile des Kalkes: Lehm, Hornstein etc.
- aus benachbarten Gesteinen: Gerölle, Sand, Lehm
- vom Gletscher: Gesteine aller Art
- aus Höhlensedimenten: umgelagerter Sand, Tropfsteingerölle etc.
- von der Oberfläche: Knochen (manchmal aber auch autochthon), Holz, Humus, Sand, Lehm etc.

Eigenschaften

a) Nicht transportierte detritische Sedimente

Darunter fallen Versturzblöcke und Deckenbruch. Schutt im Eingangsbereich der Höhle ist meist auf Frostbruch zurückzuführen. Alter, verkitteter Schutt deutet auf eine kältere Zeit in der Vergangenheit hin. Versturzblöcke im Höhleninnern sind schwieriger zu deuten. Es muss nicht sein, dass Verstürze in Zeiten erhöhter Erdbeben-Aktivität auftreten. Stimmt die Statik der Höhlendecke nicht, so wird es zum Einsturz kommen. Die Deutung von Deckenverstürzen wird meist dem Geologen vorbehalten bleiben.

b) transportierte detritische Sedimente

Umlagerung und Transport geschieht in der Höhle wohl immer durch fließendes Wasser. Charakteristisch für transportierte Sedimente ist, dass die Körner / Gerölle gerundet sind. Faustregel: Je runder ein Stein, desto länger dauerte der Transport. Diese Faustregel kennt natürlich viele Abweichungen. Die Härte des Steines spielt eine Rolle, aber auch die Größe! Große Blöcke sind nach vergleichsweise kleiner Transportdistanz bereits recht gut gerundet, während kleine Kiesel deutlich mehr Distanz benötigen, um ähnlich rund zu werden.

Etwas sehr Typisches für transportierte detritische Sedimente ist neben der Rundung die Sortierung: Sie beschreibt, ob nur Sedimente einer Korngröße oder verschiedene Korngrößen gemeinsam vorkommen. In einem Wildbachbett findet man riesige Blöcke, in einem schnellen Fluss bis kopfgroße Gerölle, weiter stromab, wo die Fließgeschwindigkeit nicht mehr groß ist, Kiesel, schließlich Sand und dann Silt (auch Schluff genannt). Je ausgeglichener ein Bach fließt, desto deutlicher sieht man diese Sortierung nach der Fließgeschwindigkeit. Sie wurde experimentell bestimmt und im Hjulström-Diagramm eingetragen. Nun kann man die gefundenen Höhlensedimente analysieren, um die mittlere Korngröße herauszufinden (oft geht das auch von Auge!), und daraus schließen, wie schnell der Bach floss.

Benennung: Vielen Leuten ist der Unterschied zwischen Sand, Silt und Ton nicht klar. Dieser Unterschied ist nicht vom Mineral, das das Sediment aufbaut, abhängig, sondern von der **Korngröße**. Im Folgenden die Unterschiede:

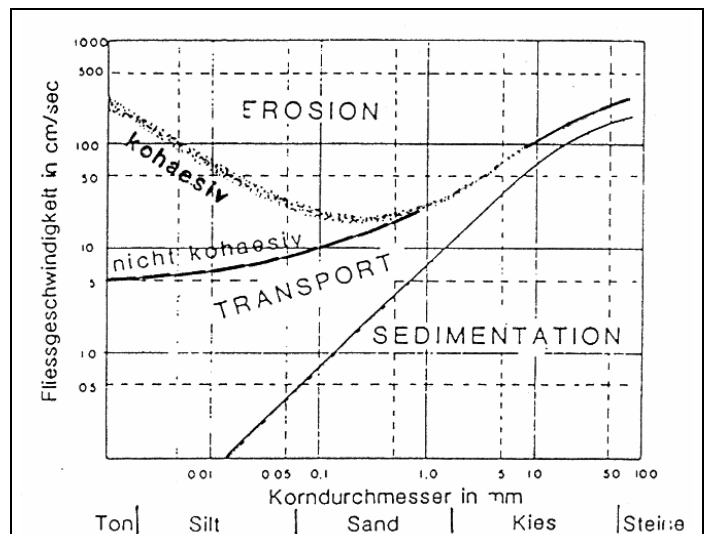
- über 20 cm: Blöcke
- zwischen 20 cm und 2 mm: Kies (auch Schotter genannt; Unterteilung in Grobkies: bis 2 cm)
- zwischen 2 mm und 0.063 mm (=63 μ m): Sand
- zwischen 63 μ m und 2 μ m: Silt (Merkmal: knirscht noch zwischen den Zähnen)
- darunter: Ton

Mit dem freien Auge sind Silt und Ton allerdings nicht voneinander zu unterscheiden. Detritische Sedimente müssen nicht von einem frei fließenden Bach transportiert und abgelagert werden. Sie können sich auch in Siphons und unterhalb des Karstwasserspiegels absetzen, vergleichbar mit der Ablagerung in einem See.

Die Farbe der detritischen Sedimente ist von ihrer Zusammensetzung abhängig. Lehm, mit Humusmaterial (oder auch Manganabscheidungen) vermischt, ist schwärzlich, mit Eisenmineralien meist rötlich. Sandsteingeröll ist sandsteinfarben etc. Ausnahmen sind da zu verzeichnen, wo die Oberfläche durch chemische Einflüsse verändert wurden. Die häufigste Alteration ist, dass gewisse Gerölle durch Manganablagerungen schwarz aussehen. Schlägt man sie jedoch auseinander, erkennt man die Eigenfarbe.

Ein spezieller, wichtiger Fall von detritischen Sedimenten sind die Sinterbruchstücke. Gesetzt den Fall, man finde in einer ansonsten schmucklosen Höhle ein altes Sediment, das Sintergeröll aufweist, so weiß man, dass diese Höhle einmal sintergeschmückt (Warmzeit?) war, dann dieser Sinter zerstört wurde (Gletscherhochwasser?) und wieder abgelagert wurde.

Je mehr Kalk ein Feinsediment hat, desto stärker überwog die Erosion über die Korrosion (Gletschermehl). Stark kalkhaltige Feinsedimente in Höhlen sind praktisch ausnahmslos während Eiszeiten abgelagert worden.



Das Hjulström-Diagramm. Kohäsiv bedeutet zusammenklebend. Kleben Tone stark zusammen, braucht es eine viel höhere Wassergeschwindigkeit, um sie zu erodieren, als sie nur zu transportieren. Deshalb steigt die "kohäsiv" beschriftete Kurve wieder an, je feiner das Sediment wird.

Aussagen

Soeben haben wir gesehen, dass detritische Sedimente Aussagen über die Transportdistanz und die Fließgeschwindigkeit geben. Daher ist auch klar, dass Silt (=krom Geschwindigkeit) in einem Mäander (=schnell fließender Bach) darauf hindeuten kann, dass beispielsweise die Höhle nach der Entstehung nochmals unter Wasser gesetzt wurde.

Des Weiteren zeigen sie auch häufig die Fließrichtung an. Dies ist nicht so trivial wie es klingt. Wasser fließt in Höhlen nämlich recht häufig gangaufwärts, und zwar in phreatischen Bedingungen. Gute Fließrichtungsanzeiger sind Sande und Silte, denn sie bauen Rippel auf. Die flache Seite einer Rippel ist immer der Strömung zugewandt. Im Querschnitt zeigen sich häufig Schrägschichtungsformen, die ebenfalls eine Fließrichtung angeben.

Gerölle können ebenfalls Fließrichtungen anzeigen, nämlich wenn sie nicht kugelig, sondern abgeplattet oder gelängt sind. Sie liegen dann wie Fischschuppen übereinander und bilden so eine Imbrikation. Imbrikationen sind oft recht schwierig zu erkennen und nur dort gut zu sehen, wo der Sedimentschnitt parallel zur Strömungsrichtung liegt.

Auch die Lage der Sedimentkörper (im Strömungsschatten? Düseneffekte?) kann unter Umständen Fließrichtungen anzeigen.

Aussagen über die Herkunft der detritischen Sedimente können wichtig sein, indem sie zum Beispiel mithelfen, ein aktuelles oder ehemaliges Einzugsgebiet abzugrenzen. Ein typisches Beispiel hierfür sind die Augensteine, die bezeugen, dass die Nördlichen Kalkalpen einstmal Wasser und Sediment von den Gesteinen südlich davon (Zentralalpen, Grauwackenzone) erhielten.

Biogene Sedimente

Unter biogenen (biologisch entstandenen) Sedimenten verstehen wir Guano, Knochen und Schalen, die durch Tiere produziert oder eingeschleppt werden. Humus, ebenfalls biogen, fällt meistens im Eingangsbereich an und wird deshalb zu den detritischen Sedimenten gezählt.

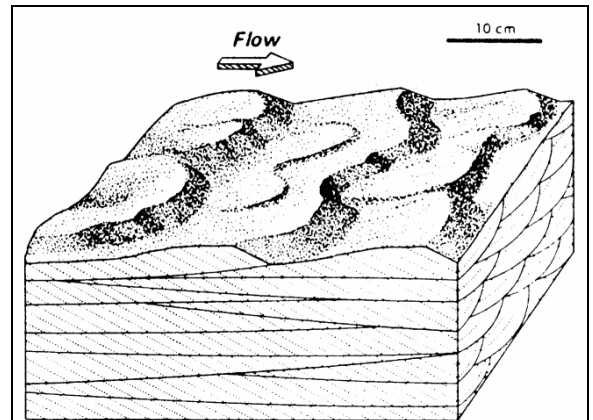
Über den Wert und der Aussagen solcher Sedimente muss hier nichts gesagt werden; es versteht sich von selbst, dass solche Sedimente direkte Zeugen einer Besiedelung und indirekt Klimazeugen sind. Zu erwähnen ist vielleicht, dass Fledermausguano einen hohen ökonomischen Wert als Dünger hat und in einigen Ländern abgebaut wird oder wurde. In Österreich wurden zum selben Zweck Phosphate als Zersetzungsprodukt von Höhlenbärenknochen aus der Drachenhöhle bei Mixnitz verwendet, ebenso wurden Phosphate in der Ciclovina uscata (Rumänien) bergmännisch abgebaut.

Höhleneis

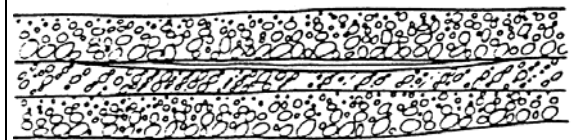
Das Höhleneis bildet einen Spezialfall unter den Sedimenten, da seine Existenz sowohl abhängig ist vom Wasserfluss (wie die detritischen und chemischen Sedimente) als auch von der Temperatur. Es liegt auf der Hand, dass die Gegenwart von Eis direkt eine Klimainformation birgt.

Mindestens theoretisch können drei Arten von Höhleneis unterschieden werden:

- Eis, das von draußen her (z.B. durch Gletscherdruck) eingepresst wurde;
- Eis, das in Form von Schnee in eine Höhle verbracht wurde und durch Umkristallisation zu Eis wurde;



Sedimentrippel und ihre Abbildung im Sedimentstapel.



Imbrikation von Geröllen. Fließrichtung von links nach rechts.

- Eis, das in Form von Wasser in die Höhle kam und durch die kalte Luft oder durch die kalte Höhlenwand erstarrte.

Die erste Art von Höhleneis ist hypothetisch, da selbst bei den vorhandenen hohen Drucken am Grund eines Gletschers die Höhlengänge zu klein sind, um ein Fließen über längere Zeit zu ermöglichen. So zeigen Castleguard Cave (Kanada) wie auch die Milchbachhöhle (Schweiz), dass der Gletscher an der Höhle vorbeifließt.

Dagegen sind die beiden anderen Arten sehr gut bekannt und dokumentiert. Schnee- und Eisschächte finden sich in den Alpen zuhauf, und oft auch sind große Eishöhlen (Eisriesenwelt, Dachstein-Rieseneishöhle) Zeugen der dritten Art.

Oft kontrovers diskutiert ist, inwiefern und bis in welche Tiefe sich während den Eiszeiten Höhleneis im Innern (Typ 3) bildete. Indizien dazu sind sehr oft kaum zu erkennen, allfällige Zeugen können oft durch andere Vorgänge erklärt werden. Bildete sich Höhleneis, oder wurde das Wasser von der Oberfläche her durch Permafrost von der Einsickerung abgehalten? Wurden die Höhlen so kalt, dass eine Eisbildung möglich war, oder wurden sie durch die Isolationswirkung des Gletschers und Schnees (an der Basis oft 0 °C und mit Schmelzwasser) von der Außenwelt abgeschirmt? Diese Frage ist soweit unklar.

Die Sedimentabfolge und ihr Bezug zur Gangmorphologie

Dieses Kapitel ist sehr wichtig, denn die Abfolge der Sedimente erschließt uns die (relative) zeitliche Abfolge der Ereignisse in der Höhle. Die Basis der Sedimentuntersuchungen ist immer die **Beobachtung**, die jeder Höhlenforscher selbst durchführen kann, ohne eine geologische Vorbildung zu haben. Einzig das Grundprinzip der Ablagerungen muss beachtet werden: junge Sedimente liegen über älteren Ablagerungen, wobei das bei komplexen Gangprofilen für die absolute Höhenlage nicht zutreffen muss. Ebenfalls wichtig ist, dass Erosionsspuren beachtet werden.

Erosionsanzeiger sind wichtig: Genauso, wie die Korngröße eines detritischen Sedimentes Aussagen macht über die Geschwindigkeit des Wassers, so zeugt auch die spätere Erosion desselben Sedimentes von einer größeren Wassergeschwindigkeit. Sehr oft werden nämlich Sedimentabfolgen später (zumindest teilweise) wieder erodiert; diese Erosionsphase muss, wenn man die Entstehungsabfolge der Höhle studieren will, ebenfalls in Betracht gezogen werden.

Wie oben erwähnt, zeigen uns die Sedimente, zumindest in erster Linie, die Wassermenge, ab und zu auch das vermutlich vorhandene Klima vor der Höhle, an:

- Tropfstein: vermutlich Warmzeit
- Geröll: hoher Durchfluss
- Sand: niedriger Durchfluss
- Lehm: kaum Durchfluss, Stauung
- Silt: Stauung (evtl. durch Gletscher, Kaltzeit?)

Wenn wir nun beispielsweise in einem phreatischen (elliptischen) Gang am Boden Geröll finden, darüber Silte, und zum Schluss einen Tropfstein, so wissen wir, dass nach (oder während) der Gangentstehung ein hoher Durchfluss herrschte. Danach wurde am Eingang das Wasser aufgestaut. Nach dem Abfluss des Wassers wuchs sodann der Tropfstein.

Der Durchfluss in einer Höhle ist abhängig von der Wassermenge, diese wiederum hängt ab von der Regenmenge resp. von der Schneeschmelze. Natürlich muss in Betracht gezogen werden, dass sich das Einzugsgebiet auch verändern kann. Dennoch zeigt uns eine Schüttungsänderung mittelbar eine Klimaänderung an. Selbstverständlich muss diese verifiziert werden - das Entstehen eines Umlaufganges z.B., oder Versturzerereignisse in einem Gang können die Schüttung ändern, ohne dass sich das Klima geändert hat. Dennoch: der Nutzen der detritischen Sedimente für eine Rekonstruktion des Paläoklimas ist unbestritten.

Da Erosionen oft nicht alle Sedimente wegräumen, ist es so, dass die Höhlen über lange Zeiträume Ereignisse aufzeichnen: sie sind richtige Archive der Erdgeschichte. Die Kopplung von Morphologie, Sedimenten und weiteren Daten erlaubt oft das Erkennen von mehreren Klimawechseln - Informationen, die vor der Höhle vom letzten Gletscher weggewischt worden sind. Aus diesem Grunde sind Höhlen von großer Bedeutung für die Rekonstruktion des Klimas und der Landschaftsgeschichte.

Die größte Unklarheit betrifft den Silt auf den Rändern der phreatischen Röhre. Silte lagern sich bei Stauungen ab. Aufgrund der erhöhten Position könnte dieser Silt zeitgleich mit der Nr. 7 abgelagert worden sein und die nachfolgende Erosion überlebt haben, genauso könnte er aber während Nr. 10, 16 oder 19 abgelagert worden sein.

Nichtsdestotrotz haben wir eine Abfolge festgestellt, während der derselbe Gang ganz unterschiedlichen Wasserflüssen ausgesetzt war. Wird nun das Profil klimatisch interpretiert (die vier unterschiedlichen Siltlagen deuten zum Beispiel auf vier Eiszeiten hin), und werden ausgewählte Sedimente sodann datiert, so haben wir eine zeitlich eingeordnete Abfolge - mit einer Genauigkeit, die oft nur in Höhlen zu finden ist.

Methoden der Sedimentuntersuchung

In diesem kurzen Abschnitt werden die verschiedenen Methoden vorgestellt, die sich zur Sedimentbeschreibung und Problemlösung eignen; diese Aufzählung soll kein Rezeptbuch darstellen, sondern die Möglichkeiten beschreiben. Viele dieser Methoden sind nur mit großem Aufwand von Spezialisten durchführbar. Wie bereits gesagt, ist die Grundlage **jeder** Sedimentuntersuchung die **Beobachtung** im Feld – und beobachten und beschreiben kann jeder Höhlenforscher!

Methoden zur Sedimentcharakterisierung

Profilaufnahme

Um Änderungen in den Ablagerungsbedingungen zu dokumentieren, ist eine Aufnahme der Sedimentprofile (maßstäbliche Zeichnung) oftmals nötig.

Korngrößenanalyse

Wie im allgemeinen Teil schon angetönt, sagt die Korngröße etwas über die Fließgeschwindigkeit aus. Das Gesamtsediment wird gesiebt und die einzelnen Fraktionen gewogen. Feinanteile, die für ein Sieb zu klein sind, werden mit der Sedimentationswaage gewogen. Die erhaltenen Kornsummenkurven geben Aufschluss über Fließgeschwindigkeit und z.T. Ablagerungsmilieu.

Geröllanalyse

Bei der Geröllanalyse schaut man, wieviel von welchem Gestein im Sediment vorhanden ist (eignet sich bis zur Kiesfraktion). Dies gibt ungefähren Aufschluss über die Herkunft des Gesteines. Nebenbei kann die Rundung abgeschätzt und so auf die Transportdistanz geschlossen werden.

Tonmineralogie

Die Analyse der Tonmineralien kann unter speziellen Umständen zu einer besseren Kenntnis der Sedimententstehung beitragen. Die Tonmineralienaufbereitung ist relativ komplex, die Analyse, die mit Röntgengeräten erfolgt, ebenso.

Calcimetrie

Die Calcimetrie gibt Aufschluss über den Kalkgehalt des (Fein-)Sedimentes. Man versetzt eine bestimmte Menge Sediment mit Säure und misst die entstehende Menge an Kohlendioxid. So lässt sich der Gehalt an Karbonat (meist Kalk und Dolomit) errechnen.

Schwermineralanalyse

Bei der Schwermineralanalyse werden sandige Sedimente dekarbonatisiert und dann in eine Schwereflüssigkeit gegeben. Die schweren Mineralien (schwerer als Quarz und Feldspäte, d.h. mit einer Dichte größer $2,7 \text{ g/cm}^3$) sinken ab. Im optischen Mikroskop werden die Häufigkeiten der einzelnen Mineralien gezählt. Diese Methode gibt Aufschluss über die Herkunft des Sedimentes. Die Schwermineralanalyse ist im Prinzip bei Sanden, was die Geröllanalyse bei Kiesen ist.



Quarzmorphoskopie

Bei der Quarzmorphoskopie wird die Gestalt der Quarzkörner unter dem Mikroskop beobachtet. Zerbrochene Körner deuten auf (Frost-)Bruch hin, runde, matte Körner auf Wind- (selten Meer-) Transport mit chemischer Alteration, runde, polierte Körner auf Flusstransport und/oder Strandablagerungen. Die Morphoskopie gibt vor allem Auskunft über das Ablagerungsmilieu und das Geschehen VOR dem Einwaschen in die Höhle.

Dünnschliffmikroskopie

Die Dünnschliffmikroskopie ist die für Festgesteine am häufigsten angewandte Methode. Ein Gestein wird auf 30 μm geschliffen und unter dem Mikroskop begutachtet. In günstigen Fällen lassen sich nebst der Zusammensetzung des Gesteins auch die Geschichte der Ablagerung und Verfestigung ermitteln.

Datierungsmethoden

Radiokarbon Methode - ^{14}C

Die ^{14}C -Methode (gesprochen: „C-14-Methode“) wird vorwiegend an organischen Resten des Höhleninhalts angewendet. Sie kann bis zu einem Alter von ca. 50 000 Jahren verwendet werden.

U-Th-Methode

wird hauptsächlich an Tropfsteinen angewandt und dort besprochen.

Kosmogene Nuklide

Gesteine an der Oberfläche der Erde werden aus dem Kosmos bestrahlt. Aufgrund dieser Bestrahlung bilden sich kosmogene Nuklide. Im Mineral Quarz bilden sich unter anderem ^{10}Be und ^{26}Al , und zwar im Verhältnis 1:7. Wird nun dieser Quarz von der Oberfläche in eine Höhle gewaschen, so bilden sich keine neuen Nuklide, und die vorhandenen beiden (radioaktiven) Nuklide zerfallen weiter. Da ^{26}Al nur die Hälfte der Halbwertszeit von ^{10}Be aufweist, verringert sich das Verhältnis von 1:7 mit zunehmender Aufenthaltsdauer in der Höhle. Die Messung dieses Verhältnisses ergibt somit die Dauer der Zeit, seitdem das Sediment sich unter Boden befindet. Der datierbare Zeitraum liegt zwischen rund 100 000 und 5 Millionen Jahren.

Pollenanalyse (Palynologie)

Baum- und Strauchpollen sind weit verbreitet. Sie werden durch das Wasser in die Höhlen verfrachtet und lagern sich dort ab. Pollen können uns einerseits über das Paläoklima Auskunft geben (Laubbaumpollen in einer hoch liegenden Höhle deuten auf ein deutlich wärmeres Klima als heute); andererseits auch etwas direkter über die Ablagerungszeit, nämlich wenn sich Pollen heute ausgestorbener Pflanzen finden. Oft auch verrät rein die relative Häufigkeit von Pollen dem Experten, aus welcher Zeit der Blütenstaub stammt. Abgesehen von diesen seltenen Fällen ist die Pollenanalyse nur ein Hilfsmittel zur Datierung, das keine absoluten Werte liefert. Die Pollenanalyse kann auch für Tropfsteine benutzt werden.

Paläomagnetismus

Im Laufe der Erdgeschichte wechselten die Polaritäten von Nord- und Südpol mehrmals relativ abrupt. Dieser Polumkehr wird in magnetischen Mineralien festgehalten. Der Zeitpunkt dieser Umkehren ist bekannt; die letzte fand vor 780 000 Jahren statt. Der Nachteile dieser Methode sind, dass ein exaktes Alter sehr oft nicht ermittelt werden kann, da es in der Erdgeschichte mehrere Umkehren gab. Immerhin verrät ein revers magnetisiertes Sediment ein *Minimalalter* von 780 000 Jahren.

Minerale in Höhlen

Minerale (auch Mineralien) in Höhlen gibt es zuhauf! Aber Höhlenminerale gibt es nur wenige. Dies ist kein Widerspruch: Zum Beispiel besteht Quarzsand aus dem Mineral Quarz, und deshalb ist Quarz ein Mineral, das man in Höhlen findet. Aber entstanden ist er nicht in der Höhle. Allgemein bezeichnet man als "Höhlenminerale" solche, die sich in der Höhle bilden, sei es durch Kristallisation (z.B. wiederum der Spezialfall Eis) und Ausfällung (Tropfsteine, Aragonitkristalle...), oder durch chemische Reaktion zwischen Sedimenten (z.B. diverse Phosphate aus der Reaktion von Guano mit Kalkstein).

Trotz dieser obigen Einschränkung gibt es - weltweit gesehen - sehr viele Mineralien, die sekundär in Höhlen entstanden sind. In unserem Klima und bei unserer Felsbeschaffenheit sind jedoch nur wenige so wichtig, dass sie hier ausführlicher erwähnt werden sollen.

Calcit- und Aragonitkristalle scheiden sich aus calciumkarbonathaltigen Wässern aus. Um Kristalle wachsen zu lassen, muss das Wasser ruhig sein (See, langsame Verdunstung), sonst bilden sich Tropfsteine, die aus kleinsten Kriställchen zusammengesetzt sind. Sehr viele Untersuchungen wurden bereits über das Thema gemacht, wieso manchmal Aragonit entsteht anstelle von Calcit. Fest steht, dass das Angebot von Fremdionen (Mg, Fe etc. statt Ca) im Wasser ein wichtiger Faktor ist.

Ein Spezialfall, der ab und zu angetroffen wird, sind Aragonitnadeln, die an Tropfsteinen wachsen, so genanntes "Frostwork". Dieses bildet sich durch kapillare Wasserfilme an den Außenseiten des Kristalls. Dieser wächst durch Entgasung und auch Verdunstung des Wasserfilms.

Gips und Mirabilit (Natriumsulfat), sowie auch andere Salze, kommen in der Höhle nur vor, wenn Ausgangsmaterialien mit entsprechender Ionenzusammensetzung vorhanden sind. Calcium ist naheliegend aus den Kalkwänden der Höhle zu beschaffen. Sulfate entstehen sehr oft durch Oxidation von (im anstehenden Fels vorhandenem) Pyrit. Die Quelle von Natrium ist oft unklar, es wird angenommen, dass ein Ionenaustausch an Tonmineralien dafür verantwortlich sein könnte.

Als Faustregel gilt: Gips entsteht gerne in der Nähe von Mergeln und mergeligen Fugen, Mirabilit kommt nur bei niedriger Luftfeuchtigkeit vor und ist dementsprechend selten.

Für den Höhlenforscher wichtig ist die Unterscheidung zwischen Aragonit, Calcit, Gips und Mirabilit:

- Gips und Mirabilit lassen sich mit dem Fingernagel ritzen
- Mirabilit schmeckt salzig, Gips ist geschmacklos
- Aragonit ist, sofern Kristalle erkennbar sind, fast immer nadelig ausgebildet. In Tropfsteinen bildet er Lagen, die allermeist milchigweiß und undurchsichtig sind. Vorsicht: Bei weitem nicht alle solchen Lagen bestehen auch tatsächlich aus Aragonit.

In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle handelt es sich entweder um Calcit (der unter Umständen umgewandelt wurde) oder um Gips.

In Höhlen der Nördlich Kalkalpen findet sich manchmal Hydromagnesit. Meist sind keine mit freiem Auge erkennbaren Kristalle ausgebildet, sondern eher weiße Krusten oder blasenartige Gebilde, die an kleine Popcorn erinnern.

Eine genaue und sichere Identifizierung von Höhlenmineralen ist meist nur im Labor z.B. im Röntgendiffraktometer möglich.

Die nachfolgende Liste gibt die in Österreich bisher beobachteten der Höhlenminerale und Minerale in Höhlen wieder. Bei jedem Mineral wird das Kristallsystem angeführt: **triklin**, **monoklin**, **orthorhombisch**, **tetragonal**, **trigonal**, **hexagonal**, **kubisch**.

	Gruppen	Höhlenminerale (autochthon)	Minerale in Höhlen (allochthon, oder aus Nicht-Karstprozessen)
I	Elemente	Kohlenstoff (C); organisch, amorph Schwefel (S); rh.	Gold (Au); kub. (Schwermineral)
II	Sulfide	Pyrit (FeS ₂); kub. Markasit (FeS ₂); rh.	
III	Halogenide		Fluorit (CaF ₂); kub. (hydrothermal)
IV	Oxide und Hydroxide	Eis (H ₂ O); hex. Quarz (SiO ₂); trig. Hornstein (Chalcedon: SiO ₂); trig. Magnetit (Fe ₃ O ₄); kub. Hämatit (Fe ₂ O ₃); trig. Maghemit (γ-Fe ₂ O ₃); kub. Goethit (α-FeOOH); rh. Lepidokrokit (γ-FeOOH); rh. Todorokit (Mn-Oxihydrat); mon.	Quarz (SiO ₂); trig. („Augensteine“) (hydrothermal) Hornstein, Jaspis, Opal (Chalcedon: SiO ₂); trig. (mikrokrist.) Magnetit (Fe ₃ O ₄); kub. (Schwermin.) Hämatit (Fe ₂ O ₃); trig. (Schwermin.) Goethit (α-FeOOH); rh. (Schwermin.) Gibbsit (γ-Al(OH) ₃); mon. Böhmit (γ-AlOOH); rh. div. Schwermin.: Rutil, Anatas etc.
V	Carbonate Nitrate	Siderit (FeCO ₃); trig. Calcit (CaCO ₃); trig. Dolomit (CaMg(CO ₃) ₂); trig. Ankerit (CaFe(CO ₃) ₂); trig. Aragonit (CaCO ₃); rh. Vaterit (CaCO ₃); hex. Thermonatrit (Na ₂ CO ₃ · H ₂ O); rh. Soda (Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O); mon. Hydromagnesit (Mg ₅ [OH/(CO ₃) ₂] ₂ · 4H ₂ O); mon. Monohydrocalcit (CaCO ₃ · H ₂ O); hex. Nesquehonit (MgCO ₃ · 3H ₂ O); mon. Lansfordit (MgCO ₃ · 5H ₂ O); mon.	Siderit (FeCO ₃); trig. Ankerit (CaFe(CO ₃) ₂); trig. Malachit (Cu ₂ [(OH) ₂ /CO ₃]); mon. Azurit (Cu ₃ [OH/CO ₃] ₂); mon.
VI	Sulfate	Thenardit (Na ₂ SO ₄); rh. Mirabilit (Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O); mon. Hexahydrat (MgSO ₄ · 6H ₂ O); mon. Epsomit (MgSO ₄ · 7H ₂ O); rh. Gips (CaSO ₄ · 2H ₂ O); mon. Coelestin (SrSO ₄); rh.	Baryt (BaSO ₄); rh. (hydrothermal) Coelestin (SrSO ₄); rh. (hydrothermal)
VII	Phosphate Arsenate	Carbonat-Hydroxyl-Apatit (Ca ₅ [OH/(PO ₄ /CO ₃) ₃]); hex. Brushit (CaH(PO ₄) · 2H ₂ O); mon.	Fluor-Hydroxyl-Apatit (aus Schwermin.) (Ca ₅ [(F/OH)/(PO ₄) ₃]); hex.
VIII	Silikate	Illit (ca. Hydromuskovit)	Tonminerale: Illit, Montmorillonit, Kaolinit, Chlorit („Augensteine“) Glimmer: Muskovit, Biotit („Augenst.“) Feldspat und div andere Mineralbe- standteile aus den „Augensteinen“. div. Schwerminerale: Granat, Titanit, Turmalin, Zirkon Hornblende etc.
IX	Organische Substanzen		

PROBEENTNAHME VON MINERALIEN IN HÖHLEN

1. Es sind charakteristische kleine Stücke mit möglichst wenig Verunreinigungen zu nehmen. Die Probeentnahmestelle sollte sich eher in versteckten Bereichen befinden. Für die heutigen Bestimmungsmethoden sind auch sehr kleine Probenmengen ausreichend. Werden mehrere Mineralphasen vermutet, so sind entsprechend mehrere Beprobungen durchzuführen oder wenn möglich auch von der gesamten „Paragenese“ (Mineralvergesellschaftung).
2. Schöne repräsentative Mineralgruppierungen sollten nicht beprobt werden. Informative Fotos (mit Größenvergleich) sind ausreichend.
3. Auf geeignete Sammelgefäße ist zu achten: gut verschließbare, saubere Kunststoffbehälter oder Plastiksäckchen. Nicht zu große Gefäße für kleine Proben. Heikle zerbrechliche Proben sind in weiches sauberes Papier (Papiertaschentücher, WC-Papier) zu wickeln und in einen geeignet dimensionierten, druckfesten Transportbehälter zu geben.
4. Das Probengefäß ist mit Probennummer (oder Objekt- und Ortsbezeichnung) und Datum zu versehen.
5. Bei der Beprobung sehr wasserhaltiger Mineralvorkommen, z.B. bergmilchartigen Ausblühungen, ist darauf zu achten, dass so wenig als möglich Feuchtigkeit verloren geht (die Probe sollte möglichst den gesamten Inhalt des Probenbehälters ausfüllen und das Gefäß möglichst dicht zu verschließen sein). Beim Rücktransport sind starke Temperaturschwankungen zu vermeiden (nicht unter 0°C und nicht zu heiß). Wenn möglich sollte das Material schnell zur Untersuchung gebracht werden. Ist dies nicht möglich, im Eiskasten (nicht im Tiefkühlfach!) im geschlossenen Gefäß bis zur Weiterleitung aufbewahren (im Idealfall sollte die Aufbewahrungstemperatur jener in der Höhle entsprechen).
6. Bei markantem Nebengestein oder Begleitsediment ("Muttersediment") sind davon ebenfalls Proben zu entnehmen.
7. Wenn möglich ist an der Fundstelle Temperatur und Luftfeuchtigkeit, eventuell auch der CO₂ – Gehalt, sowohl in der Höhlenluft, als auch direkt an der Mineralbildung zu messen. Für Vergleichszwecke ist in diesem Fall, am selben Tag, zu ähnlicher Zeit, auch eine Klimamessung über Tage durchzuführen.
8. Anfertigung eines Fundprotokolls: Folgende Daten und Informationen sollten enthalten sein: Höhlennamen (wenn bekannt auch die Katasternummer), Höhlenteil, Seehöhe und Koordinaten (GPS) des Höhleneingangs, Informationen zur Landschaft und Region. Wichtig wäre auch die umgebende geologische Formation. Finder mit Adresse, Beschreibung der Fundumstände (Skizze/Foto), Kurzbeschreibung des Materials, Probennummer, Datum.

Weiterführende Literatur

Hill, C.A. & Forti, P. (1997): Cave Minerals of the World. NSS, Alabama, 463 p.

Die "Bibel" der Höhlenminerale weltweit, mit geschätzten 90 % der vorhandenen Literatur. Für englisch-sprechende Mineralienliebhaber ein Muss.

Höhlensinter

Das Besondere an vielen Höhlen ist deren Sinterschmuck. Der Überbegriff für sämtliche mineralischen Bildungen aus wässrigen Lösungen, die in Höhlen entstehen, ist Höhlensinter oder Speläotheme. Darunter fallen Tropfsteine, grobkristalline Drusen, Bergmilch aber auch nicht-karbonatische Bildungen wie Überzüge aus Eisen- oder Manganoxid oder Gips (siehe MB Mineralien in Höhlen). Insgesamt sind weltweit aus Höhlen über 200 verschiedene Minerale bekannt, von denen das häufigste Kalzit, trigonal kristallisiertes Kalziumkarbonat (CaCO_3), ist, von dem hier im wesentlichen die Rede ist.

Terminologie

Die mannigfaltige Bildungsweise der Höhlensinter resultiert in einer großen Bandbreite an Bildungsformen, die naturgemäß zu einer Begriffsvielfalt führt. Die in unseren Breiten wichtigsten karbonatischen Formen umfassen:

Sinterröhrchen (Spaghetti, Makkaroni): Strohalm-ähnliche Gebilde, die von der Decke vertikal nach unten wachsen und deren hohler Durchmesser (4-6 mm) dem eines Wassertropfens entspricht. Diese Gebilde sind filigran, wachsen lokal relativ schnell und können im Extremfall mehrere Meter lang werden.

Stalaktite: Deckenzapfen, die sich häufig aus einem Sinterröhrchen entwickeln und deren Wachstum sowohl in vertikaler Richtung nach unten, als auch in seitlicher Richtung durch Ablagerung von Kalzit vom außen herunterrinnenden Tropfwasser erfolgt. Im Querschnitt zeigen Stalaktite deshalb eng gescharte Baumring-ähnliche Wachstumslagen, die sich um einen zentralen Zufuhrkanal legen.

Stalagmite: Bodenzapfen, die sich in der Regel unter einem Sinterröhrchen oder einem Stalaktiten bilden, d.h. das Tropfwasser, das auf der Spitze des Stalagmiten auftrifft, hat meist schon einen Teil seiner gelösten Stoffe abgegeben. Stalagmite wachsen meist vertikal nach oben (Idealfall: kerzenförmig mit gleich bleibendem Durchmesser), können aber auch ein beträchtliches Dickenwachstum aufweisen (kegelige Formen), und zwar dann, wenn die Menge des Tropfwassers abnimmt bzw. die Ausscheidung des Kalzits nicht nur an der Spitze, sondern entlang der Flanken des Stalagmiten erfolgt. Stalagmite weisen im Querschnitt einen Baumring-ähnlichen Aufbau auf, allerdings ohne einen Zentralkanal (vgl. Stalaktite). Im Längsschnitt zeigt sich der vertikale Aufbau mit flach liegenden Lagen im Zentralbereich und geneigten an den Flanken (letztere sind bei kerzenförmigen Stalagmiten nur schwach ausgebildet).

Tropfsteinsäule (Sintersäule): Wachsen Stalaktite und Stalagmite zusammen, so entsteht eine durchgehende Sintersäule, deren Wachstum ab diesem Zeitpunkt ausschließlich in die Breite erfolgt.

Sinterfahne, Sintervorhang: Schmucke, dünne, oft durchscheinende Ablagerungen aus Kalzit, die nicht selten dem Faltenwurf eines Kleides ähneln und z.B. seitlich aus einem Stalaktiten herauswachsen. Sie entstehen durch linear ab rinnendes Tropfwasser und zeigen oft einen charakteristischen feingeschichteten Aufbau.

Boden- und Wandsinter (Sinterdecken): Die im internationalen Sprachgebrauch als „flowstone(s)“ bekannten Speläotheme stellen volumenmäßig die wichtigsten Formen überhaupt dar. Die Wasserzufuhr erfolgt nicht punktförmig wie bei Stalagmiten, sondern das Tropfwasser tritt z.B. entlang einer Kluft oder flächig aus dem Gestein aus und trifft (oft aus großer Höhe) unregelmäßig auf und führt so zu einer tafelförmigen Sinterbildung. Wandsinter können randlich an Kanten in Stalaktit-Reihen übergehen, mehrere Meter mächtig werden und mit Sedimenten (z.B. Lehm) wechsellagern.

Sinterbecken: Scheidet sich aus stehenden Gewässern in Höhlen Karbonat ab, so entstehen verschiedenartige Formen, die zum einen seitlich an der Wasseroberfläche bzw. knapp darunter vom Beckenrand Richtung Beckenzentrum wachsen und zum anderen den Boden von Höhlenseen auskleiden. Solche Sinterbecken sind je nach Lokalität z.T. nur episodisch wasserführend.

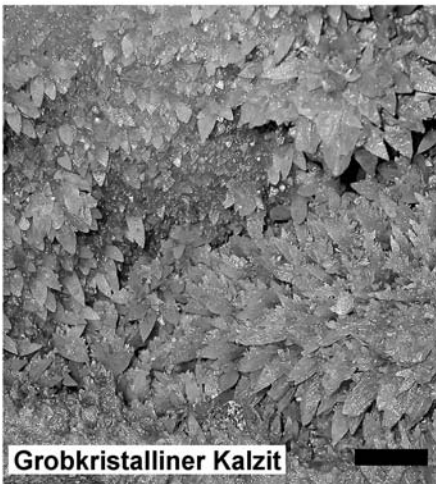
Höhlenperlen (Sinterperlen): Diese, aus konzentrischen Lagen aufgebauten, kugeligen Gebilde entstehen nur dort, wo Tropf- oder Spritzwasser eine ständige Umlagerung dieser Partikel bei langsam ablaufendem Weiterwachstum bewirkt. Unterbleibt die Zufuhr von oben bzw. ändert sich der Grad der Übersättigung in diesen kleinen Wasserbecken, dann sintern Höhlenperlen am Untergrund an.



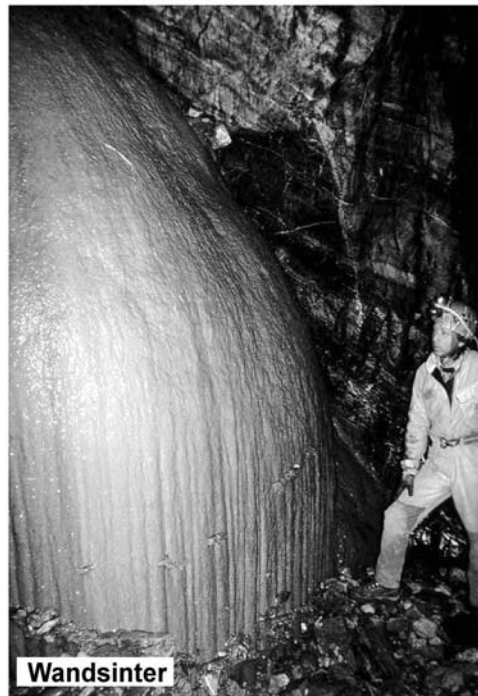
Stalaktite und Tropfsteinsäulen



Sinterröhrchen



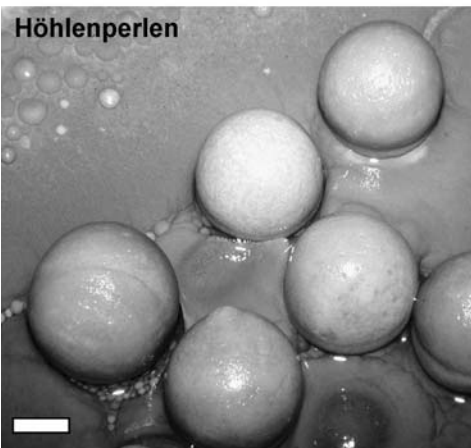
Grobkristalliner Kalzit



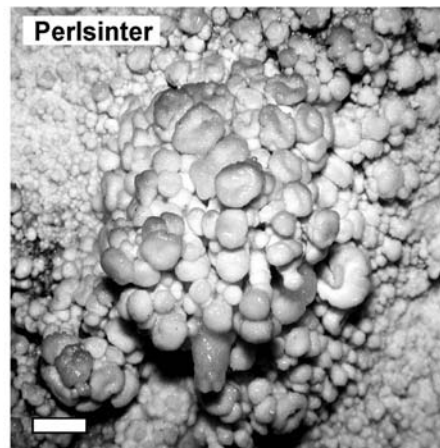
Wandsinter



Stalagmit im Längsschnitt



Höhlenperlen



Perlsinter



Excentriques

Fotos der wichtigsten Sinterformen (Balken jeweils ca. 1 cm lang).

Excentriques: Diese, auch als Heliktite bekannten, abnormen Formen kennt jeder Höhlenforscher. Gewundene, oft korkenzieherartige Formen, die scheinbar unbeeinflusst von der Gravitation wachsen. Im Unterschied zu Sinterröhrchen fehlt ihnen oft ein Zentralkanal. Die Bildungsweise der Excentriques ist ganz offensichtlich uneinheitlich. Kapillareffekte verstärkt durch einseitige Verdunstung an bewetterten Stellen dürften aber eine wichtige Rolle spielen.

Perlsinter (Knöpfchen-, Korallen-, Warzen- oder Karfiolsinter): Kleinere Sinterformen, die, wie die vielfältigen Namen nahe legen, Ähnlichkeiten mit Perlen usf. aufweisen, deren Durchmesser typischerweise einen halben Zentimeter kaum übersteigt. Sie sind häufig an bewetterten Stellen und zeigen z.T. auch die Windrichtung an, unter der sie entstanden sind. Sie finden sich aber auch recht häufig eingangsnah, z.B. in Halbhöhlen.

Grobkristalline Sinter: In machen Höhlen trifft man auf Kalzitkristalle, die mehrere Millimeter bis lokal Dezimeter groß sein können. Solche drusige Kristalle bilden sich charakteristischerweise nur unter phreatischen (d.h. wassererfüllten) Bedingungen bzw. können auf einen hydrothermalen Ursprung (d.h. Bergwässer, die höher temperiert sind als das Umgebungsgestein) eines Höhlensystems hindeuten.

Bergmilch (Mondmilch): Im Volksmund auch als „Nix“ bekannt unterscheidet sich diese Bildung von kristallinem Tropfstein-Kalzit durch seinen sehr hohen Wassergehalt, der bis zu 90 Gewichtsprozent betragen kann. Die einzelnen, extrem dünnen Kristalle (meist handelt es sich ebenfalls um Kalzit) sind so winzig, dass sie nur unter einem Elektronenmikroskop sichtbar gemacht werden können. Bei der Bildung der charakteristisch weißen und pastenförmigen Bergmilch dürften Mikroorganismen (Bakterien) eine wichtige Rolle spielen.

Warum bilden sich Höhlensinter?

Jeder Höhlenforscher weiß, dass im Zuge der Verkarstung aus dem Muttergestein gelöstes Karbonat beim Eintritt in einen Höhlenraum zum Teil wieder aus dem Tropfwasser ausfällt und Tropfsteine bildet. Nicht selten bekommt man zu hören, dass der Grund, warum diese Reaktion stattfindet, auf die Verdunstung des Tropfwassers zurückzuführen sei. Die Antwort trifft zwar auf einige Höhlen zu, übersieht aber die Hauptursache: Das Entgasen von Kohlendioxid (CO₂) aus dem Tropfwasser (siehe MB Verkarstung). Niederschlagswasser nimmt auf seinem Weg CO₂ aus dem Bodenhorizont auf und kann dadurch Karbonatgestein im Untergrund lösen. Würde dieses Grundwasser in einen völlig abgeschlossenen Höhlenraum tropfen, dann würde darin keinerlei Tropfsteinwachstum stattfinden. Erst wenn dieser Hohlraum – was in den allermeisten Höhlen der Fall ist – über Gänge, Spalten und Schächte mit der Außenluft in Verbindung steht, wenn also ein, wenn auch nur geringer, Luftaustausch mit der Atmosphäre (Bewitterung) stattfindet, sind die Grundvoraussetzungen für Sinterbildung gegeben. Das Tropfwasser „sieht“ beim Eintritt in einen Höhlenraum Luft, deren CO₂-Anteil (genauer: Partialdruck) geringer ist als der in den engen Rissen und Klüften, in denen die Lösung des Muttergesteins stattfand. Es tritt also ein Effekt vergleichbar dem bei der Öffnung einer Flasche „nicht-stillen“ Mineralwassers ein: CO₂ entweicht. Wenn – was bei Höhlenwässern oft der Fall ist – dieses Wassers ursprünglich an Kalzit gesättigt war, dann bewirkt das Entgasen von CO₂ eine nunmehrige Übersättigung an diesem Karbonatmineral: Es scheidet sich aus. Zurück zur Verdunstung: Dieser Prozess verringert das Volumen an Wasser, was zwangsweise zu einer Aufkonzentration und in weiterer Folge ebenfalls zum Entweichen von CO₂ führen kann. In den meisten Höhlen ist die relative Luftfeuchtigkeit aber nahe bei 100%, d.h. Verdunstung findet kaum statt. In stark bewetterten Höhlen und besonders in solchen, die in trockenen Gebieten liegen und in denen die Tropfstellen immer wieder austrocknen, spielt die Verdunstung eine wichtige Rolle und ist eine treibende Kraft der Bildung von Sintern, nicht selten auch Aragonit (siehe unten).

Wie wachsen Höhlensinter?

Speläotheme „wachsen“, indem Myriaden mikroskopisch kleiner Kalzit- (oder seltener Aragonit-) Kristalle, die mit ihren Kristallflächen die Oberfläche eines Stalaktiten, eines Bodensinters oder eines Sintervorhanges bilden, sukzessive Lage für Lage an eben diese freien Kristallflächen anlagern. Es handelt sich stets um ein Weiterbauen an bestehenden Kristalloberflächen, auch wenn diese z.B. durch

feinste Tonmineral-Partikel verunreinigt sein können. Sintersubstanz ist daher stets kristalliner Natur, wenn auch mitunter von extrem kleiner Kristallgröße (z.B. Bergmilch).

Da der Wasserfilm, in dem die gelösten Stoffe angeliefert werden, nur Bruchteile eines Millimeters dünn ist, können sich bei den genannten Sinterformen keine größeren Kristalle bilden, da deren Enden über den Film hinausragen und so in ihrem Wachstum gestoppt würden. Anders hingegen die Situation in Sinterbecken. Dort können bei entsprechender Übersättigung Kristalle frei in die Lösung hinauswachsen und Kristallrasen oder -drusen entstehen.

Warum sind manche Höhlensinter gefärbt?

Das Hauptmineral der Speläotheme, Kalzit, besitzt keine Eigenfarbe (gleiches gilt für Aragonit). Hochreiner Kalzit, ob als Tropfstein, Kalkstein oder Kalkmarmor ist äußerlich weiß, mikroskopisch betrachtet farblos durchscheinend. Trotzdem erscheint die Mehrzahl der Höhlensinter in Farben, die im wesentlichen auf drei verschiedene Prozesse zurückgeführt werden können: Organische Stoffe, so genannte Humin- und Fulvinsäuren, die durch das Tropfwasser in Spuren aus dem Bodenhorizont in das Höhlensystem eingebracht werden, verursachen die häufige hell- bis dunkelbräunliche, seltener auch gelbbraune Färbung von Tropfsteinen. Eine zweite Form der Färbung wird durch winzige Partikel von Eisen- und/oder Manganoxiden und -hydroxiden bedingt, die über das Tropfwasser oder lokal auch durch die Höhlenluft (Staub) eingetragen werden. Diese anorganischen Pigmente resultieren in braunen (Eisenverbindungen) bzw. schwarzen (Manganverbindungen) Farben. Schwarze Pigmentierung kann lokal auch durch die Deposition von Ruß entstehen, z.B. wenn Rauch in eine Höhle zieht. Selten tritt auch eine dritte Form von Färbung durch den Einbau von spezifischen Spurenmetallen in das Kristallgitter des Kalzits auf. So färben Spuren von Kupfer kalzitische Sinter meist grün, aragonitische Sinter hingegen bläulich. Diese optisch attraktiven Sinterbildungen finden sich nicht selten in alten Erzbergbauen.

Wie rasch wachsen Höhlensinter?

Kaum eine Frage wird von Höhlenbesuchern so oft gestellt wie diese. Leider geistern diesbezüglich nicht immer gut fundierte Zahlen durch das bisherige höhlenkundliche Schrifttum. Zudem haben moderne Untersuchungen gezeigt, dass die Wachstumsgeschwindigkeit einer bestimmten Sinterform bei Leibe nicht mit einer Zahl charakterisiert werden kann und stark davon abhängt, wo die betreffende Höhle gelegen ist. Qualitativ kann gesagt werden, dass Höhlensinter in warm-feuchten Klimaten schneller wachsen also solche in trockenen und/oder kalten Regionen. Auf die Alpen umgelegt bedeutet dies, dass Sinter in einer Höhle auf Talniveau tendenziell schneller wachsen als vergleichbare Sinter einer hochgelegenen Höhle. Grund dafür ist letzten Endes die (mit der Seehöhe abnehmende) Temperatur, die die Vegetationsverhältnisse und den Aufbau des Bodens langfristig kontrolliert; Parameter, welche ihrerseits wieder den Motor für die Karstlösung und den Eintrag entsprechender Sickerwässer in unterirdische Hohlräume darstellen.

Zu den am schnellsten wachsenden Speläothemen zählen die Sinterröhrchen. Wie aus aufgelassenen Bergwerken bekannt können diese filigranen Gebilde bis zu mehrere Millimeter pro Jahr an Länge zunehmen, wenn auch die Hauptmasse deutlich langsames Wachstum "bevorzugen" dürfte. Über das Wachstumsverhalten von Stalaktiten existieren keine genauen Untersuchungen in alpinen Höhlen, aber man kann von Geschwindigkeiten zwischen einigen Hundertstel bis maximal wenigen Zehntel Millimeter pro Jahr ausgehen. Wesentlich besser Bescheid weiß man über Stalagmite. Altersbestimmungen (siehe Kap. Sinterdatierung) und (mikroskopische) Messungen sichtbarer Jahreslagen haben gezeigt, dass Stalagmite aus ostalpinen Höhlen unter derzeit herrschenden Klimabedingungen pro Jahr um etwa 4 bis 6 Hundertstel Millimeter größer werden. Umgelegt auf ein Menschenleben bedeutet dies einen Längenzuwachs von wenigen Millimetern.

Kalzit oder Aragonit?

Kalziumkarbonat, CaCO_3 , tritt in zwei kristallinen Modifikationen auf, einmal Kalzit (Kalkspat) und zum anderen Aragonit. Der Hauptunterschied liegt in der Kristallstruktur. Aragonit ist wesentlich seltener als Kalzit und weist oft auf spezifische Bildungsbedingungen hin (warme Höhlen, relativ geringe

Luftfeuchtigkeit der Höhlenluft, Mg-reiche Gesteine, z.B. Dolomit). Zudem ist Aragonit in Höhlen und nahe der Erdoberfläche instabil und wandelt sich langsam in den stabilen Kalzit um. Bekanntestes heimisches Beispiel für aragonitische Sinter sind die Eisenblüten, die allerdings hauptsächlich in Erzbergbauen vorkamen.

Das Erkennen von Aragonit erfordert einige Erfahrung. Hauptmerkmale von aragonitischen Speläothemen sind deren schneeweiße Farbe, die – falls erkennbar – extrem dünn-faserigen Kristalle, sowie deren Undurchsichtigkeit. Eine sichere Bestimmung ist jedoch nur mit Labormethoden möglich, wozu geringe Mengen etwa vom Volumen eines Streichholzkopfes benötigt werden. Solche Untersuchungen können in den meisten geowissenschaftlichen Instituten routinemäßig durchgeführt werden.

Aktiv oder fossil?

Die Entscheidung, ob eine bestimmte Tropfstein-Form momentan im „Wachsen“ begriffen, also aktiv ist, ist oft keine einfach zu beantwortende Frage. Das bloße Tropfen auf einen Stalagmiten muss nicht zwangsläufig bedeuten, dass hier Karbonat abgelagert wird (wenngleich es in vielen Fällen zutrifft). Den Tropfsteinen „beim Wachsen zusehen“ ist aus logistischen Gründen kaum durchführbar (und so auch deren „Wachsen“ nicht innerhalb kurzer Beobachtungszeiten nachweisbar). Antwort kann letztlich nur die Kombination von hydrochemischen Messungen, daraus erfolgter Berechnung der Unter- bzw. Übersättigung des Tropfwassers an Kalzit und die Langzeitbeobachtung z.B. durch genaues Vermessen oder Markieren von einzelnen Höhlensinterformen geben.

Fossile, d.h. seit Jahrtausenden oder gar Jahrmillionen inaktive Speläotheme erkennt man hingegen relativ leicht an Merkmalen wie graue oder braune Außenfarbe (bedingt durch nachträgliche Anlagerung z.B. von toniger Substanz), die nicht mit der des eigentlichen Sintermaterials im Inneren zusammenpasst, oberflächliche Erosionsmerkmale, fehlende Tropfwasserzufuhr, Versatz durch Brüche, und Umlagerung bzw. Überschichtung durch tonig-sandiges Sediment.

Höhlensinter als Indikatoren

Höhlen stehen in Kommunikation mit der Erdoberfläche und Höhlensinter sind gewissermaßen Stein gewordene Zeugnisse der Einwirkung von Niederschlagswässern und deren Einwirkung auf Karbonatgestein.

Rege Tropfsteinbildung weist auf intensive Karstlösungsprozesse oberhalb der Höhle hin bzw. auf ein humides (Niederschlag überwiegt die Verdunstung) und oft warm-feuchtes Klima mit hoher Niederschlagsrate und gut entwickelter Vegetation und Boden. Umgekehrt zeigen Höhlen in niederschlagsarmen Gebieten, aber auch in kalten (alpinen) Höhlen tendenziell geringeren Tropfsteinschmuck. Allerdings ist Vorsicht bei der unkritischen Übertragung solcher Aussagen angebracht, denn wir kennen in den allerwenigsten Höhlen die Altersverteilung der Speläotheme. Auch wenn es auf einen meterhohen Stalagmiten tropft, kann dieser aus einer klimatisch völlig anderen Zeit stammen und nichts über den heutigen Zustand der Höhle bzw. ihrer klimatischen Lage aussagen. Sicher ist jedoch, dass das Wachstum der Tropfsteine während der großen Eiszeiten des Quartärs (siehe Kap. Quartär) so gut wie völlig zum Erliegen gekommen ist bzw. ältere Sinterformationen lokal durch Gletscherschmelzwässer sogar zerstört worden sind.

Weiterführende Literatur

Bögli, A. (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie. – 292 S., Berlin (Springer).

Ford, D.C. & Williams, P. (1989): Karst Geomorphology and Hydrology. - 601 S., London (Chapman & Hall).

Hill, C. & Forti, P. (1997): Cave Minerals of the World. – 2. Auflage, 463 S., Huntsville/Alabama (National Speleological Society).

Höhlengeheimnisse (2001): Ausstellungskatalog Mineralientage München, 272 S.

Datierung von Höhlensintern

Fragestellung

Es ist einleuchtend, dass Tropfsteine auf Grund ihres sehr langsamen Wachstums ein hohes Alter aufweisen können. Nur mittels physikalischer Methoden ist es jedoch möglich, die genaue Bildungszeit zu bestimmen. Alte Tropfsteine können auch ein sinnvolles Mindestalter der Höhle selbst liefern; eine höhlenkundlich zentrale Frage, die für die allermeisten Höhlensysteme nur annähernd beantwortet werden kann.

Physikalische Grundlagen

Die Altersbestimmung von Höhlensintern beruht auf dem fundamentalen physikalischen Gesetz des radioaktiven Zerfalls. Gewisse Atome, so genannte instabile Isotope, zerfallen mit präzise bekannter Geschwindigkeit. Diese Umwandlung von einem Element in ein anderes ist ein durch äußere Bedingungen unbeeinflussbarer Prozess, bei dem radioaktive Strahlung frei wird. Aus der Menge des heute noch vorhandenen Mutter-Isotops kann – stark vereinfacht gesagt – die Zeit bestimmt werden, seit dieser Zerfallsprozess abläuft. Eine wichtige Maßzahl in diesem Zusammenhang ist die bekannte Halbwertszeit: Sie gibt jenen Zeitraum an, in dem genau die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Isotope zerfallen sind. Vom Kohlenstoff-Isotop ^{14}C (sprich: C14) zerfällt in 5730 Jahren exakt die Hälfte zum Element Stickstoff. Heutige Messinstrumente erlauben es, maximal 8 bis 10 Halbwertszeiten zurück zu datieren. Im Falle von ^{14}C bedeutet dies, dass Proben bis zu einem maximalen Alter von grob gesagt 50.000 Jahren bestimmt werden können.

Die Radiokarbon-Methode

Mit dieser wohl bekanntesten Altersbestimmungsmethode – mit der z.B. das Alter des „Eismanns Ötzi“ bestimmt wurde – hat seinerzeit Herbert W. Franke weitweit die ersten Altersbestimmungen an Höhlensintern versucht. Heute wird diese Methode kaum noch zu diesem Zweck eingesetzt. Der Grund dafür liegt in der Art und Weise, wie das Element Kohlenstoff (C) seinen Weg in das Kristallgitter des Minerals Kalzit (CaCO_3) findet: Die ^{14}C -Methode funktioniert nämlich nur in den Fällen einwandfrei, in denen der gesamte C aus dem biologischen Kreislauf stammt (^{14}C wird in der höheren Atmosphäre gebildet und über die Pflanzen in selbigen aufgenommen). In Karstgebieten gelangt jedoch viel C in das Wasser, der aus dem Lösung von Kalk- oder Dolomitgestein stammt. Der Anteil dieses ^{14}C -freien, „toten“ C in Karstwässern ist variabel und täuscht im daraus entstehenden Höhlensinter ein zu hohes Alter vor. Ein weiteres Problem bei der Datierung mittels ^{14}C ist die Tatsache, dass in der Vergangenheit nicht immer gleich viel ^{14}C in der Atmosphäre gebildet wurde, die „Uhr“ also einmal schneller, dann wieder langsamer „ging“. Für den Zeitraum der letzten 12.000 Jahre hat man die Korrektur zwar im Griff; davor sind jedoch alle ^{14}C Messungen mit einem nicht unerheblichen Korrekturfehler behaftet.

Die Thorium-Uran-Methode

Die Methode der Wahl für die Altersbestimmung von Höhlensintern heißt ^{230}Th - ^{234}U -Ungleichgewichtsmethode, oder kurz Thorium-Uran-Methode (auch Uran-Thorium-Methode genannt). Sie beruht auf dem radioaktiven Zerfall des Isotops ^{234}U zu ^{230}Th , welches in einem nachfolgenden Schritt ebenfalls zerfällt. Das Prinzip ist folgendes: Tropfwasser enthält sehr geringe Mengen an U; in kalkalpinen Karstwässern kaum mehr als wenige hundert Millionstel eines Prozents. Diese Spuren an U werden in den sich bildenden Kalzit des Tropfsteins eingebaut, und zwar nicht als Verunreinigung, sondern fest im Kristallgitter verankert. Ab diesem Zeitpunkt „tickt“ die „Uhr“: Aus ^{234}U entsteht das Isotop ^{230}Th , das anfänglich im Kalzit nicht vorhanden war. Je älter ein Tropfstein, desto größer wird das Verhältnis von ^{230}Th zu ^{234}U . Da ^{230}Th auch radioaktiv ist, lassen sich mit dieser Methode nicht beliebig alte Höhlensinter datieren. Die obere Messgrenze liegt bei etwa einer halben Million Jahre, das ist etwa zehn Mal so viel wie bei der Radiokarbon-Methode.

Für eine Thorium-Uran-Altersbestimmung werden zwischen 0,02 und 0,2 g Material benötigt (im Vergleich dazu wiegt ein Stück Würfelzucker ca. 3 g). Die genaue Einwaage richtet sich nach dem Gehalt des Spurenelements U in der Probe. Je weniger U in der Probe, desto mehr Material wird für eine gute Messung benötigt. Die Probe wird im Labor unter Reinstraumbedingungen aufgelöst, die beiden Spurenelemente U und Th chemisch abgetrennt und anschließend die entsprechenden Isotopenverhältnisse massenspektrometrisch gemessen.

Probenauswahl und Probennahme

Die Beprobung von Höhlensintern richtet sich nach der Fragestellung und muss selbstverständlich dem Höhlenschutz Rechnung tragen. Als ideale Objekte für die Datierung haben sich Stalagmite erwiesen. Der Grund dafür ist ihr meist gut erkennbarer interner Aufbau entlang der vertikalen Wachstumsrichtung. Gut eignen sich auch Wandsinter (siehe Bild), während Bodensinter und Stalaktite nur selten benützt werden.

Bei der Beprobung ist auf optisch sauberes Material zu achten; durch Verunreinigung mit organischer Substanz bzw. Tonmineralen braun oder grau gefärbtes Sintermaterial ist meist ungeeignet, da diese Verunreinigungen Th enthalten und die Messung verfälschen (zu hohe Alter vortäuschen). Bodensinter, der mit Höhlenlehm wechsellagert, ist meist nicht geeignet, da sich durch die hohe Bodenfeuchtigkeit bzw. Überschwemmungen der Höhle (Ablagerung des Lehms) das Sintermaterial nachträglich in seiner Zusammensetzung verändern kann und so die radioaktive „Uhr“ verfälscht wird. Vorsicht ist ebenfalls vor porösen Sinterproben angebracht, da diese nachweislich angelöst wurden und so deren chemische Zusammensetzung verändert wurde.

Die Beprobung geschieht, wenn möglich, an Hand von Bruchstücken oder optisch kaum störenden Kernbohrungen. Für eine umfassende wissenschaftliche Untersuchung werden hingegen ganze Stalagmite entnommen, der zentrale Abschnitt herausgeschnitten und daraus zahlreiche Einzelproben für die Datierung entnommen.

Die Grenzen der Thorium-Uran-Methode

Mit dieser Methode kann der gesamte Zeitbereich von heute bis vor etwa 400.000 Jahre vor heute abgedeckt werden. Die obere Grenze ist variabel und hängt unter anderem von der genauen Zusammensetzung der untersuchten Probe ab. Im Idealfall können sogar Proben mit einem Alter von etwa 500.000 bis 600.000 Jahren noch datiert werden, wenn auch mit einem großen Messfehler.

Wie genau kann datiert werden?

Im Zeitbereich bis etwa 100.000 Jahren überschreitet der Messfehler bei gutem Material 1 bis 2% nicht, d.h. eine 52.000 Jahre alte Probe hätte einen Fehler von z.B. ± 400 Jahren. Im Klartext heißt das, dass bei Nachmessungen ein und derselben Probe 95% aller Messwerte innerhalb von 51.600 und 52.400 Jahren liegen. Der Fehler nimmt mit zunehmendem Alter zu; eine 300.000 Jahre alte Probe kann kaum besser als auf ± 6.000 Jahre datiert werden. Im Schrifttum finden sich Analysen, deren Fehler oft deutlich höher sind, z.B. 105.000 ± 12.000 Jahre. Fast alle dieser älteren Daten wurden mit einer Vorläufer-Methode der heutigen (massenspektrometrischen) Thorium-Uran-Methode bestimmt, die weniger genaue Werte lieferte: die so genannte alpha-Spektrometrie. Die Werte sind zwar (meist) richtig, aber weniger präzise.



Entnahme eines Sinterbohrkerns.

Interpretation von Thorium-Uran-Messungen

Die Auswertung von Altersmessungen an Sinterproben erfordert Erfahrung und insbesondere eine gute Kenntnis der Fundsituation und des Materials. Vorsicht ist bei Einzelwerten angebracht, d.h. wenn nur eine einzelne Messung einer größeren Tropfsteinprobe vorliegt. Erst die Datierung eines zusammenhängenden Sinterprofils, etwa von der Basis zum Top eines mächtigeren Wandsinter-Profils kann Klarheit über die Altersstruktur schaffen. Aus solchen Daten lassen sich dann auch interessante Rückschlüsse auf die Wachstumsgeschwindigkeit ziehen.

Was kosten Sinterdatierungen?

Im Gegensatz zur bekannten Radiokarbon-Methode gibt es für die Thorium-Uran-Methode zur Zeit keine kommerzielle Schiene. Das dürfte sich auch in naher Zukunft kaum ändern. Der theoretische Kostensatz einer Messung liegt bei etwa € 500.

Alternative Methoden

Leider gibt es zurzeit keine Methode, um das Alter einer Höhlensinterprobe zerstörungsfrei oder gar vor Ort in der Höhle zu bestimmen. Neben der Thorium-Uran-Methode kann auch – mit großen Vorbehalten – die etwas günstigere Radiokarbon-Methode eingesetzt werden, vor allem für geologisch junge Proben. Für sehr alte Proben steht die Uran-Blei-Methode zur Verfügung; allerdings eignen sich nur sehr wenige Proben für deren Anwendung.

Weiterführende Literatur

Dorale, J.A., Edwards, R.L., Alexander, E.C., Shen, C.C., Richards, D.A. & Cheng, H. (2004): Uranium-series dating of speleothems: current techniques, limits, and applications. – In: *Studies of Cave Sediments* (Hrsg. Sasowsky, I.D. & Mylroie, J.), S. 177-197, New York (Kluwer).

Eisenhauer, A. & Hennig, G. (1999): Methoden zur Altersbestimmung von Tropfsteinen. – In: *Höhlen. Welt voller Geheimnisse* (Hrsg. S. Kempe), S. 62-69, Hamburg (HB Verlags- und Vertriebs-Gesellschaft).

Ford, D.C. (1997): Dating and paleo-environmental studies of speleothems. – In: *Cave Minerals of the World* (Hrsg. Hill, C. & Forti, P.), S. 271-284, Huntsville/Alabama (National Speleological Society).

Franke, H.W. (2001): Höhlensinter und Vorzeitklima. – *Naturwissenschaftliche Rundschau*, 54. Jg., S. 233-239.

Häuselmann, Ph. & Granger, D.E. (2005): Dating of caves by cosmogenic nuclides: method, possibilities, and the Siebenhengste example (Switzerland). – *Acta Carsologica* 34(1): 43-50.

Richards, D.A. & Dorale, J.A. (2003): Uranium-series chronology and environmental applications to speleothems. – In: *Uranium-Series Geochemistry* (Hrsg. Bourdon, B., Henderson, G.M., Lundstrom, C.C. & Turner, S.), *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Bd. 52, S. 407-460, Washington, D.C. (Mineralogical Society of America).

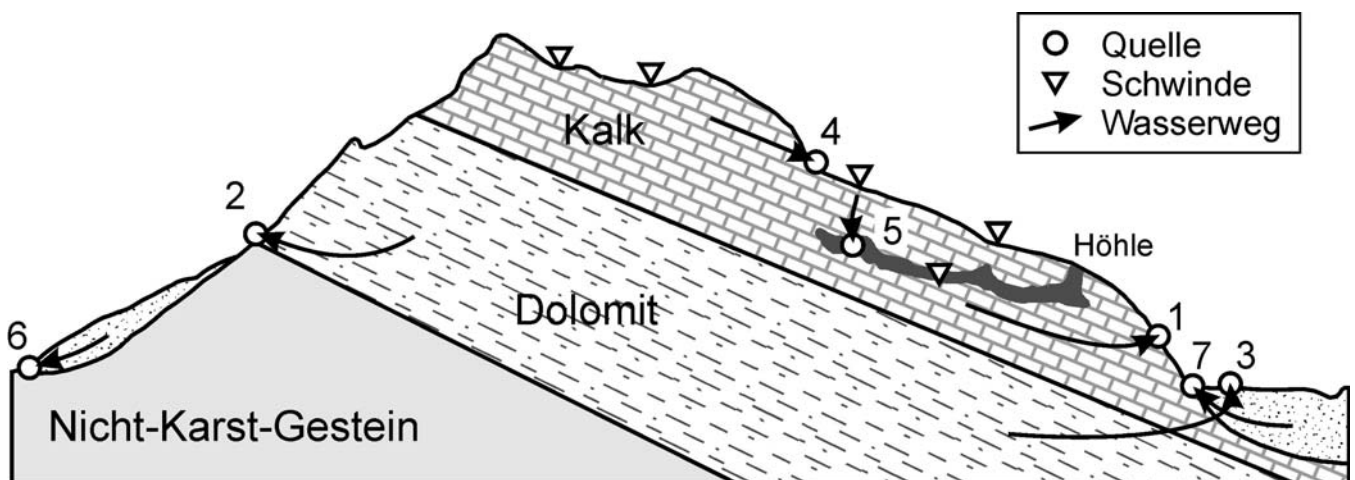
Kontaktadresse

Dr. Christoph Spötl, Universität Innsbruck, Institut für Geologie und Paläontologie, Innrain 52, 6020 Innsbruck, Email: christoph.spoetl@uibk.ac.at

Typen von Karstquellen

- 1 **Stark schwankende Karstquellen** Diese Quellen entspringen aus Karstgefäßen oder Höhlengängen mit rascher Durchflutung. Sie reagieren schnell, oft innerhalb weniger Stunden auf Niederschlag und Schneeschmelze. Die Schüttungen können auf die 10 – 1000 fache Niederschlagsmenge ansteigen. Bei längerer Trockenheit können manche völlig versiegen. Temperatur und Chemismus schwanken in geringerem Maß gegenläufig zur Schüttung (bei hoher Schüttung niedrige Temperatur und Härte).
- 2 **Ausgeglichene Karstquellen** Sie zeigen keine, oder nur geringe Reaktion auf Niederschlag und Schneeschmelze und weisen einen ausgeglicheneren Jahrgang von Schüttung, Temperatur und Härte auf. Die unverminderte Schüttung nach längerer Trockenheit weist auf ein großes Wasserreservoir (Karstwasserkörper) hin, das den schwankenden Zufluss von Niederschlags- und Schneeschmelzwasser ausgleicht. Das Wasserreservoir darf man sich freilich nicht als den sprichwörtlichen großen See im Berg vorstellen, vielmehr ist das Wasser in einem dichten, feinen Kluftnetz gespeichert. Dieser Quelltyp kommt häufig in Dolomitgebieten, seltener im Kalk vor.
- 3 **Verdeckte Karstquellen** Liegt das Einzugsgebiet der Quelle im verkarstungsfähigen Gestein, der eigentliche Quellaustritt aus dem Festgestein ist aber von Schutt oder Blockwerk verdeckt, so spricht man von einer verdeckten Karstquelle.
- 4 **Plateauquelle** Meist kleinere Spalten oder Schichtfugenquellen im Hochbereich des Gebirges, deren Wasser nach einer gewissen oberirdischen Fließstrecke durch eine Schwinde wieder in den verkarsteten Gebirgskörper eintritt. Diese Quellen haben keinen oberirdischen Abfluss zum hydrographischen Gewässernetz.
- 5 **Untertagequellen** Bergwasseraustritte in natürliche (Höhlen) oder künstliche (Stollen) Hohlräume des Festgesteines. Die grundlegende Definition einer Quelle: „Austritt von unterirdischem Wasser an die Erdoberfläche“ ist nur soweit erfüllt, als man begehbare Höhlen und Stollen als verlängerte Erdoberfläche ansieht.
- 6 **Schwemmkegel- und Hangschuttquellen** Diese Quellen haben ihr Einzugsgebiet in lokalen Lockersedimenten und beziehen kein Karstwasser. Wenn der Hangschutt aus Kalk oder Dolomit besteht, ist die Unterscheidung nach dem Chemismus oft schwierig.
- 7 **Talgrundwasserauftriebe** Aufstoßendes Grundwasser aus Begleitgrundwasserströmen der Flüsse, kein Karstwasser.

Zwischen diesen Grundtypen gibt es natürlich eine Vielzahl von Mischformen.



Quellentypen aus Dissertation von G. Völkl, 1974, verändert.

Die wichtigsten Untersuchungsmethoden von Karstwässern

Messungen an Ort und Stelle

- **Schüttung** Diverse Methoden (siehe unten)
- **Temperatur** Schöpfthermometer (Wasserthermometer)
Elektronischer Temperaturfühler
- **Elektrische Leitfähigkeit** Elektrische Widerstandsmessung

Laboruntersuchungen

Chemische Analyse:

- **Gesamthärte**
- **Karbonathärte**
- **Kalziumhärte**
- **Umweltisotope**
- **Bakteriologisch-hygienische Untersuchungen**

Methoden zur Bestimmung der Schüttung

Die Durchflussmenge oder Schüttung, ausgedrückt in Liter/Sekunde (l/s) ist die wichtigste Kenngröße die es bei einem Höhlengerinne oder einer Karstquelle zu bestimmen gilt. Die Methoden der "Hydrometrie" sind sehr vielfältig. Im Folgenden soll auf einige Methoden näher eingegangen werden, die es dem Höhlenforscher ermöglichen, Angaben über die Wasserführung von Höhlengerinnen oder Karstquellen zu machen.

Gefäßmessung

Geräte: Stoppuhr, Messgefäß

Mit dieser einfachen Methode können sehr genaue Werte ermittelt werden. Es wird die Zeit gemessen, in der ein Gefäß bestimmten Inhalts vollläuft. Für Messungen der Größenordnung 1–10 l/s genügt ein 10-Liter-Kübel. Bei höheren Schüttungen muss entweder ein größeres Gefäß verwendet, oder das Gerinne auf mehrere Stränge aufgeteilt werden. Voraussetzung für eine Gefäßmessung ist ein Überfall, unter den das Messgefäß gestellt oder gehalten werden kann. Ein solcher kann auch durch den Einbau von Blechrinnen oder einer Überfallwehr künstlich erzielt werden. Der Rauminhalt der verwendeten Messgefäße muss immer genau bestimmt (ausgelitert) werden.

Schwimmermessung

Geräte: Stoppuhr, Maßstab

Für diese Messung muss man eine Fließstrecke auswählen, an der über eine bestimmte Strecke der benetzte Querschnitt des Gerinnes möglichst gleich bleibt. Der Querschnitt wird an mehreren Stellen so genau wie möglich ausgemessen. Oberhalb der Messstrecke werden Triftkörper (Holzstücke, Papierkugeln etc.) ins Wasser geworfen und die Durchgangszeit auf der Teststrecke mit der Stoppuhr gemessen. Es sind unbedingt mehrere Messungen zu machen, aus denen ein Mittelwert zu bilden ist. Das Profil des Gerinnes kann durch Einbauten (Bretter) idealisiert werden. Die Methode bringt nur Näherungswerte.

Beispiel: Länge der Messstrecke 3m; mittlere Breite des Gerinnequerschnittes 1 m; mittlere Tiefe 10 cm; gestoppte Zeiten 3,9 s / 4,1 s / 4,0 s;

$$Q = 300 \text{ l} / 4 \text{ s} = 75 \text{ l/s}$$

Indikatorverdünnungsmethode mit Momentaner Eingabe (= Salzverdünnungsmethode)

Geräte: (wenn Kochsalz als Indikator verwendet wird) Leitfähigkeitsmessgerät, Stoppuhr, Kochsalz (die im Lebensmittelhandel erhältlichen Packungen sind erfahrungsgemäß ausreichend genau eingewogen)

Die Methode ist vom Prinzip her einfach, weist eine hohe Messgenauigkeit auf, bedarf aber einer Grundausrüstung relativ kostspieliger Messgeräte. Sie eignet sich besonders bei stark turbulenten Gerinnen. Bei der Verwendung entsprechend empfindlicher Messgeräte genügt für Schüttungen bis 500 l/s ein kg Salz.

An der Messstelle werden zunächst die Grundleitfähigkeit und die Temperatur des Gerinnes gemessen. Die Einspeisung des Salzes muss soweit oberhalb der Messstelle durchgeführt werden, dass bei dieser eine vollkommene Durchmischung gewährleistet ist und die Messung an nur einem Punkt des Gerinnequerschnittes erfolgen muss. In bestimmten Zeitintervallen wird nun an der Messstelle die Leitfähigkeit abgelesen oder automatisch registriert. Von den nach der Salzeinspeisung ansteigenden Leitfähigkeitswerten muss jeweils die Grundleitfähigkeit abgezogen und die Summe dieser Werte mit dem Zeitintervall und dem Temperaturfaktor multipliziert werden. Wird nun die eingegebene Salzmenge durch diesen Wert geteilt, so erhält man die Abflussmenge pro Zeiteinheit (= Schüttung).

$$Q = \frac{M}{\int_{t_0}^{t_E} c \cdot f \cdot dt}$$

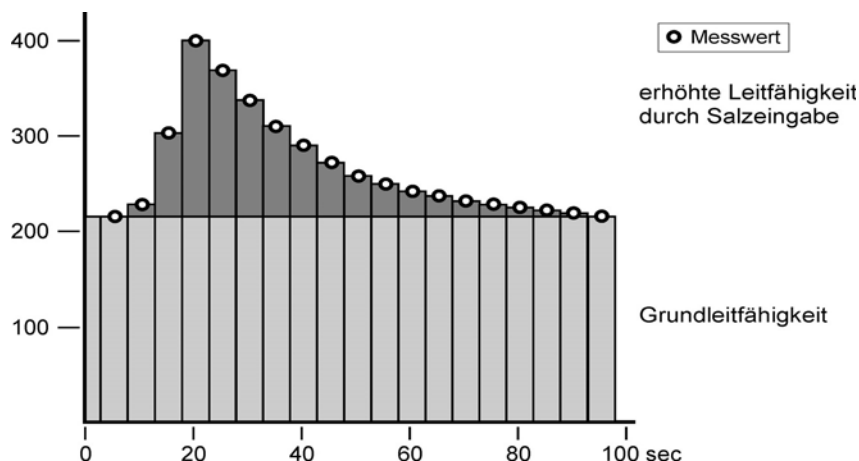
Q = Schüttung [l/s]
 M = eingegebene Salzmenge [g]
 c = abgelesene Leitfähigkeit – Grundleitfähigkeit [µS/cm]
 f = Umrechnungsfaktor LF in Konzentration [g/l], (liegt für NaCl bei etwa 0,00055)
 dt = Messintervall (z.B. 5 sec.)

Zur Berechnung müssen alle c-Werte (erhöhte LF) aufsummiert werden und mit den anderen Faktoren multipliziert bzw. dividiert werden.

Einige hilfreiche Faustregeln:

- Salzbedarf [g] ~ geschätzter Durchfluss [l/s] • 3
- Lösungswasser [l] ~ Salzmenge [kg] • 4
- Fließstrecke ~ Querschnitt • 25 (bei turbulent fließenden Gewässern)
- Max. Erhöhung der LF [µS/cm] ~ M [kg] / (Schüttung [l/s] • 100)

Für Höhlenforscher ist die Methode insofern interessant, weil nur mit einem kleinen Leitfähigkeitsmessgerät (etwa so groß wie eine Taschenlampe für Flachbatterie), einer Stoppuhr und einigen Sackerln zu 100 g Salz gearbeitet werden kann. Für die Durchführung sind dann ein bis drei Leute notwendig, die vorher aber an einem gemütlichen Bächlein bei Tageslicht üben sollten.



Literatur

Benischke, R., Harum, T. (1984): Computergesteuerte Abflussmessungen in offenen Gerinnen nach der Tracerverdünnungsmethode (Integrationsverfahren); Steirische Beiträge zur Hydrogeologie; Bd. 36; Graz.

Interpretation hydrochemischer Parameter des Karstwassers

Die an Karstwässern gemessenen chemischen und physikalischen Parameter hängen vom Aufbau des Karstwasserkörpers ab und können unter anderem Aussagen über die Seehöhe des Einzugsgebietes oder über die am Aufbau beteiligten Gesteine liefern. Dazu müssen wir aber wissen, welche Faktoren sich wie auf die Menge und Art der gelösten Stoffe im Karstwasser sowie die Variation innerhalb des Karstkörpers auswirken.

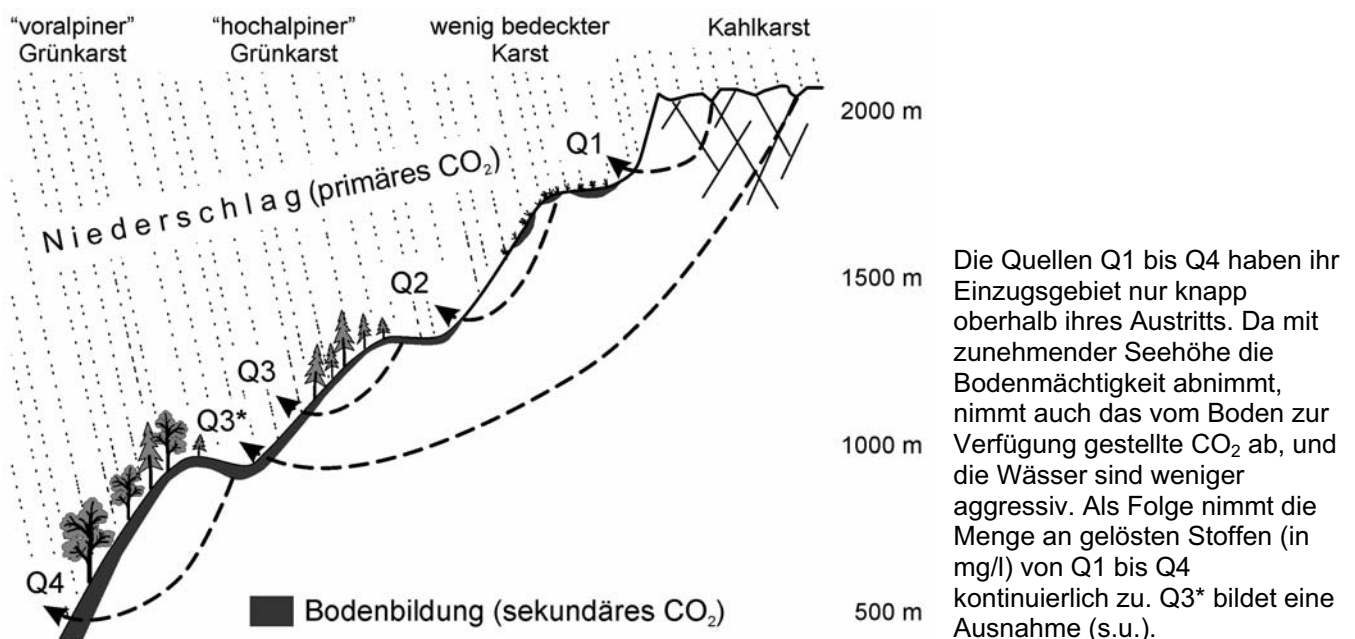
Chemisch-physikalische Parameter von Karstwässern

- **Mineralisation:** Einheit: mg/l. Für Karstwässer relevante Stoffe:
 - Ca (Calcium)
 - Mg (Magnesium) – u.a. in Dolomit
 - HCO₃ (Hydrogencarbonat)
 - SO₄ (Sulfat) – deutet auf Gips hin
 - NO₃ (Nitrat) – aus dem Boden; Überhöht: durch Düngung
 - Im Bereich von Salzlagerstätten: Na (Natrium), K (Kalium), Cl (Chlorid).
- **Elektrische Leitfähigkeit:** Ist mit der Summe der gelösten Stoffe, also mit dem Gesamtmineralgehalt korrelierbar. Einheit: $\mu\text{S}/\text{cm}$ (μS = Mikrosiemens); Karstwässern haben zumeist einige 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Faustregel: Gesamtgehalt an gelösten Stoffen [mg/l] = LF [μS] * 0,8)
- **Gesamthärte:** Gibt die Summe an gelöstem Ca und Mg an. Ist, wenn nicht durch Salzlagerstätten beeinflusst, proportional zum Gesamtgehalt an gelösten Stoffen (Faustregel: Gesamthärte = Gesamtgehalt [in mg/l] / 30).
- **pH-Wert:** Gibt an wie „sauer“ oder wie „basisch (=alkalisch)“ ein Wasser ist. (pH 7 = neutral, <7 = sauer, >7 = basisch). Somit lassen sich z.B. Rückschlüsse auf vorhandenes aggressives CO₂ ziehen.

Wichtige Faktoren für die Hydrochemie von Karstwässern

1 Vegetation und Bodenbedingungen

Diese Faktoren haben in hydrochemischer Hinsicht vor allem auf den Gehalt an aggressivem CO₂ im Sickerwasser und damit auf die Menge der gelösten Stoffe im Karstwasser Einfluss. Da die Bodenbedingungen klimabedingt von der Seehöhe abhängig sind, kann dieser Parameter Aufschluss über die Seehöhe des Einzugsgebietes einer Quelle geben.



Aus einer großen Zahl an Serienuntersuchungen und Einzelmessungen in alpinen Höhlen wurde die in nebenstehender Abb. dargestellte Kurve ermittelt, die den Zusammenhang zwischen Seehöhe des Einzugsgebietes und Gesamtmineralisation zeigt.

Man sieht auch, dass die Variabilität innerhalb der Karsttypen umso größer ist, je mächtiger die Boden- bzw. Vegetationsbedeckung ist. Dort sind lokal sehr unterschiedliche Verhältnisse festzustellen, was eine große Spannweite im CO₂-Angebot und damit letztlich auch in der Gesamtmineralisation mit sich bringt. Deshalb wirken sich Niederschlagsereignisse im Grünkarst besonders stark auf die Mineralisation aus.

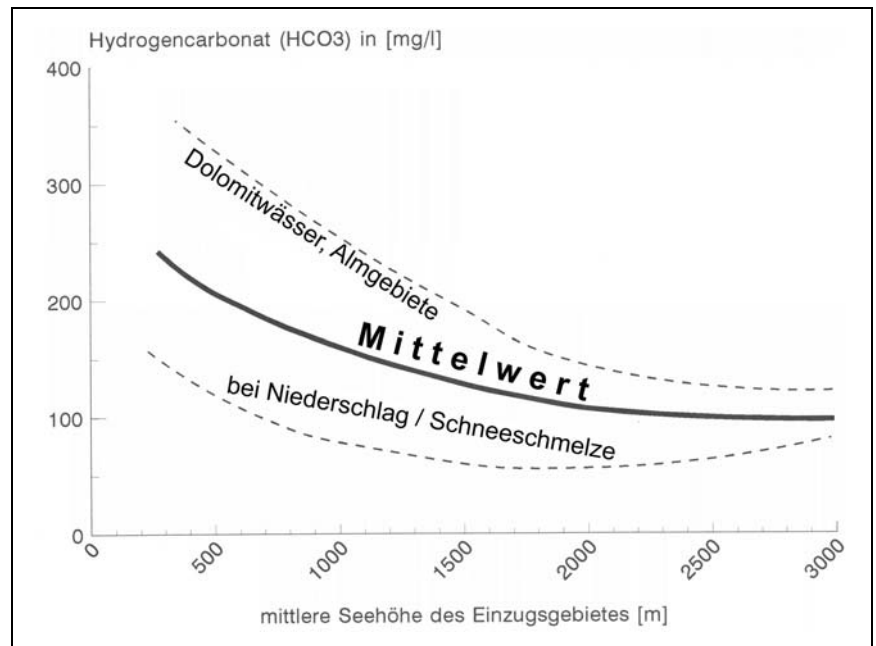
Es gibt aber viele Fälle, wo Karstwasser aus hochgelegenen Kahlkarstbereichen Quellen im Talniveau (Grünkarstgebiet)

anspeisen, die sich dann durch eine scheinbar abnorm niedrige Mineralisation auszeichnen. In der vorseitigen Abbildung ist dies die Quelle Q3*. Die Mineralisation der Quelle Q3* entspricht jener der Quelle Q1 da im Einzugsgebiet die selben Bodenbedingungen vorherrschen. Die Mineralisation der Quelle Q3* ist somit deutlich geringer als die der Quelle Q3.

Derartige Möglichkeiten gibt es natürlich für alle 4 Bereiche, in allen Übergangsstufen. Dies zeigt, dass die hydrochemische Systemanalyse eines Karstgebietes durchaus komplexe Formen annehmen kann.

Beispiele: zwei Quellen (beprobt im Aug. 1985) aus dem Bereich des Toten Gebirges:

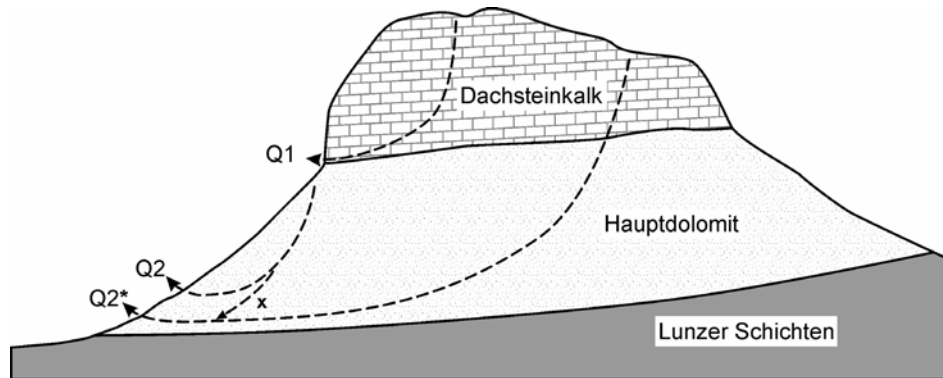
- Steyrerseequelle (Tauplitz, 1510 m Sh.): 236 mg/l Gesamtgehalt (entspricht Typ Q2)
- Steyr-Ursprung (Stodertal, 750 m Sh.): 134 mg/t Gesamtgehalt (Typ Q3*)



Abhängigkeit der Mineralisation von der Seehöhe des Einzugsgebietes. Rund 1500 Wasseranalysen aus alpinen Höhlen, dargestellt als Mittelwert und Streubereich (strichlierte Linie). Daten der Spelaqua-Datenbank der Karst- und höhlenkundlichen Abteilung am NHM-Wien. Aus dem Diagramm lassen sich *ungefähre Angaben* über das Einzugsgebiet von Quellen ableiten.

2 Geochemische Verhältnisse im Karstaquifer

Für das Verhältnis der verschiedenen gelösten Stoffe im Karstwasser (Ca, Mg, HCO₃, ...) zueinander ist von Bedeutung, welche Gesteine (Kalke, Dolomite, Mischgesteine, gipsführende [SO₄] Gesteine) vorliegen und wie sie zueinander in Beziehung stehen. Dies soll durch das folgende Beispiel verdeutlicht werden:



Q1 Kalkwasser: $Ca \gg Mg$
 Q2 Dolomitwasser: $Ca / Mg \sim 2$
 Q2* Kalkwasser im Dolomitgebiet: $Ca / Mg > 2$
 (Jeweils ausgehend von den Gehalten in mg/l)

Da das kohlensäurehaltige Wasser sehr rasch *nahezu* vollständig mit Ca und Mg gesättigt ist findet die hydrogeochemische Prägung hauptsächlich in den oberflächennahen Schichten des Einzugsgebietes statt. Dies können wir bei Quelle Q2* sehen, wo die Lösungskapazitäten bereits im Kalkaquifer verbraucht wurden. Der festzustellende geringe Magnesiumgehalt kann durch lokal aus dem Dolomit zutretende Wässer (in der Abb. mit x markiert) bedingt sein.

Beispiele aus dem Toten Gebirge (Aug. 1985):		Ca [mg/l]	Mg [mg/l]	Ca / Mg
Q1	Tropfwasser Bärenhöhle (Brieglersberg)	40	2	20,0
Q2	Wildenseequelle	27	13	2,1
Q2*	Steyr-Ursprung	29	3	9,7

3 Tektonische Verhältnisse

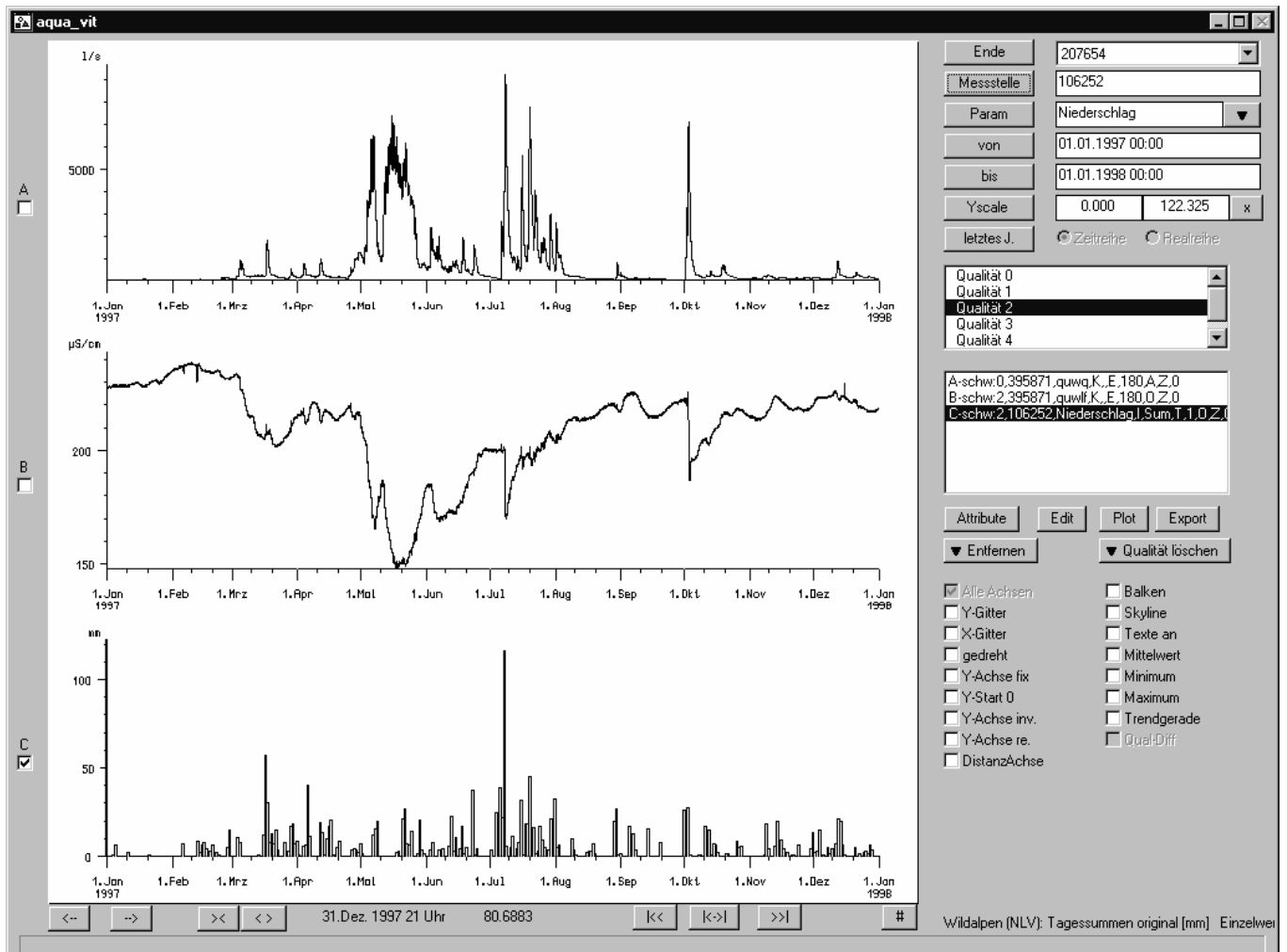
Beim Vorliegen weniger, jedoch stärker ausgeprägter Trennflächen können die aggressiven Sickerwässer im Vergleich zu feinklüftigen Gesteinen rascher in größere Tiefen gelangen. Das bedeutet, dass auch in den Tiefen des Karstkörpers noch nennenswerte Lösungskapazität vorhanden ist, auch wenn sich diese im Chemismus der Wässer nur sehr schwach auswirkt. Diese Phänomene bedingen auch den Unterschied zwischen Kalk und Dolomitkarstgebieten in speläologischer Hinsicht: die im Allgemeinen wesentlich feinklüftigeren Dolomite sind ärmer an Höhlen.

Auch der Charakter von Quellen hängt maßgeblich vom Aufbau des Aquifers ab: Dolomitquellen sind wesentlich konstanter sowohl in ihrem Schüttungsverhalten, als auch in den chemischen Parametern. Da die Fließgeschwindigkeiten im feinklüftigen Dolomit geringer sind, ist auch die Verweilzeit des Wassers unter Tag größer und Schadstoffe (z.B. Nitrat) oder Bakterien werden eher abgebaut und gefiltert als in Kalkaquiferen. Aus diesen Gründen sind Dolomitquellen besser für die Wasserversorgung nutzbar.

Elektronische Datensammlermess-Systeme

Die elektronischen Messgeräte und Datensammler haben die hydrographische Beobachtung tiefgreifend verändert. Die Messgeräte sind noch kleiner, leistungsstärker, preisgünstiger und teilweise sogar robuster geworden, haben aber auch ihre Tücken. Die Temperatur lässt sich nun auf ein Hundertstel Grad ablesen, aber im Vergleich liegen verschiedene Geräte oft um ganze Grade auseinander. Der Vergleich mit guten alten Quecksilberthermometern ist immer wieder notwendig.

In der Hydrographie werden bei Quellmessstellen die Schüttung, Leitfähigkeit, Temperatur und Trübung registriert. Bei Forschungs- oder Beweissicherungsprojekten wird gelegentlich auch der pH-Wert und gelöster Sauerstoff gemessen. Aber Achtung: Die Geräte funktionieren unter erschwerten Bedingungen wie sie in freier Natur oder gar in der Höhle gegeben sind, nicht immer so wie vom Verkäufer angepriesen. Außerdem haben sie eine New Generation Zivilisationskrankheit mit sich gebracht: die **Messwertgläubigkeit**. Es ist sehr einfach digitale Daten in einen PC zu spielen und mit irgendwelchen Softwarepaketen auf verschiedenste Weise zu verknüpfen und darzustellen. Rohdaten müssen aber immer erst einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden, oder weniger geschwollen: nicht nur den PC, auch das Hirn einschalten!



Schüttung (A), Elektrische Leitfähigkeit (B) einer Karstquelle und Niederschlag (C) einer nahegelegenen Station parallel aufgetragen.

Die Quellschüttung ist natürlich die wichtigste Angabe, aber gerade dabei ist es mit einer Messsonde und einem Datensammler nicht getan. Man kann auf verschiedene Weise den Wasserstand oder die Fließgeschwindigkeit registrieren, aber es ist notwendig den Querschnitt des Gerinnes genau zu bestimmen und eine Schlüsselkurve zur Umrechnung von Wasserstand auf Durchfluss zu erstellen. Bei Regelprofilen wie Rechtecks- oder Dreiecksüberfall, gibt es auch feste Formeln.

Die Leitfähigkeit ist gerade für den Höhlenforscher eigentlich der Schlüsselparameter. Kann man doch aus der Schüttung und der Menge der im Wasser gelösten Stoffe auf den Rauminhalt schließen, der etwa in einem Jahr aus dem Gebirge herausgelöst wird – also auf die Höhlenbildung! Die Leitfähigkeit erlaubt aber noch andere interessante Rückschlüsse auf die Verweilzeit des Wassers im Untergrund und auf die Gesteine mit denen das Wasser im Gebirge in Kontakt gekommen ist.

Die Temperatur ist ein unproblematischer Messwert, es sollte aber die Messgenauigkeit immer auf 1/100 Grad eingestellt werden, weil die Schwankungsbreite innerhalb eines Jahres häufig nur wenige 1/10 Grade ausmacht.

Ganglinien verschiedener Parameter über einen gewissen Zeitraum sagen viel mehr aus, als Einzelmessungen. Nach Möglichkeit sollte zumindest eine Jahresganglinie erhoben werden. Bei Quellen ist vor allem die Reaktion auf Niederschläge und Schneeschmelze interessant. Letztere zeigt oft interessante Tagesgänge etwa mit der Spitze schon um 18 Uhr oder erst um 3 Uhr nachts. Zum Vergleich können die Daten hydrographischer Niederschlagsstationen aus der Umgebung herangezogen werden.

Die ausdrückstärkste Darstellung der Werte ist nach wie vor die einfache Ganglinie, die Werte auf der Zeitachse aufgetragen. Ein grober EDV-Unfug sind diese Bandwürmer, räumlichen Blockdiagramme und Torten. Dabei werden automatisiert Dimensionen dazugespielt, die keinen Sinn ergeben, für den der sich wirklich dafür interessiert, sogar sehr störend wirken. Eine dreidimensionale Darstellung kann nur erfolgen, wenn ich auch tatsächlich drei Werte einbringe. Man muss nur einmal versuchen aus einer Bandwurmganglinie einen Wert anzulesen. Den muss man unter Augen verrenken erst schräg nach hinten auf eine imaginäre Fläche und dann nach links und unten projizieren...

Ein wichtiger Aspekt sind auch die Extremwerte, vor allem minimale und maximale Wasserstände oder Schüttungen. Bei extremen Hochwasserführungen können natürlich kaum Messungen durchgeführt werden – obwohl vom Hydrographischen Dienst in Tirol schon Durchflüsse bis zu 64.000 l/s mit der Salzmethode (Eingabe von 50 kg Salz) gemessen wurden. Wichtig ist es Wasserstandsmarken zu dokumentieren, dass eventuell die Hochwasserdurchflüsse nachträglich näherungsweise berechnet werden können.

Höhlen und Paläoklimaforschung

Paläoklimatologie – eine kurze Einleitung

Spätestens seitdem Begriffe wie Klimawandel und Global Change Eingang in das Vokabular von Politik und Medien gefunden haben ist allgemein klar geworden, dass es so etwas wie ein stationäres Klima nicht gibt. Klima, also der mittlere Zustand der Atmosphäre über einen längeren Zeitraum ausgedrückt in Messgrößen wie Lufttemperatur, Niederschlagsmenge, Windrichtung, Strahlung, usf., ist Veränderungen unterworfen, die auf Zeitskalen von wenigen Jahren bis Millionen von Jahren passieren. Die Wissenschaft, die sich mit der Dynamik des Klimas beschäftigt, die Klimatologie, begann sich erst im Laufe des 20. Jahrhunderts aus der Meteorologie herauszuentwickeln. Die Jugendlichkeit dieser Forschung wird verständlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass es erst etwa seit 100 Jahren ein einigermaßen erdumspannendes Netz an Messstationen gibt. Ein solches ist Voraussetzung, will man die enorme Dynamik der Atmosphäre, die ja keine politischen Grenzen kennt, erfassen.

Für einzelne Gebiete reichen die Klima-Aufzeichnungen mittels Instrumenten etwas weiter zurück, für Österreich z.B. bis 1767 (Station Kremsmünster). Für den gesamten Zeitraum davor – und dieser umfasst den allergrößten Abschnitt der Erdgeschichte (eindrucksvolle 99,99999%, wenn man es ganz genau nimmt) – gibt es keine "exakten" Klimadaten, sprich solche, die mit physikalischen Instrumenten gemessen wurden: Wir haben das Feld der Paläoklimatologie betreten (vom Griechischen *palaios* für alt). Auch sie ist eine junge Zunft, wenngleich sich Geologen schon seit vielen Jahrzehnten mit dem wechselvollen Gang des Klimas während der 4,5 Milliarden Jahre langen Erdgeschichte beschäftigen. Naturgemäß ist der Mensch aber mehr an dem interessiert, was sich während der jüngsten Erdgeschichte getan hat, als an dem, was sich vor Hunderten Millionen Jahren ereignet haben mag. Das Gros der Paläoklimatologen erforscht deshalb den Gang des Klimas während des Quartärs (siehe Merkblatt C27), und ein Gutteil derselben beschäftigen sich vornehmlich mit dessen jüngerem Abschnitt, grob gesprochen den letzten paar Hunderttausenden von Jahren, welche die Eiszeiten und die aktuelle Warmzeit (seit 11.500 Jahren) umfassen. Nachdem Thermometer, Barometer und andere Messinstrumente damals nicht existierten stehen die Paläoklimatologen vor einer nicht-trivialen Aufgabe: Wie kann man das Klima und seine Änderungen vor Tausenden und Abertausenden von Jahren verlässlich rekonstruieren? Der allergrößte Teil der Information aus der Vorzeit ist ja unweigerlich verloren (da nicht aufgezeichnet) und jene fragmentarische Information, die sich findet, ist von Natur aus eine indirekte, d.h. sie gestattet meist nur qualitative Angaben zum damaligen Klima. Die Kür der Paläoklimaforschung besteht jedoch darin, im Idealfall quantitative, also in Zahlen ausgedrückte Klimainformation lange vergangener Zeiten zu erhalten. Die Arbeit der Wissenschaftler gleicht dabei der detektivischen Spurensuche von Kriminalisten, die sich in Ermangelung an Kronzeugen von Indiz zu Indiz vortasten, um eine möglichst wahrheitsgetreue Rekonstruktion des Geschehens zu erstellen, und wo fallweise auch hochentwickelte "Spurensuchgeräte" zum Einsatz kommen. Wenn der Paläoklimatologe z.B. die Temperatur des Atlantiks während des Höhepunkts der letzten Eiszeit zu rekonstruieren versucht (eine wichtige Größe, die das Klima in Europa ganz maßgeblich diktiert), so verwendet er u.a. die Häufigkeit und die Isotopenzusammensetzung (Isotope sind physikalisch unterschiedliche Varianten eines chemischen Elements) bestimmter Einzeller-Arten (Foraminiferen), deren winzige kalkige Gehäuse er aus den Ablagerungen am Grund des Atlantiks mittels Bohrkernen entnimmt. Diese Messwerte wären wertlos, bestünde nicht ein systematischer Zusammenhang zwischen der Häufigkeit und der Isotopen-Zusammensetzung dieser Einzeller und der Wassertemperatur, bei der diese Organismen lebten bzw. leben (bekannt aus Messungen des heutigen Ozeans). Man spricht im Fachjargon von "Proxy Daten" (*proxy* heisst wörtlich aus dem Englischen übersetzt soviel wie (Stell)Vertreter, gemeint: für Messdaten der Meteorologie, aber auch anderer Disziplinen, im gegenständlichen Fall der Ozeanographie). Auch die Ausdehnung und Masse eines Gletschers – um ein Beispiel aus den Alpen zu verwenden – stellen Proxy Daten dar; eine einfache Umrechnung z.B. von Gletscherrückzug in Grad Celsius Lufttemperaturänderung existiert allerdings nicht. Alte Moränenrücken oder Gletscherschliffe in heute eisfreien Tälern sind zwar unumstößliche Klimazeugen, lassen aber in erster Linie nur qualitative Aussagen über das damalige Klima zu.

Die Paläoklimatologie hat mittlerweile eine stattliche Liste solcher Proxies in ihrem Repertoire; dass dennoch den Forschern nicht so bald langweilig werden wird kann man spätestens dann feststellen wenn man z.B. eine Rekonstruktion der Temperatur in den Alpen seit dem Ende der letzten Eiszeit sucht oder genau wissen will, wie warm es im Mittelalter oder zu Ötzi's Zeiten in den Ostalpen war. Man wird zwar schematische "Fieberkurven" finden (z.B. in Merkblatt C27), aber kaum welche, die echte meteorologische Messgrößen zeigen. Abschnitte solcher Kurven für einzelne Gebiete der Erde und Zeitfenster des Quartärs existieren bereits in der Fachliteratur; die Lücken bzw. Unsicherheiten sind jedoch noch beträchtlich, und für manche Gebiete der Erde wird es aufgrund fehlender geeigneter Klima-Archive schlichtweg nicht möglich sein, solche Rekonstruktionen zu erstellen.

Höhlen und Paläoklima

Es ist noch nicht lange her, da war, wenn von Paläoklima-Forschung gesprochen wurde, nur die Rede von Baumringen, vom Eis Grönlands und der Antarktis und von Ablagerungen der Tiefsee. Höhlen wurden in diesem Zusammenhang kaum erwähnt. Diese genießen zwar seit jeher einen ausgezeichneten Ruf unter den Paläoanthropologen und Archäologen, stammen doch die allermeisten Funde früher Menschen aus Höhlen; allein, diese Fossilien sagen nur bedingt etwas über das damalige Klima aus. Deutlich aufschlussreicher – aus paläoklimatologischer Sicht – ist oft die Analyse der begleitenden pflanzlichen und tierischen Überreste, sowie der Höhlensedimente, in denen diese gefunden wurden. Besonders interessant sind fossile Pollen (Blütenstaub) und Sporen, die die Vegetation lang vergangener Zeiten rekonstruieren lassen, welche ihrerseits - Stichwort Proxy Daten - Rückschlüsse auf das damalige Klima zulassen können. Allerdings sind Pollen und Sporen in den meisten Höhlensedimenten rar. Zum einen ist die feuchte Höhlenluft gerade eingangsferner Bereiche sehr rein, d.h. arm an Partikeln. Zum anderen werden Sporen und Pollen, obwohl sie aus widerstandsfähiger organischer Substanz aufgebaut sind, im sauerstoffhaltigen Milieu langsam oxidiert (d.h. zerstört). Gute Chancen zur Erhaltung von Pollen und Sporen bieten nur dunkle, feinkörnige Sedimente, die z.B. bei Überflutungsereignissen in Höhlen zur Ablagerung gelangen. Auch Sedimente im eingangsnahen Bereich bzw. in Halbhöhlen weisen mitunter ein erhöhtes Erhaltungspotential für organische Überreste auf.

Neben mikroskopischen Überresten können auch größere, d.h. makroskopische Fossilien wichtige Informationen zum Paläoklima liefern. Voraussetzung ist, dass diese bei Höhlengrabungen horizontbezogen aufgesammelt werden, was bei früheren Grabungen aus verschiedenen Gründen leider oft nicht der Fall war. Bekanntes Beispiel sind die zahllosen Knochenfunde aus der Drachenhöhle bei Mixnitz (Stmk.), die im Zuge des Phosphatabbaues in den 1920er Jahren getätigt wurden, deren genaue Stratigraphie (d.h. Zuordnung zu bestimmten Schichten im Sediment) jedoch nicht oder nur sehr ungenau bekannt ist (Döppes & Rabeder, 1997). Auch die Bergung der Fossilien im Zuge der Freilegung der Griffener Grotte in den 1950er Jahren geschah unsystematisch; dennoch konnte aus der Analyse dieser Fauna Einiges zum (Eiszeit)Klima Unterkärntens abgeleitet werden (Gleirscher & Pacher, 2005).

Schließlich sind auch Höhlensedimente selbst Träger von Paläoklima-Informationen. Dazu zählen klastische Sedimente (Höhlenlehm bis Blöcke), chemische Sedimente (Höhlensinter) und – wenn man den Begriff Sediment weit fasst – auch Höhleneis. Klastische Sedimente in Höhlen erweisen sich meist als harte Nuss, zeichnen sie doch primär hochenergetische Ereignisse auf, die nur bedingt Aussagen zum Klima der Vorzeit gestatten. Auch muss damit gerechnet werden, dass Sedimentabfolgen in Höhlen große Lücken beinhalten können, in denen über lange Zeit keine Ablagerung erfolgte bzw. lokal Sediment auch wegerodiert wurde (Ablagerungslücke bzw. Hiatus). Aus diesen Gründen existiert auch weltweit nur eine begrenzte Anzahl an detaillierten Untersuchungen zur Sedimentologie von klastischen Höhlenablagerungen. Beispiele sind eine Studie über Höhlensedimente der Hermannshöhle (Seemann, 1987), Sedimente in Höhlen der Berchtesgadener Alpen (Langenscheidt, 1992), klastische Sedimente in Wechsellagerung mit Höhlensintern im Siebenhengste-Hohgant System in der Schweiz (Häuselmann, 2002), sowie eine Übersichtsarbeit über Sedimente in belgischen Höhlen (Quinif, 2006). Eine gute aktuelle internationale Zusammenschau findet sich im Buch von Sasowsky & Mylroie (2004 bzw. 2007). Im Übrigen sei auf die Merkblätter C30 (Höhleninhalt) bzw. C35 (Höhleneis) verwiesen.

Höhlsinter und Paläoklima

Im letzten Kapitel war davon die Rede, dass Höhlen in der Paläoklimaforschung früher kaum Beachtung gefunden haben. Nicht zuletzt angekurbelt durch die laufende Diskussion über Klimawandel bzw. Global Change haben sich Forscher auf die Suche nach weiteren Klima-Archiven gemacht und sind u.a. in Tropfsteinhöhlen fündig geworden. Der Schlüssel zum Durchbruch und zur weltweiten Anerkennung dieser Forschung liegt zum einen in der Möglichkeit, das Alter unterschiedlicher Schichten in Tropfsteinen genau zu bestimmen (siehe Merkblatt C34). Zum anderen konnte gezeigt werden, dass Tropfsteine sensibel auf Klimaänderungen außerhalb der Höhle reagieren, und, da sie bekanntermaßen über lange Zeiträume hinweg wachsen, gewissermaßen als unterirdische "tape recorders" fungieren.

Tropfsteine und Niederschlag

Die Erkenntnis, dass Tropfsteine Änderungen an der Erdoberfläche "spüren", ist nicht neu und ergibt sich aus der Karsthydrologie: Tropfwasser, für das Wachstum von Höhlensinter per se unabdingbar, stammt vom Niederschlag, der oberhalb der Höhle fällt (Regen, Schnee) und mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung, sowie angereichert an gelösten Stoffen, in der Höhle ankommt. Dieses Sickerwasser ist somit der direkte "Draht" zur Außenwelt bzw. dem Klima, das es zu erforschen gilt. Nimmt der Niederschlag längerfristig ab, so wird man auch in den Höhlen eine Verlangsamung der Tropftätigkeit feststellen. In diesem Fall bleibt der Tropfen länger an der Spitze des Stalaktiten bzw. des Sinterröhrchens hängen, entgast dort stärker, was in weiterer Folge dazu führt, dass weniger Kalzit am darunter befindlichen Stalagmiten zur Ablagerung kommt: Die Wachstumsgeschwindigkeit des Stalagmiten verlangsamt sich. Im Extremfall kommt es zu einem Wachstumsstopp, welcher sich durch eine Datierung der einzelnen Tropfsteinlagen nachweisen lässt bzw. oft auch als mehr oder weniger markante interne Grenzfläche im Sinter (in aufgeschnittenem Zustand) erkenntlich ist. Dass Tropfsteine sehr gute Paläoklima-Archive in Bezug auf Niederschlag sind zeigen aktuelle Untersuchungen in Trockengebieten. Sowohl in israelischen als auch in arabischen Höhlen setzte das Tropfsteinwachstum immer dann ein, wenn das Klima feuchter wurde (z.B. Fleitmann et al., 2007; Vaks et al., 2006; heute sind die allermeisten Höhlen in diesen Gebieten trocken und das Tropfsteinwachstum steht still). Spannende Daten kommen seit einigen Jahren auch aus chinesischen Höhlen; die dortigen Stalagmiten haben sich als Kronzeugen des Monsuns herausgestellt. Ganze Kulturen sind in der Vergangenheit in diesem Land ausgelöscht worden, als die Monsunregen über längere Zeit aussetzten. Aufgezeichnet sind diese Klimaschwankungen in Tropfsteinen (z.B. Wang et al., 2005).

Tropfsteine und Temperatur

Neben dem Niederschlag ist die Temperatur ein wichtiger Parameter, der das Tropfsteinwachstum steuert und indirekt auch in den Tropfsteinen aufgezeichnet wird. Aufgrund des Gefrierpunktes von Wasser ergibt sich, dass Tropfsteine nur bei positiven Temperaturen entstehen können. Da Höhlen annähernd die gleiche Temperatur aufweisen wie das langfristige Mittel der Lufttemperatur in der entsprechenden Höhlenlage ist sowohl in hohen Breiten, als auch in Seehöhen ab ca. 2000-2500 m (in unseren Breiten) keine Sinterbildung zu erwarten. Tropfsteinhöhlen, die heute knapp an dieser natürlichen Grenze liegen, sind deshalb hochsensible Klima-Archive, denn bereits eine geringe Klimaverschlechterung kühlt die Höhle unter den Gefrierpunkt ab und stoppt das Sinterwachstum. Durch Proben aus solchen kalten Höhlen kann man eine lange Aufzeichnung früherer Warmzeiten erhalten, denn nur während dieser sprang die Verkarstung und damit die Sinterausscheidung an.

Neben diesem "Ein/Aus Schalter" gibt es mittlerweile auch Methoden, um direkt Paläotemperaturen aus einzelnen Tropfsteinlagen zu bestimmen (Näheres dazu z.B. in Spötl et al., 2007).

Erwähnt werden sollte noch, dass die Klima-Parameter Temperatur und Niederschlag ihrerseits auch die Vegetation und damit die Intensität der Verkarstung steuern. Verkarstung ist ja eine Folge des Eintrages von Kohlendioxid bzw. Kohlensäure in das Grundwasser und der Ursprung dieser Säure ist in den

allermeisten Fällen Kohlendioxid, das im Boden durch Wurzelatmung und bakteriellen Abbau organischer Substanz entsteht. Eine Zunahme des Niederschlages wird also einerseits die Tropftätigkeit in der Höhle erhöhen, andererseits auch eine dichtere Vegetation und eine höhere Bodenaktivität fördern, was ihrerseits die Verkarstung ankurbeln und so zu einem schnelleren Wachstum von Stalagmiten und anderen Sinterformen führt.

Tropfsteine und Meeresspiegel

Dass neben dem Klima auch die (absolute) Höhe des Meeresniveaus keine Konstante darstellt ist seit Beginn der Klima Diskussion allgemein bekannt. Die Höhe des Meeresspiegels ist zwar keine eigentliche Klima-Messgröße; sie gibt aber wesentliche Aufschlüsse über die Menge des am Festland in Form von Eisschilden und Gebirgsgletschern gespeicherten Eises. Schmilzt letzteres, dann steigt der Meeresspiegel und flach liegende Küstenbereiche werden überflutet. Im Quartär stieg und fiel der Meeresspiegel dutzende Mal im Rhythmus der Eiszeiten und Tropfsteine haben sich als verlässliches Instrument herausgestellt, diesen Gang nachzuzeichnen. Untersuchungsobjekte sind Höhlen in Küstengebieten des Mittelmeerraumes und der Karibik. Das Prinzip ist einfach: Fällt der Meeresspiegel am Beginn einer Eiszeit, so werden ehemals geflutete Höhlenräume luffüllt, mit dem Niederschlag setzt Verkarstung ein und Tropfsteine beginnen zu wachsen. Am Ende einer Eiszeit schmelzen große Mengen an festländischem Eis ab, der Meeresspiegel steigt (im Maximum bis zu 130 m), die Küstenlinie verschiebt sich landeinwärts und tiefer gelegene Höhlensysteme werden unter Wasser gesetzt. Tropfsteine können im Meerwasser nicht "gedeihen"; sie werden aber auch nicht aufgelöst. Oftmals kann man den Bewuchs von kalkabscheidenden Organismen (z.B. Würmern) auf Unterwasser-Tropfsteinen beobachten. Aus den Untersuchungen solcher Tropfsteine z.B. aus den bekannten *Blue Holes* auf den Bahamas konnte man die Chronologie früherer (eiszeitlicher) Meeresspiegel-Tiefstände präzise erfassen.

Literatur:

Döppes, D. & Rabeder, G. (1997): Pliozäne und pleistozäne Faunen Österreichs. – Mitteilungen der Kommission für Quartärforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Bd. 10, 411 S.

Gleirscher, P. & Pacher, M. (2005): Griffen und die Altsteinzeit im Südostalpenraum. - *Rudolfinum Jahrbuch des Landesmuseums Kärnten*, 2004: 65-107.

Häuselmann, P. (2002): Cave genesis and its relationship to surface processes: investigations in the Siebenhengste region (BE, Switzerland). - *Höhlenforschung im Gebiet Sieben Hengste-Hohgant* No. 6, 166 S.

Langenscheidt, E. (1992): Höhlen und ihre Sedimente in den Berchtesgadener Alpen. - *Nationalpark Berchtesgaden Forschungsbericht*, 10, 95 S.

Sasowsky, I.D. & Mylroie, J. (2004): *Studies of Cave Sediments. Physical and Chemical Records of Paleoclimate.*- 329 S. New York (Kluwer; Nachdruck Springer 2007).

Seemann, R. (1997): Sediment- und Mineralinhalt der Hermannshöhle. - In: *Die Hermannshöhle in Niederösterreich* (Red. Hartmann, H., Hartmann, W. & Mrkos, H.), *Wissenschaftliche Beihefte Die Höhle*, 50: 107-132.

Spötl, C., Offenbecher, K.-H., Boch, R., Meyer, M., Mangini, A., Kramers, J. & Pavuza, R. (2007): Tropfstein-Forschung in österreichischen Höhlen – ein Überblick. – *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, 147: 117-167. Download unter www.geologie.ac.at/ (unter Geomarkt – Publikationen – Jahrbuch).

Bemerkung: Die übrige, in diesem Merkblatt zitierte Fachliteratur ist leider nur über Universitäten bzw. kostenpflichtig über Fachverlage erhältlich. Interessierte HöhlenforscherInnen können sich jedoch an den Autor wenden (christoph.spoetl@uibk.ac.at).

Wirbellose Tiere in österreichischen Höhlen

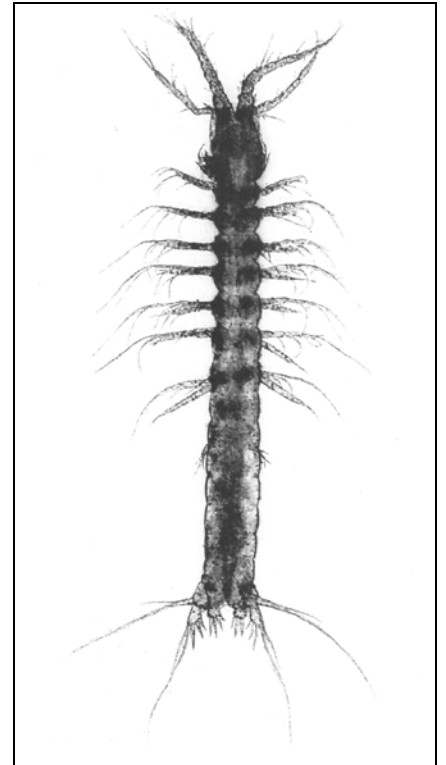
Von den Tieren unserer Höhlengewässer bekommt der Höhlenforscher am ehesten die Brunnenkrebse der Gattung *Niphargus* zu Gesicht. Die blinden, weißen Tiere können über zehn Millimeter lang werden. Sie gehören zu den Flohkrebse, die mit ihrem seitlich flachgedrückten Körper (und einiger Fantasie) an einen Floh erinnern. In charakteristischer Seitenlage bewegen sie sich ruckartig auf der Sedimentoberfläche. Dort findet man gelegentlich auch schneeweiße Strudelwürmer, die ebenfalls nur von Spezialisten mit großem Aufwand zu bestimmen sind. Die winzigen Gehäuse der Brunnenschnecken sind mit freiem Auge kaum von Sandkörnern zu unterscheiden. Alle übrigen, oft noch kleineren aquatischen Tiere können mit engmaschigen Netzen und Sieben aus dem Höhlenwasser und feuchten Sedimenten geborgen werden. Sie leben auch (oder sogar hauptsächlich) im unzugänglichen Spaltensystem und im Grundwasser. Tritt eine Art nur in subterranean Gewässern auf, so bezeichnet man sie als **stygbiont**. Exemplarisch seien die Krebschen der Gattung *Bathynella* erwähnt.

Auf der Oberfläche stehender Höhlengewässer tummeln sich oft millimetergroße Tierchen. Es sind luftatmende Gliederfüßer, die zufällig hierher gelangt sind und nur schwer wieder an Land kommen. Meistens handelt es sich um Springschwänze, aber auch Milben und die extrem seltenen Palpenläufer (Gattung *Eukoeneria*) wurden in solchen natürlichen Fallen erbeutet.

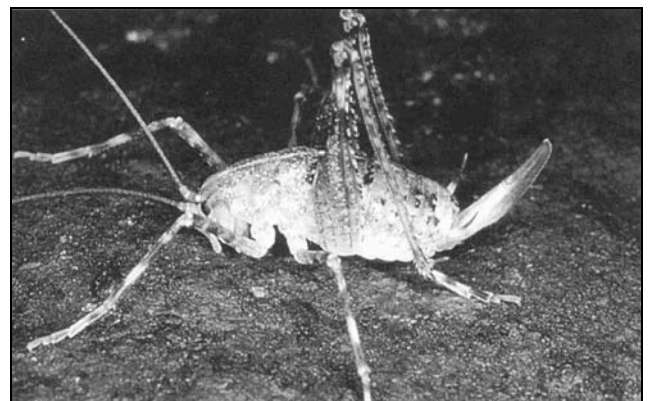
Die Landtiere der Höhlen werden nach ihrer Beziehung zum unterirdischen Lebensraum in vier ökologische Gruppen eingeteilt.

Die **Trogloxenen** (*trogle* = Höhle, *xenos* = fremd) sind Zufallsgäste aus oberirdischen Biotopen und daher aus biospeläologischer Sicht belanglos.

Tiere, die nur zu einer bestimmten Jahreszeit oder in einem individuellen Lebensabschnitt in der Höhle erscheinen, werden manchmal ebenfalls als troglaxen bezeichnet (weil *xenos* auch Gast bedeutet). Um diese Höhlengäste von den wirklichen Fremdlingen zu unterscheiden, spricht man besser von **Subtroglaphilen** (*philos* = Freund). Sie verbringen in der Höhle oder in anderen dunklen, feuchtkühlen Räumen eine genetisch festgeschriebene Ruhezeit: die meisten im Winterhalbjahr, einige auch im Sommer (z.B. gewisse Köcherfliegen). Von ihnen führt kein Weg zum „echten“ Höhlentier, weil ein Abschnitt ihres Lebens an oberirdische Lebensräume gebunden ist. Unsere subtroglaphilen Schmetterlinge etwa brauchen als Raupen ganz bestimmte Futterpflanzen, die nur ober Tag wachsen. Neben den allgemein bekannten Schmetterlingen *Inachis io* (Tagpfauenauge), *Scoliopteryx libatrix* (Zackeneule) und *Triphosa dubitata* (Wegdomspanner) überwintern in unseren Höhlen u.a. auch Hautflügler (Schlupfwespen der Gattung *Amblyteles*), die bienenähnliche Schwebfliege *Eristalis tenax* und die Gelse *Culex pipiens* – bei den Schmetterlingen beide Geschlechter, bei den anderen nur besamte Weibchen. Schlupfwespen und Schwebfliegen zwängen sich gern in enge Spalten. Die flügellosen Höhlenheuschrecken (*Troglophilus cavicola*, im Süden Österreichs auch *Troglophilus neglectus*) vereinen lebensgeschichtliche Züge der Sub- und Eutroglophilien.

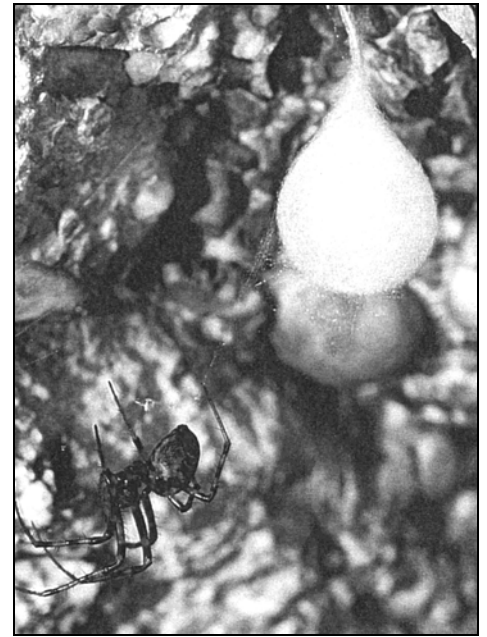


Kaum 1,5 mm lang: Eine *Bathynella* aus dem „Teich“ der Hermannshöhle



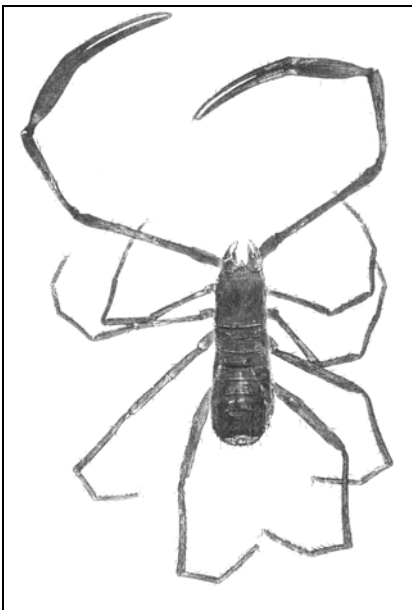
Das reife Weibchen der Höhlenheuschrecke trägt einen schwertförmigen Ei-Legeapparat

Die **Eutroglophilen** können prinzipiell ober- und unterirdisch auf Dauer existieren. Manche Arten sind in subterranean Lebensräumen wesentlich häufiger. Sie zeigen oft eine Tendenz zur Rückbildung der Augen und der Hautpigmente und sind offenbar auf dem Weg zur obligat unterirdischen (troglobionten) Lebensweise. Höhlenpopulationen ein und derselben Art können auf diesem Weg unterschiedliche Strecken zurückgelegt haben: Der in Ostösterreich häufige Springschwanz *Bonetogastrura cavicola* präsentiert in einigen Höhlen das Erscheinungsbild eines gewöhnlichen Bodenbewohners, in anderen das Bild eines Höhlentieres. Nicht selten haben Kleintiere schon vor der Besiedlung der Unterwelt so genannte Höhlentiermerkmale erworben. In diesen Fällen ist die Entscheidung schwierig, ob es sich um eutroglophile oder „schon“ um troglobionte Arten handelt. Der Übergang ist fließend und erfolgt nicht unbedingt gleichzeitig in allen Teilen des Verbreitungsgebietes einer Art. Zu den wichtigsten Gruppen, die eutroglophile Arten hervorgebracht haben, gehören Asseln (z.B. *Mesoniscus alpicola*), Spinnen (z.B. die Höhlenspinne *Meta menardi*, die ihr Eigelege in schneeweißen Wattedällchen schützt), Milben, Tausendfüßer, Springschwänze, Käfer und Fliegen.

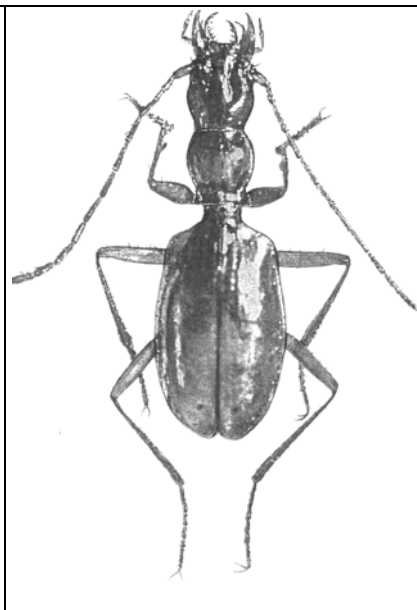


Die weibliche Höhlenspinne bewacht ihren Eikokon

Troglobionten – „echte“, hoch angepasste Höhlentiere, die in oberirdischen Biotopen nicht lebensfähig sind – zeigen in Österreich nur südlich der Drau eine größere Artenvielfalt (z.B. die blinden Laufkäfer der Gattung *Anophthalmus*). In den Nordalpen wurde die Subterranafauna in den Eiszeiten arg dezimiert. Umso interessanter sind die wenigen Arten, die vermutlich an Ort und Stelle überlebt haben. Neben dem bizarr langbeinigen Pseudoskorpion *Neobisium aueri*, der nur in Höhlen des Toten Gebirges und des Warschenecks lebt (und erst 1960 entdeckt wurde), sind die blinden Laufkäfer der Gattung *Arctaphaenops* Prunkstücke der nordostalpinen Höhlenfauna. Das Verbreitungsgebiet dieser Gattung reicht vom Schafberg im Salzkammergut bis zu den Türitzer Alpen. Von den zehn Arten, die seit 1925 beschrieben wurden, hielten nur drei einer kritischen Überprüfung stand: *Arctaphaenops angulipennis*



Ein Höhlentier wie aus dem Bilderbuch: der troglobionte Pseudoskorpion (*Neobisium aueri*) des Toten Gebirges



Arctaphaenops angulipennis, ein nordostalpinen Höhlenlaufkäfer



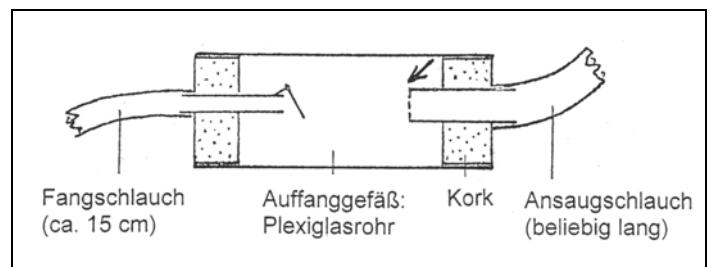
Der Springschwanz *Pseudosinella vornatscheri* ist nach einem Pionier der österreichischen Biospeläologie, Dr. Josef VORNATSCHER, benannt

(mit der Unterart *angulipennis* im Dachstein und im Toten Gebirge und mit der Unterart *styriacus* in den Ennstaler Alpen und den Niederösterreichisch-Steirischen Kalkalpen), *A. gaisbergeri* (Schafberg, Hölleengebirge, Gasslkogel) und *A. muellneri* (Sengsen- und Reichraminger Hintergebirge). Als troglobiont gelten auch einige Doppelschwänze (*Plusiocampa*-Arten), Springschwänze (u.a. Arten der Gattung *Pseudosinella* und mehrere nicht sprungfähige Onychiuridae) und Milben (z.B. *Troglocheles vornatscheri*).

Das Sammeln von Höhlentieren

Entnahme und Tötung höhlenbewohnender Tiere sind nur zu rechtfertigen, wenn folgende Fragen positiv beantwortet sind: Steht die geplante Aufsammlung im Einklang mit den gültigen Rechtsvorschriften? Liegen gegebenenfalls die erforderlichen Bewilligungen vor? Dient die Aufsammlung der wissenschaftlichen Forschung? Beschränkt sie sich auf das unbedingt nötige Maß? Ist auszuschließen, dass schonende Methoden denselben Zweck erfüllen (Fotodokumentation, Bestimmung lebender Tiere)?

Mit einer Federpinzette oder einem Exhaustor können Kleintiere selektiv gefangen werden. Ausgelegte Köder verbessern die Erfolgsaussicht. In einem Gefäß mit feuchtem Gipsboden überleben Höhlentiere eine Zeit lang. Die meisten werden in Ethanol (70%) befriedigend konserviert, für Käfer sollten jedoch trockene Tötungsgläser (Essigäther-Röhrchen) verwendet werden. Jede Probe muss einen Zettel enthalten, auf dem mit Bleistift folgende Daten notiert sind: Fundort (Name und Lage der Höhle, Höhlenabschnitt); Fundumstände oder Substrat (auf Holz, im Guano, an Käseköder, ...); Datum; Name des Sammlers.

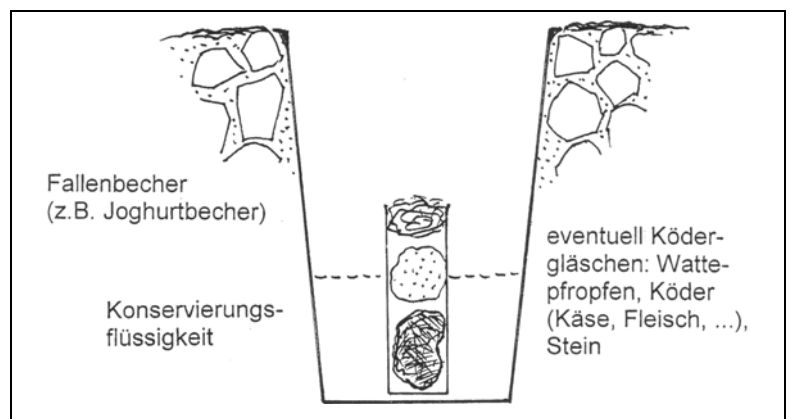


Exhaustor

Exhaustoren beruhen auf dem Staubsaugerprinzip. Wichtig ist der Verschluss des Ansaugschlauches durch feinmaschiges Gewebe (Pfeil). Das gesundheitsgefährdende orale Ansaugen kann durch die Verwendung eines Zerstäuberballes umgangen werden.

Unselektive, automatische Fangmethoden wie die Becher- oder Barberfalle dürfen nur in gut begründeten Fällen für speläofaunistische Untersuchungen eingesetzt werden.

Schon bei der Projektplanung ist die wissenschaftliche Verwertung des "Tiermaterials" sicherzustellen: Spezialisten sind immer überlastet und nur selten bereit, unverlangt zugesandte Tiere zu bestimmen.



Becherfalle



Literaturhinweise

Die Monographie „Die Hermannshöhle in Niederösterreich“ (Red.: H. u. W. Hartmann & H. Mrkos; Wien 1997) enthält auch zoologische Beiträge.

Der „Katalog der rezenten Höhlentiere Österreichs“ ist eine ergiebige Datenquelle, erfordert aber zoologische Vorkenntnisse (Strouhal, H. & Vornatscher, J., 1975: Ann. Naturhist. Mus. Wien 79, 401-542; unveränderter Abdruck als Band 24 der Reihe „Wissenschaftliche Beihefte zur Zeitschrift Die Höhle“).

Fledermäuse in Höhlen

Fledermäuse unterscheiden sich deutlich von den übrigen Säugetieren in zweierlei Hinsicht:

-  aktiver Flug: Umbildung der Hände zu Flügeln; zwischen den stark verlängerten Fingern hat sich eine so genannte Flughaut gebildet, die bis zu den Füßen und dem Schwanz reicht
-  Orientierung im Dunkeln mittels Ultraschall

Durch den Erwerb dieser speziellen Eigenschaften ist es ihnen möglich, als so genannte Troglaxene [griech. tröglē = Höhle, Loch und griech. xenos = Gast] lichtlose Höhlen zu bewohnen. Je nach vorherrschender Jahresdurchschnittstemperatur verbringen sie nur einen Teil ihres Jahreszyklus in Höhlen (z.B.: Mitteleuropa) oder übertagen auch im Sommer im lichtleeren Raum (z.B.: Mittelmeerraum).

Winterschlaf

In Europa sind Fledermäuse in den Wintermonaten darauf angewiesen, aufgrund des eingeschränkt vorhandenen Nahrungsspektrums, wie Insekten, einen trockenen frostsicheren Ort aufzusuchen und Winterschlaf zu halten. Viele Arten bedienen sich dabei den natürlich entstandenen Höhlen, aber auch menschengemachten Stollen oder Kellern. Sie passen ihre Körpertemperatur meist 1-2°C über der Umgebungstemperatur an und verringern dadurch ihren Energieverbrauch. Die Herz- und Atemfrequenz sinken auf wenige Schläge pro Minute bzw. bis auf wenige Atemzüge pro Stunde. Der Stoffwechsel sinkt, die Gefäße verengen sich und im Extremfall wird über längere Zeit nur mehr die Versorgung der wichtigsten Organe gewährleistet.

Fledermäuse fressen sich im Herbst große Fettreserven an, um den Winter zu überleben (+ 20 – 30 % des Körpergewichts). Die Fettreserven halten nicht ewig und jeder Aufwachvorgang (z.B.: durch Störung) bringt einen hohen Energieverlust mit sich. Es ist daher äußerst wichtig winterschlafende Fledermäuse nicht zu stören (NICHT direkt anleuchten, NICHT berühren), sondern unbedingt in Ruhe lassen!

Fledermausschutz

Schutzstatus in Ö

Von den in Österreich vorkommenden 27 Fledermausarten stehen alle auf der Roten Liste gefährdeter Tierarten, wobei die meisten als gefährdet und einige sogar als „vom Aussterben bedroht“ (z.B.: Kleines Mausohr, Große Hufeisennase) eingestuft sind.

Schutzstatus in der EU

Alle Fledermausarten genießen außerdem EU-weiten Schutz (Anhang IV der FFH-Richtlinien) und für 10 Arten (Kleine Hufeisennase, Große Hufeisennase, Großes Mausohr, Kleines Mausohr, Mopsfledermaus, Bechsteinfledermaus, Langflügelfledermaus, Langfußfledermaus, Teichfledermaus, Wimperfledermaus) müssen laut Anhang II der FFH-Richtlinie, um deren Erhaltung zu sichern, besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden. (siehe auch <http://eur-lex.europa.eu/de/index.htm>)

White-Nose Syndrom (WNS)

Seit 2006 ist eine Krankheit aus dem nordöstlichen Teil der USA bekannt, die den dort überwinterten Fledermäusen stark zusetzt und oft zu hohen Todesraten innerhalb eines Quartiers führt. Sie wird nach dem Erscheinungsbild WNS (White-Nose Syndrome) genannt und von einem Pilz (*Geomyces destructans*) verursacht, der als weißes pelzartiges Gebilde vorwiegend auf der Schnauze und der Flughaut sichtbar ist. Veränderungen an der Haut, Bildung von

Geschwüren und Gewebsanomalien an der Flughaut kennzeichnen das Krankheitsbild und führen aufgrund des erhöhten Verbrauchs an Fettreserven im Winter zum Hungertod.

In Europa wurde der Pilz erstmals in Frankreich entdeckt, wobei Nachweise aus Deutschland, der Schweiz und Ungarn auf eine größere Verbreitung hindeuten. Im Gegensatz zu den amerikanischen Fledermausarten sind die europäischen aus noch unerklärlichen Gründen gegen diesen Pilz immun und überleben die Infektion ohne Probleme. Da das Wissen über diesen Pilz und dessen Auswirkungen aber erst seit kurzem bekannt sind, ist jede Beobachtung eine wertvolle Unterstützung.

→ Jeder Höhlenbesucher, der eine entsprechende Beobachtung macht, wird dringend gebeten, diese einem Fledermausverein (z.B.: KFFÖ, batlife) oder persönlich bei Katharina Bürger (Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich) zu melden! (im Idealfall bitte mit Fotobeleg)

Danke!

Simone Pysarczuk für die hilfreichen Kommentare und Korrekturen!

Literatur

- KFFÖ homepage (www.fledermausschutz.at)

- Spitzenberger F. (2005): Rote Listen der in Österreich gefährdeten Säugetierarten (Mammalia). In: Zulka K.P. (Hrsg.): Rote Listen gefährdeter Tiere Österreichs. Grüne Reihe des Lebensministeriums Band 14/1: 45 – 62.

- Wibbelt G., Kurth A., Hellmann D., Weishaar M., Barlow A., Veith M., Prüger J., Görföl T., Grosche L., Bontadina F., Zöphel U., Seidl H.-P., Cryan P. M. and D. S. Blehert (2010) White-Nose Syndrome Fungus (*Geomyces destructans*) in Bats, Europe. *Emerging Infectious Diseases* (www.cdc.gov/eid) Vol 16 (8): 1237 – 1243

- Reichard J. D. & T. H. Kunz (2009) White-nose syndrome inflicts lasting injuries to the wings of little brown myotis (*Myotis lucifugus*). *Acta Chiropterologica* 11 (2): 457 – 464

Fledermausbeobachtungen

Fledermausfotos zur Artbestimmung

verändert; nach Dr. A. Zahn, Koordinationsstelle für Fledermausschutz Südbayern

Anhand guter Fotos lassen sich viele Fledermäuse bestimmen. Oft ist es für ein Tier weniger belastend, fotografiert zu werden, als langwierige Bestimmungsversuche zu erdulden. Die folgenden Punkte sollten beim Fotografieren von Fledermäusen in Höhlen berücksichtigt werden:

- ✎ am Beginn und am Ende der Wintersaison ist die Gefahr, Fledermäuse aus dem tiefen Winterschlaf zu reißen, geringer, als im Tiefwinter, d.h. während oder unmittelbar nach einer langen Kälteperiode
- ✎ Stress oder Aufwachen vermeiden (kleinere Arten sind weniger robust als große)
- ✎ zu nahes Rangehen, zu nahes Blitzen und Atmen auf das Tier vermeiden (durch die abgestrahlte Wärme können Tiere aufwachen)
- ✎ Öffnen von Klettverschlüssen (Kamerahülle, Schlaz, ...) in der Nähe der Fledermaus vermeiden (sie reagieren extrem empfindlich auf das Geräusch)
- ✎ die Anzahl der Fotos auf ein Minimum reduzieren (effiziente Einstellungen und Winkel vorher überlegen) und
- ✎ Fotos möglichst vermeiden, wenn die Art bekannt ist (z.B. Kleine Hufeisennasen, siehe Bild 2) und Sichtung nur notieren

Welche Merkmale werden zur Bestimmung benötigt?

Entscheidende Bestimmungsmerkmale sind:

- ✎ Fellfärbung (Gesicht, Ober- und Unterseite, Ohren)
- ✎ Ohrform und Tragus (= der Hautlappen im Ohr)
- ✎ Größe (am besten ein Lineal oder ein anderes Objekt mit definierter Größe von einem Kollegen hinhalten lassen): wichtig für Körperlänge, Unterarmlänge, eventuell Fußlänge



Bild 1 Lineal neben dem Unterarm



Bild 2 Kleine Hufeisennase

Brauchbare und unbrauchbare Fotos



Bild 3

Kleiner Abendsegler

erkennbar: Ohrform, Tragus (roter Pfeil), breiter Ohrinnenrand, Färbung der Schnauze, Fell auf Ober- und Unterseite



Bild 4

Nicht erkennbar: Tragus, Schnauze, Färbung der Unterseite; schwer erkennbar: Ohrform; auch bei Vergrößerung schwer bestimmbar



Bild 5

Wasserfledermaus

erkennbar: Ohrform (Tragus bei Vergrößerung), Färbung der Schnauze, Fell auf Ober- und Unterseite



Bild 6

Kein Bestimmungsmerkmal sicher erkennbar



Bild 7

Mausohr

erkennbar: Ohrform, Tragus bei Vergrößerung, Färbung der Schnauze, Fell auf Ober- und Unterseite; Angabe der Körpergröße (große Art) notwendig



Bild 8

Mausohr

schlecht erkennbar: Tragus, Färbung der Unterseite; bei Größenangabe und aufgrund von Ohrform und Schnauze dennoch bestimmbar

Übersicht der Arten

Auf den folgenden zwei Seiten werden die Merkmale der 14 häufigsten höhlenbesuchenden Fledermausarten am Beispiel der Hermannshöhle (NÖ) beschrieben. Zwei zusätzliche Arten sind die Nordfledermaus, die vorwiegend in Eishöhlen zu finden ist und die Langflügelfledermaus, die nur im Süden Europas vorkommt (v.a. in wärmeren Gebieten), dort aber das ganze Jahr über in Höhlen übertagt und überwintert. Die Beschreibungen in der auf der nächsten Seite folgenden Tabelle stammen hauptsächlich aus Dietz et al. (2007).

Eine genaue Bestimmung erfordert viel Kenntnis über die Arten und deren Verbreitung, daher ist dies anhand der Merkmale in der Tabelle nur eingeschränkt möglich und ein Experte zusätzlich zu Rate zu ziehen. Fellfärbung variiert oft sehr stark innerhalb einer Art; eine genaue Bestimmung ist daher nur anhand von den übrigen angeführten Merkmalen möglich. (Beim Fotografieren darauf achten!)



Knochenfunde werden gerne entgegengenommen, wobei beim Schädel darauf zu achten ist, dass Ober- und Unterkiefer vollständig sind, da diese entscheidende Bestimmungsmerkmale darstellen.

Kontakt

Katharina Bürger

email: kathi_buerger@hotmail.com

Glück Flaus!

Danke!

Simone Pysarczuk für die hilfreichen Kommentare und Korrekturen!

Literatur

- Dietz Ch., Helversen O. v. & D. Nill (2007) Handbuch der Fledermäuse Europas und Nordwestafrikas. Kosmos Verlag, 399 pp.
- Bild 1, 3, 5, 6, 8 aus Merkblatt Fledermausfotos (nach A. Zahn, Koordinationsstelle für Fledermausschutz Südbayern)
- Bild 4: © K. Bürger
- Bild 2, 7: © M. Schröder



Art	Größe Unterarm-länge	Ohren	Tragus	Fellfarbe		weitere Merkmale
				Oberseite	Unterseite	
Große Hufeisennase (<i>Rhinolophus ferrum-equinum</i>)	groß 53 – 63 mm	leicht von übrigen Fledermäusen zu unterscheiden: Flügel umhüllen beim Hängen den Körper gänzlich; hufeisenförmiges Nasenblatt, weiß behaarte Füße				
Kleine Hufeisennase (<i>Rhinolophus hipposideros</i>)	klein 36 – 40 mm	leicht von übrigen Fledermäusen zu unterscheiden: Flügel umhüllen beim Hängen den Körper gänzlich; hufeisenförmiges Nasenblatt				
Großes Mausohr (<i>Myotis myotis</i>)	groß 55 – 67 mm	lang, breit	lang an Spitze ± schwarzer Fleck	braun – rötlich	schmutzig weiß	lange breite Schnauze
Kleines Mausohr (<i>Myotis oxygnathus</i>)	groß 50 – 62 mm	kürzer und im Vergleich zum Großen Mausohr schmaler	lang ohne schwarzen Fleck	bräunlich	weißlich grau	Gesicht etwas kürzer, ± weißer Stirnfleck
Breitflügel-Fledermaus (<i>Eptesicus serotinus</i>)	groß, robust 48 – 58 mm	mittellang derbhäutig Enden abgerundet	kurz	mittel- bis dunkelbraun, rötlich	heller braun – gelblich braun wenig abgesetzt	breite Schnauze
Fransenfledermaus (<i>Myotis nattereri</i>)	mittelgroß 34 – 44 mm	lang mit Querfalten	lang	braungrau scharf abgegrenzt	grauweiß - weiß	schlanke Schnauze, S-förmiger Sporn, Schwanzflughautrand mit gekrümmten Borsten
Wimperfledermaus (<i>Myotis emarginatus</i>)	mittelgroß 36 – 45 mm	braun am Außenrand mit rechtwinkliger Stufe	lang Spitze erreicht Stufe am Ohrrand nicht	rötlich	hell, wenig deutlich abgesetzt	äußere Ohrmuschel mit Warzen; dünne, kurze Härchen am Rand der Schwanzflughaut
Bechsteinfledermaus (<i>Myotis bechsteini</i>)	mittelgroß 39 – 47 mm	auffällig lang, voneinander getrennt + 9-11 Querfalten	lang	braun – rötlichbraun	hell beige oder grau, deutlich abgesetzt	breite Flügel
Mopsfledermaus (<i>Barbastella barbastellus</i>)	mittelgroß 36 – 44 mm	an Basis verbunden, am Rand mit gelben / orangenen Parasiten	lang	dunkel – schwarzbraun ± weiße Spitzen	dunkel	gut erkennbar, kurze gedrungene Schnauze



Art	Größe Unterarm- länge	Ohren	Tragus	Fellfarbe		weitere Merkmale
				Oberseite	Unterseite	
Braunes Langohr (<i>Plecotus auritus</i>)	mittelgroß 35 – 43 mm	lang, zart, hell hängend nach hinten geklappt	lanzettförmig, hell wird mit Ohren verwechselt, da diese unter Flügel geklemt werden	lang & locker braun ± rötlichem Stich	langsam übergehend in cremefarben – gelblich grau	Gesicht hell und wirkt durch aufgeblasenes Drüsenfeld kurz
Graues Langohr (<i>Plecotus austriacus</i>)	mittelgroß 36 – 44 mm	auffallend lang dunkelgrau	lang, breit eher dunkel	lang, grau selten braun	hellgrau bis weißlich, scharf abgegrenzt	längere Schnauze, dunkelgrau pigmentiert, klemmt ebenfalls Ohren unter Flügel
Wasserfledermaus (<i>Myotis daubentonii</i>)	klein 33 – 42 mm	kurz, braun Innenohr meist aufgehellt	kurz nach vorne gebogen	braun – braungrau	hell- bis weißlich grau	große borstige Füße
Bartfledermaus (<i>Myotis mystacinus</i>)	klein 32 – 36 mm	an Spitze nicht stark verschwälert	lang	nuss – dunkelbraun ± goldene Haarspitzen	meist gräulich	Gesicht meistens dunkel/schwarz
Brandfledermaus (<i>Myotis brandtii</i>)	klein 33 – 38 mm	Basis aufgehellt	lang Basis aufgehellt	lang, hellbraun, mit goldglänzende Spitzen	hellgrau	genaue Bestimmung nur anhand von Zähnen
Nordfledermaus (<i>Eptesicus nilsonii</i>)	mittelgroß 37 – 44 mm	kurz	kurz	dunkel, mit goldenen Haarspitzen	gelblich braun oder beige, am Hals scharfe Grenze	vorwiegend in Eishöhlen zu finden
Langflügel-fledermaus (<i>Miniopterus schreibersi</i>)	mittelgroß 42 – 48 mm	kurz, dreieckig	kurz, gebogen	graubraun – dunkelgrau	leicht heller als Oberseite	kurze Schnauze, eher südliches Verbreitungsgebiet

Paläontologie – Fossile Wirbeltierreste in Höhlen

Höhlen spielen als Fundstellen von fossilen Tierresten, besonders von Wirbeltierresten eine sehr wichtige Rolle. Mehr als die Hälfte aller Fundstellen von jungtertiären und pleistozänen Säugetieren dürften in Höhlen oder Karstspalten gelegen sein. Die Überlieferung von Knochen und Zähnen wird von den klimatischen und chemischen Bedingungen in Höhlenräumen extrem begünstigt. Die gleich bleibende Temperatur und die hohe Feuchtigkeit verzögern den Abbau organischer Substanz (z.B. Eiweißverbindungen) sowie die Zerstörung der mineralisierten Hartteile, die aus Bioapatit, einem aus Kalzium, Phosphat und Karbonat aufgebautes Mineral, bestehen. Wenn nicht chemisch ungünstige Bedingungen herrschen (z.B. saures Milieu) erhalten sich in den Knochen die Eiweißverbindungen wie z.B. das Kollagen oder Bausteine des Erbgutes (DNA-Stränge) viel länger als in sogenannten „Freilandfundstellen“.

Höhlen kann man daher auch als „natürliche paläontologische Museen“ bezeichnen, weil hier die Reste längst ausgestorbener Tiere überliefert sein können – manchmal in erstaunlich guter Erhaltung.

Massenvorkommen von fossilen Wirbeltierresten

Für die Wissenschaft von hohem Interesse sind die manchmal riesigen Mengen von Knochen und Zähnen, die z.T. frei am Höhlenboden liegen oder in dichter Lage im Lehm oder Sand eingebettet sind.

Wie kam es zu den Massenanhäufungen von Schädeln und Knochen in manchen Höhlen? Phantastische Begründungen wurden geäußert: Die Höhlenbären hätten in großen Herden gelebt, Epidemien hätten sie hingerafft oder der steinzeitliche Jäger hätte hier die Bären in Massen hingeschlachtet. So kann man in der Drachenhöhle bei Mixnitz nach einer Schätzung der geborgenen Reste mit über 30.000 Individuen rechnen, die in der Höhle gestorben sind.

Durch viele Altersbestimmungen wissen wir heute, dass die Anhäufungen von Höhlenbärenresten viele Jahrtausende hindurch angedauert haben. In der besonders gut datierten Ramesch-Knochenhöhle im Toten Gebirge (Oberösterreich) hatte sich die zwei Meter dicke Höhlenbärenschicht in der Zeit von ca. 64.000 bis 34.000 gebildet. In den Knochenanhäufungen stecken 30.000 Jahre! Selbst wenn nur alle zehn Jahre ein Bär in der Höhle stirbt, ergibt sich eine Zahl von 3000 Individuen mit über 900.000 Einzelknochen!

Damit wird auch die zweite falsche Annahme, dass die vielen Knochen von der Jagdbeute des Menschen stammen, ad absurdum geführt. Der natürliche Tod im Winterschlaf genügt völlig, um die Massenansammlungen zu erklären. Zudem fehlen die menschlichen Spuren, etwa Schnitte und Kratzer, wie sie bei der Zerlegung des Wildbrets entstanden sein müssten, fast immer.

Das Massenvorkommen von Höhlenbärenresten lässt sich zwanglos aus der Lebensweise dieser Tiere sowie aus den günstigen Erhaltungsbedingungen in Höhlen (gleichbleibende Temperatur und Feuchtigkeit) erklären.

Wie gelangen Wirbeltierreste in die Höhle und ihre Sedimente?

1. Die Tiere suchten die Höhle auf zum Überwintern: Im Eiszeitalter waren es z.B. Höhlenbären, Braunbären, Murmeltiere und Fledermäuse, welche die Höhlen aufsuchten um hier bei gleichbleibender Temperatur und Feuchtigkeit den Winter zu verbringen. Heute halten nur die Fledermäuse einen echten Winterschlaf in unseren Höhlen; der Braunbär hält nur Winterruhe, Murmeltiere leben heute nicht in Höhlen und der Höhlenbär ist vor ca. 15.000 Jahren ausgestorben.
2. Die Höhle diente als Raubtierhorst von Hyänen, Katzen, Mardern und Füchsen: viele Raubtierarten zogen im Schutz der Höhle ihre Jungen auf und brachten die erbeuteten Wirbeltiere in die Höhle. Hyänen und Füchse vergruben ihre Mahlzeitreste im Höhlenboden, was dazu geführt hat, dass sie besonders gut erhalten wurden.
3. Die Höhle diente als Vogelhorst: Beim heutigen Klima nisten nur wenige Vögel im Inneren von Höhlen, z.B. die Bergdohlen im Hochgebirge. In den kalten Phasen des Eiszeitalters, als es kaum Bäume gab, nisteten vor allem auch Eulen im geschützten Bereich der Höhlen und hinterließen uns riesige Mengen von Gewöllen mit Tausenden von Kleinsäugerkiefern und Schneehuhnknöcheln.

4. Die Höhle war eine sogenannte „Jagdstation“ des eiszeitlichen Jägers. Die Anhäufung von Knochen- und Zahnresten geht auf die Aktivität der steinzeitlichen Jäger zurück, auf die wir durch Funde von typischen Steingeräten und durch die Überlieferung von Schnitt- und Hackspuren an den Knochen schließen können.

5. Die Höhle als Tierfalle. Schachthöhlen und tiefe Karstspalten können als Tierfallen gewirkt haben. Am Boden solcher Schächte wurden oft ganze Skelette von Großsäugern gefunden z.B. von Elchen (Dachstein, Hochschwab), Nashörnern (Hundsheimer Spalte in den Hainburger Bergen) und Braunbären (Wolfshöhle im Toten Gebirge). Heute sind es vor allen Haustiere (Almvieh), die in derartige Schächte stürzen. Oder der Mensch benutzt die Schächte als bequeme Entsorgungsstation von Tierkadavern.

6. Einschwemmung von außen. Tier- und Pflanzenreste können auch von außen in den Höhlenraum gelangt sein. Das gilt besonders für Karstspalten, in die durch das Niederschlagswasser Bodensedimente samt ihrer Kleinf fauna (z.B. Wühlmäuse, Maulwürfe, Schnecken) eingeschwemmt wurden.

Taphonomische Bedingungen

Zur Beurteilung diverser Fragen können die taphonomischen Bedingungen (wie kam es zur Fossilisation?) die entscheidenden Hinweise liefern. Das ist aber nur dann möglich, wenn die Fundschichten in Originallage angetroffen werden. Unbefugte Grabungen zerstören den Schichtverband und damit die meisten taphonomischen Befunde.

Andererseits verdanken wir die Kenntnis vieler Fossilfundstellen den Höhlenforschern. Im Folgenden soll daher versucht werden einige wichtige Verhaltensregeln aufzulisten, die Höhlen-„Forscher“ im Sinne des Wortes einhalten sollten, wenn sie in neu entdeckten Höhlenteilen Knochen, Zähne oder Schneckengehäuse finden.

1. Anfertigung von Fotos der Fundsituation und der Einzelstücke
2. Einzeichnen des Fundpunktes im Höhlenplan
3. Eventuell Anfertigung einer Lageskizze der Fundsituation
4. Entnahme von Proben: Von frei am Höhlenboden liegenden Wirbeltierresten oder Schneckengehäusen sollen nur wenige charakteristische Stücke entnommen werden, die eine Bestimmung zulassen; das sind vor allem Zähne und kleine ganze Knochen wie Hand- und Fuß-Wurzelknochen oder Mittelhand- und Mittelfußknochen. Weniger gut geeignet für die artliche Bestimmung sind Wirbel, Rippen und stark zerbrochene Langknochen.

Eine Entnahme größerer Mengen von Knochen und anderer tierischer Reste sollte nur dann erfolgen, wenn diese bei der weiteren Erforschung so im Wege sind, dass sie zerstört werden könnten. Entdeckt man fossilführende Sedimente z.B. Knochen und Zähne im Höhlenlehm, im Schutt oder im Sand, sollen Sedimentproben samt der darin enthaltenen Fossilien entnommen werden. Der Umfang der Probe soll nicht größer als 500 Gramm sein.

5. **Wichtig!** Beschriftung der Proben: Höhle, Katasternummer, Fundort, Datum, Name der Probennehmer
6. Übermittlung der Proben an ein wissenschaftliches Institut: an das zuständige Landesmuseum, an das Naturhistorische Museum in Wien oder an das Institut für Paläontologie der Universität Wien (1090 Wien, Althanstr. 14, Tel. 01-4277-53502).

Keine Grabungen!

Keine Grabungen!

Keine Grabungen!

Unbefugte Grabungen zerstören den Sedimentverband und verhindern damit unter Umständen wesentliche Befunde über die Entstehung und das geologische Alter der Fossilien. Viele österreichische Bärenhöhlen wurden durch Raubgrabungen so weit zerstört, dass sie für die Wissenschaft nur mehr von geringer Bedeutung sind (z.B. Gr. Badlhöhle im Grazer Bergland, Arzberghöhle im Hochschwab, Brieglersberghöhle im Toten Gebirge usw.).

Da fast alle Höhlen – auch die noch nicht entdeckten – unter Schutz stehen, ist das Graben nur mit Genehmigung der zuständigen Behörden (Bezirkshauptmannschaften und Naturschutzbehörden der Landesregierungen) gestattet.

Grüne Pflanzen und Pilze in Höhlen

Es werden folgende Schwerpunkte behandelt:

1. Höhleneingangsfloora: Grüne, photoaktive, autotrophe (selbsternährende) Pflanzen der Höhleneingänge.
2. Lampenflora: Die Gesamtheit aller autotrophen Pflanzen im Bereich fest installierter künstlicher Lichtquellen in Höhlen und Stollen.
3. Höhlenpilzfloora: Alle heterotroph (fremdernährend) wachsenden Pilze im Bereich von Höhlen und Stollen.

Grüne Pflanzen im Eingangsbereich von Höhlen

Die zu dieser Pflanzengruppe gehörenden Blütenpflanzen, Farne, Moose und Algen benötigen unverzichtbar Licht zum Leben. Sie nehmen bei der Photosynthese Lichtenergie auf und bilden mit dem Kohlendioxyd der Luft und Mineralien aus dem Boden organische Verbindungen wie Zucker, Stärke, Lignin etc. Organische Verbindungen sind also gespeicherte Sonnenenergie und enthalten immer Kohlenstoff.

Im Eingangsbereich von Höhlen finden grüne Pflanzen also nur so lange Lebensbedingungen vor, als genügend Licht vorhanden ist sie dringen bis zu ihrem spezifischen Lichtminimum in die Höhle ein.

Dieses Minimum ist bei den vier erwähnten Pflanzengruppen unterschiedlich.

Blütenpflanzen sind dabei am bedürftigsten und erreichen ihre Grenze bei 1/200 des Tageslichtes. Mit abnehmendem Licht reagieren sie mit Veränderungen:

- Die Fähigkeit der Blütenbildung geht verloren.
- Laubblätter werden dünner, es werden weniger Zellagen angelegt, da das wenige Licht nicht mehr so tief in das Blatt eindringen kann.
- Die Blattstiele werden dünn und lang und wachsen zum Licht hin (Etiolierung)
- Die Blätter stellen sich senkrecht zum einfallenden Licht, ein maximaler Lichtgenuss wird angestrebt.

Für Höhleneingänge besonders geeignet erscheinen präadaptierte Pflanzen, die bereits an wenig Licht angepasst sind, wie Schatten- oder Waldrandpflanzen.

L. Lämmermayer (1912), F. Morton, (1922) W. Gams (1922) u.a. erforschten am Beginn des 20. Jahrhunderts die Eingangsflora verschiedener österreichischer Höhlen. Als eine der typischen Blütenpflanzen zeigte sich der „Stinkende Storchenschnabel“ (*Geranium robertianum*).

Farne sind in der Lage bei bis zu 1/300 des Tageslichtes zu gedeihen. Mit Abnahme des Lichtes bleiben die Farnwedel kleiner und Vorkeime bleiben länger erhalten und sind stärker entwickelt als im Freien.

Der „Schwarzstielige Streifenfarn“ (*Asplenium trichomanes*) kann als der typische Eingangsfarn der Höhlen bezeichnet werden. Man findet aber auch andere *Asplenium*-Arten wie die „Mauerraute“ und den „Grünstieligen Streifenfarn“ im Gebirge.

Laub- und Lebermoose können als sehr genügsame Organismen die Lichtgrenze noch weiter hinausschieben und **Algen** gedeihen noch bei der geringen Lichtmenge von 1/2000 des Tageslichtes.

Lampenflora

Klaus Dobat aus Tübingen bezeichnete 1963 die Gesamtheit der autotrophen Pflanzen im Bereich fest installierter Beleuchtungskörper in natürlichen und künstlichen Höhlen als „Lampenflora“.

Voraussetzung für deren Entstehung und Entwicklung ist genügend Licht und Feuchte und die entsprechenden Keime, Samen oder Sporen. Keime gelangen durch Wasser-, Lufttransport, durch Tiere oder Menschen (Besucher) in die Höhle.

Erstbewuchs erfolgt durch verschiedene Algen (Blau-, Grün-, Kieselalgen), die blauschwarze, grüne oder braune Überzüge bilden können. Im fortgeschrittenen Stadium bilden sich Moose und Farne mit ähnlichem Artenspektrum wie im Eingangsbereich. Blütenpflanzen wurde bis jetzt erst einmal beschrieben und zwar aus der Lurgrotte in den 90er Jahren.

Eine kleinräumige Lampenflora ist eine interessante Bereicherung für eine Schauhöhle. Bei sinnlos hoher Beleuchtungsstärke oder großem Besucherstrom kann sie jedoch einerseits zu einer negativen Veränderung des Eindrucks Höhle führen, wenn Sintervorhänge und Tropfsteine großflächig überwachsen werden, andererseits ist sie absolut unerwünscht, wenn Kunstwerke wie Höhlenmalerei beschädigt bis zerstört werden.

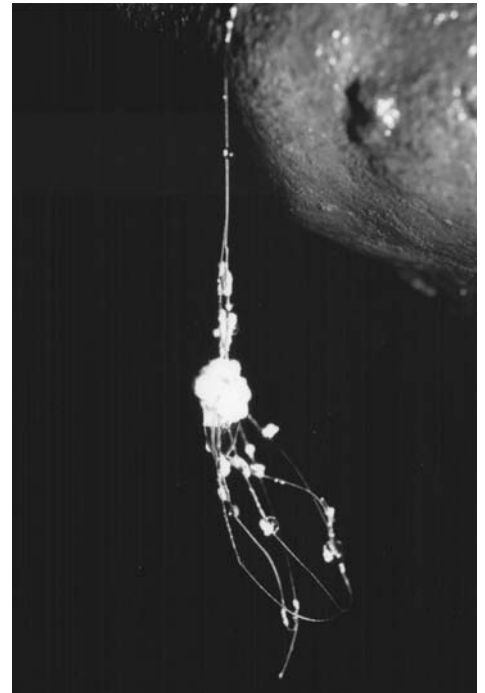
Kurzzeitig findet man vereinzelt grüne Pflanzen auch im aphotischen (lichtlosen) Teil von Höhlen, wenn deren Samen dorthin gelangen und aufgrund des im Samen vorhandenen Nahrungsdepots ein beschränktes Wachstum möglich ist. Nachdem es aufgezehrt ist, stirbt jedoch die Pflanze.



Durch die Höhlensituation modifizierter Hutpilz (Helmling / *Mycena* sp.) mit überlangem Stiel, starker Behaarung und geotrop orientiertem Hut.



Steriles Pilzgeflecht (Luftmycel) auf Holzpölung wachsend und von dieser herabhängend.



Weberknecht (*Amilenus aurantiacus*) vom Schimmelpilz *Beauveria bassiana* infiziert und abgetötet.

Pilze in Höhlen

Pilze werden separat angeführt, da sie nach heutiger Ansicht neben dem Pflanzen- und Tierreich als drittes Reich zusammengefasst werden.

Pilze beziehen im Gegensatz zu grünen Pflanzen ihren Kohlenstoff aus organischen Substanzen und nicht aus dem Kohlendioxyd der Luft. Ihre Ernährung ist vom Licht unabhängig, sie besitzen keine photoaktiven Substanzen wie Chlorophyll und produzieren daher auch keine Glucose als Zucker.

Da sie lichtunabhängig sind, kann man Pilze bis in die tagfernen Bereiche der unterirdischen Welt finden, soweit sie dort organische Nährstoffe wie Holz, Blätter, Tierleichen, Rückstände von Höhlenforschern etc. vorfinden.



In der Höhlensituation leben die meisten Pilze dauernd als Pilzgeflecht (Mycelium). In dieser Form sind sie für das Ökosystem von großer Bedeutung, da sie verschiedenen Höhlentieren wie Spinnen, Tausendfüßern, Höhlenkäfern, Springschwänzen etc. als Behausung, Jagdplatz oder Nahrung dienen.

Wenn sie fruktifizieren, d.h. Schwammerln bilden, zeigen diese Pilzfruchtkörper meist abnormes Wachstum, morphologische Modifikationen. Einige dieser Veränderungen sind:

1. Übermäßig langer Stiel
2. Starke, ungewöhnliche Behaarung des Stieles
3. Verlust der Pigmentation des Fruchtkörpers.
4. Verlust fertiler Strukturen wie Sporen, Basidien etc.

In vielen Fällen gelangen die Pilze im Finsternen nicht zu einem Vollreifestadium sondern bleiben in ihrer Entwicklung in einem Jugendstadium stehen oder steril. Sie bilden dann meist lange dünne Stiele mit einem winzigen Hütchen. Durch einen Lichtimpuls kann diese Entwicklung zum reifen Pilzfruchtkörper fortgesetzt werden.

Pilze besitzen auch die Fähigkeit zum Licht hin zu wachsen (positiver Phototropismus) und reife Pilzhüte reagieren auf die Erdanziehungskraft und positionieren ihre Hüte danach entsprechend (positiver Geotropismus) um ihre Sporen ausschleudern zu können.

In Höhlen findet man so gut wie alle systematischen Gruppen von Pilzen, vorausgesetzt, das entsprechende Substrat steht zur Verfügung. Grundsätzlich findet man in Höhlen keine anderen Pilzarten als im Freien.

Das Interesse an Pilzen in Höhlen und Bergwerken geht bis weit in das 17. Jh. zurück (Aldrovandi). Im 18. Jh. beschrieb Scopoli (1772) und Humboldt (1793) Pilze in Bergwerken. Es handelte sich dabei meist um Holz bewohnende Arten, die als Zerstörer der Bergwerkseinbauten auftraten (z.B. Anissägeblättling, *Lentinus lepideus*). Durch die Bergwerkssituation bildeten sie ungewöhnliche Formen oder Monstrositäten, die fälschlich als neue Arten beschrieben wurden, obwohl es sich nur um Modifikationen handelte.

In den letzten Jahrzehnten wurde den Schimmelpilzen größere Aufmerksamkeit zuteil. Sie befallen meist lebende Gliederfüßer (Insekten, Spinnentiere, u.a.) durchwachsen den Körper des Tieres und töten es ab. Unter den Opfern befinden sich z.B.: Große Höhlenspinne (*Meta menardi*), Scherenkanker (*Ischiropsalis collari*), Höhlenheuschrecke (*Troglophilus cavicola*), Zackeneule (*Scoliopterix libatrix*), Wegdornspanner (*Triphos dubitata*), u.a.

In den meisten Fällen erfolgt die Infektion durch *Beauveria bassiana*, einen Schimmelpilz aus der Verwandtschaft des Penicillins.

Prähistorische Funde in Höhlen

Bei der Befahrung von bekannten oder auch neuentdeckten Höhlen kann es vorkommen, dass man auf historische oder prähistorische Funde stößt. Die Fundsituation ist in den meisten Fällen nicht immer gleich klar zu erkennen, weil auch nicht in jeder Höhle mit einem archäologischen Fund zu rechnen ist. Aus diesem Grund kann es vorkommen, dass, nicht mit Absicht aber durch Unwissenheit, für die Wissenschaft ein unwiederbringlicher Schaden entsteht. Auch das „Buddeln“ in Höhlen, also die Suche nach archäologischen Funden vernichtet für immer wertvolle Informationen über unsere eigene Vergangenheit bzw. Landesgeschichte. Sollte jemand bei der Erforschung einer Höhle auf einen nachstehend aufgezählten Fund oder Hinweis stoßen, so ist es unbedingt notwendig eine Meldung an eine der zuständigen Stellen weiter zu leiten, damit diese gesichert werden können und so der Nachwelt erhalten bleiben. Über den Fundverbleib gibt es eigene Richtlinien. Ein geborgenes Fundstück soll auf jeden Fall Fachleuten (z.B. Bundesdenkmalamt) zur Bestimmung und Bearbeitung übergeben werden.

Welche Funde aus dem prähistorischen Zeitraum können in Höhlen vorkommen?

1. Menschliche Überreste: Schädel, Zähne und Knochen des menschlichen Skeletts
2. Menschliche Hinterlassenschaften: Hier kann es sich um nachfolgend angeführte Gegenstände handeln: Stein- und Knochenwerkzeuge, Keramik als ganze Gefäße oder auch in Form von Topfscherben, Kunstwerke wie beispielsweise Schmuckgegenstände, Tier- und Menschenfigurinen, Götterstatuen, Jagdwaffen, Bestattungen, Geräte des Alltags z.B. Mahlsteine, Kultgegenstände u.v.m. handeln.
3. Kunstäußerungen in Form von Höhlenmalereien, Fingerlinien, Gravuren oder Reliefe auf dem Boden, der Wand und der Decke von Höhlenräumen. Auch Farbspuren auf dem Fels, Tropfsteinen oder Wandabsplitterungen können Hinweise auf einstige Malereien sein.
4. Inschriften: Speziell für den jungpaläolithischen Abschnitt können im weiteren Sinne auch einfache Zeichen wie beispielsweise Abfolgen von Punkten und Strichen oder anderen Darstellungen als mögliche frühe Informationsträger interpretiert werden.
5. Künstliche Veränderungen des Höhlenraumes. Hier sind vor allem auffällige Abweichungen von der natürlichen Raumbildung bzw. dem Höhleninhalt gemeint wie beispielsweise: Einebnung des Bodens z.B. für kurzfristigen Lagerplatz, Mauern, Erweiterung von Gangpassagen oder Räumen, Stufen, Reliefwände, Vorratsgruben, Beleuchtungsnischen, Ausnehmungen für Bestattungen, Steinsetzungen, u.ä.
6. Stein-, Sinter- oder Lehmabbau, fällt auch unter künstliche Veränderungen des Rauminhalts.
7. Veränderungen an Tropfstein- und Sinterbildungen durch den prähistorischen Menschen. Dazu zählen beispielsweise abgeschlagene und auch in Felsspalten oder Lehm gesteckte Tropfsteine. Beschädigungen von Tropfsteinbildungen beispielsweise durch das Anschlagen von Sinterfahnen, Stalagmiten oder Stalaktiten zur Klangerzeugung usw.
8. Depots von Pflanzensamen in Gefäßen, Knochen, Stein- oder Knochenwerkzeuge und Metallgegenstände aus dem pragmatischen und kultischen Bereich der stein-, bronze- und eisenzeitlichen Kulturen.
9. Spuren des Menschen: Handabdrücke auf dem Boden, an der Wand oder der Decke, Fußabdrücke in lehmigen oder sandigen oder mit Sinter überzogenen Sedimenten, alte Feuerstellen (Asche und Holzkohlereste), Speisereste, artifiziell veränderte Knochen, die gesondert in Höhlenräumen gelagert wurden, Stein- oder Knochenklingen, die in Fugen oder Spalten hineingeklemmt wurden, Fackel- oder andere Beleuchtungsreste, Russ-Spuren an den Wänden u.v.a.m.
10. Fossiles Knochenmaterial: Mensch und Tier (!). Speziell bei fossilen Überresten von ausgestorbenen Tierarten oder vom frühen Menschen sollte man bei der Sichtung eines solchen Fundkomplexes seine angeborene Sammelleidenschaft zügeln und die Beurteilung und Bergung den zuständigen Fachleuten überlassen.

Welche Nutzungsarten des prähistorischen Menschen sind in Höhlen nachweisbar?

1. Zufluchtsort (kurz- oder längerfristiger Aufenthaltsort)
2. Wohnbereich (nur in klimatisch günstigen Regionen selten im Hochgebirge!)
3. Bestattungsplatz (seit dem Paläolithikum – Altsteinzeit – bis zur Gegenwart)
4. Kultplatz für Gottheiten, Geister, Dämonen (seit der Altsteinzeit bis zur Gegenwart)
5. Opferstätte für Tier- und Menschenopfer (derzeit in Europa ab dem Neolithikum – Jungsteinzeit – belegt)
6. Depotraum für Alltags-, Wertgegenstände und Nahrung
7. Trinkwasserdepot (derzeit in Europa ab der Jungsteinzeit belegt)
8. Bergbau (in Europa seit der Altsteinzeit)

Welche sichtbaren Fundsituationen können in Höhlen vorkommen?

1. Originalfundplatz: Fundstück liegt „in situ“ (das ist die archäologische Bezeichnung für einen Gegenstand, der sich in der ursprünglichen Lage befindet, wie er im Rahmen von archäologischen Untersuchungen freigelegt oder an der Oberfläche liegend aufgefunden wurde) an der Oberfläche oder steckt im Sediment, im Fels, Eis, Wasser, Sinter etc.
2. Sekundärfundplatz: Fundstück wurde bereits auf Grund von Veränderungen durch Mensch oder Tier, aber auch durch Naturereignisse umgelagert. Dies kann im letzteren Falle durch Wassereinträge infolge von schweren Unwettern oder auch durch Tiere beim Aushub ihres Baues vorkommen. Hierbei können im umgelagerten Sediment vielleicht Steinklingen, Topfscherben oder andere Funde an die Oberfläche gelangen. Auch im Aushubmaterial von Raubgrabungen oder im Rahmen von Erschließungsarbeiten durch Höhlenforscher bzw. beim Freilegen von Höhlenräumen durch Steinbruch-, Straßenarbeiten usw. ist es möglich, dass archäologische und paläontologische Funde zu Tage treten. Bei Einzelfunden kann es sich auch um Streufunde handeln, das sind, wie der Name schon sagt „Einzelfunde“, die ohne weiteren archäologischen Zusammenhang in oder vor Höhlenräume bzw. den Eingangsbereich gelangt sind. Diese unterliegen, gleich wie alle archäologischen Funde, ebenfalls der Meldepflicht!

Welche Sofortmaßnahmen sollten bei Höhlenfunden eingehalten werden?

Wenn ein archäologischer Fund entdeckt wird sollte innerhalb weniger Tage (2-3) bzw. sobald als möglich die Meldung an eine zuständige Stelle (Bundesdenkmalamt, Landesmuseum oder Universität – Institut für Ur- und Frühgeschichte, Archäologie, Alte Geschichte und Altertumskunde, Paläontologie) telefonisch oder schriftlich weitergegeben werden. Auf keinem Fall aber dürfen Funde, wenn sie noch „in situ“ (Originallage) vorgefunden werden, von der Stelle entfernt werden! Dies sollten nur autorisierte Personen durchführen. Und wenn dies bei Oberflächenfunden in gut besuchten Höhlen zur Sicherung des Fundes dennoch geschieht, so sollte die Lage vor Ort protokolliert werden (Foto, Aufzeichnung o.ä.), um die Fundsituation später rekonstruieren zu können. Auf keinem Fall darf an dieser Stelle nachgegraben werden, weil dadurch weitere wertvolle Informationen und auch Funde zerstört werden können. Mit dem Entfernen von weiteren Fundgegenständen gehen wichtige Begleitinformationen verloren, die nur durch Fachleute erkannt und gesichert werden können (z.B. Altersdatierung, Fundanalyse usw.).

Zuständige Stellen für Fundmeldungen

- Bundesdenkmalamt Wien oder die Landeskonservatoren des BDA in den Bundesländern.
- Landesmuseen der Bundesländer oder die zuständigen Gemeindemuseen.
- Universitäten in Wien, Graz, Linz, Salzburg, Innsbruck und Klagenfurt (jeweils zuständigen Institute).
- Karst- und höhlenkundliche Abteilung des Naturhistorischen Museums Wien.

Entwicklung der Speläologie in Österreich

Historischer Abriss

Antike und Mittelalter (0 bis 1500 n. Chr.)

Seit der Antike stellen Höhlen Orte dar, die an der Schwelle zwischen Dies- und Jenseits liegen. Sie bildeten Verbindungspunkte mit dem Spirituellen, gleichen Zwischenwelten und laden zu Schutz und religiöser Einkehr ein. Insbesondere im Mittelalter wurden Höhlen zu Orten, wo das Fremde und Unerklärliche – wie Sagen belegen – in Form von mythischen Figuren und Frauengestalten lokalisiert und damit gebannt wurde. Als sexuell aufgeladene Räume unterlagen sie sozialen Tabus, Geschlechter- und Körperbilder dienten als Symbole einer belebten Natur der Veranschaulichung und Beschreibung metamorpher Naturprozesse. Die ersten Hinweise auf Höhlenbesuche aus nachchristlicher Zeit im österreichischen Raum erhalten wir durch auf Höhlenwänden hinterlassene Monogramme, Wappen oder Jahreszahlen, die wie am Beispiel der Drachenhöhle bei Mixnitz bis ins Jahr 1387 zurückreichen. Gegenüber den zumeist von Geistlichen und Adligen unternommenen Höhlenfahrten stand die bis heute andauernde Nutzung des Unterirdischen durch reisende Schatzsucher, einheimische Jäger oder Senner, die in den schattigen Höhleneingängen ihre Beute oder Milcherzeugnisse kühl stellten, Tropfsteine, Mineralien oder andere Funde sammelten, um damit im Tal Handel zu treiben. Die in großer Anzahl an Höhleneingängen hinterlassenen Ritzzeichen stellen heute eine wichtige historische Quelle für diese großteils schriftlose, magische Form der Volkskultur dar.



Wandfresko mit der Abbildung des Hl. Benedikt in der Höhle „Sacra Speco“ (Subiaco, Italien)

Frühe Neuzeit und Aufklärung (1500-1780)

Ab der Zeit der Renaissance begab man sich in Höhlen auf die Suche nach bizarren Tropfsteinen, Fossilien oder historischen Überresten – beliebte Sammlungsobjekte für herrschaftliche Kuriositäten-Kabinette und gelehrte Naturforscher. In zeitgenössischen Berichten glichen Hohlräume wahren Fundgruben für Seltsames, Außergewöhnliches oder Erstaunliches, sie wurden Schauplatz bewundernder Rundgänge und fürstlicher Feierlichkeiten. Zu den natürlichen Höhlen traten von Menschenhand gefertigte Grotten als wesentliches Gestaltungsmittel der Gartenkunst hinzu. Zeitgleich erschienen mit Athanasius Kirchers Werk „Mundus subterraneus“ (1664) oder Jacques Gaffarels „Le Monde souterrain“ (1654) erste wissenschaftliche Berichte zu Phänomenen des Unterirdischen und es bildete sich ein erster Kanon von Höhlen in Europa aus, die Adelige auf ihrer Grand Tour mit Reiseführern und -beschreibungen ausgestattet betraten. Die Sicht der Zeitgenossen auf den Aufbau der Erde war bereits durch Erfahrung geprägt und ließ sie selbst mit Öllampen, Kerzen oder Fackeln ausgestattet das Unterirdische betreten. Allerdings richtete sich der Fokus der Zeitgenossen weniger auf die Höhlengebiete Österreichs, sondern auf den Mährischen und vor allem den Slowenischen Karst, der durch seine verkehrsgünstige Lage nahe der Küstenstadt Triest von zahlreichen europäischen Reisenden besucht wurde. Für die Gelehrten und jungen Adligen, die sich auf Bildungsreise durch Europa befanden, zählten die Krainer Tropfsteinhöhlen längst zum festen Kanon unterirdischer Sehenswürdigkeiten. Ihrer



Erkundung der Mixnitzer Drachenhöhle durch J.A. Nagel, Aquarell S. Rosenstingl um 1748.

Dokumentation, auch in Form von ersten Plänen, nahm sich besonders das beliebte Genre der Topografien an, darunter auch das groß angelegte Werk „Die Ehre des Herzogthums Krain“, dessen Verfasser Johann Weichard Valvasor (1689) dafür persönlich zahlreiche Krainer Höhlen besuchte. In Österreich sind es Gesandte im kaiserlichen Auftrag wie Christoph von Schallenberg (1591) oder Joseph Anton Nagel (1748/49), die Höhlen aufsuchten und neben Berichten teils auch Skizzen und Pläne anfertigen ließen, um Gerüchten über im Unterirdischen verborgene Schätze auf den Grund zu gehen. Gleichzeitig begann der frühmoderne Staat den Zugang zu Höhlen und unterirdischen Objekten stärker zu reglementieren und am Beispiel der beliebten Schatzgräberhöhlen „Lamprechtsofen“ (1324/1) und „Scheukofen“ (1335/4) sogar unter Strafe zu stellen.

Romantik und Vormärz (1780-1848)

In der Romantik wurden Höhlenbefahrungen zu äußeren und inneren Reisen zugleich, gaben den Besuchern Anlass zu Inspiration und Introspektion. Ausgangspunkt für diese neue Betrachtungsweise von Höhlen war die Ästhetik und Kunst, welche Höhlen als idyllische Szenerien zum Schauplatz antiker Mythen stilisierten. Ein von der Kehrseite der menschlichen Existenz – Wahnsinn, Perversion, Verfall und der Nacht – förmlich elektrisiertes Europa fand im Unterirdischen eine willkommene Projektionsfläche für ihre verborgenen Neigungen und Wünsche. Allerdings entdeckten die Reisenden auf ihrem Weg in den Untergrund nicht nur die Tiefen der Subjektivität, sondern auch die Bedeutung von Höhlen als Orte wieder, wo durch persönliche Anschauung Erfahrungswissen gewonnen werden kann. Wissenschaftlich wurden Höhlen von Geologen, Paläontologen, Zoologen und Botanikern als Archive der Menschheits- und Erdgeschichte nun ein größeres Interesse entgegengebracht, für die Speläogenese erstmals das Zusammenwirken mehrerer verschiedenartiger Ursachen angenommen. Mit der aus dem Bergbau entlehnten Methode des „Kreuzlegens“ konnten erstmals Schächte bis zu einer Tiefe von über 300 m befahren werden. In Mähren und Ungarn erfolgten Höhlenerkundungen noch zumeist durch die private Initiative des Grundherrn, in Krain und dem Küstenland um Triest versuchten etwa der Bergbaubeamte Anton Lindner und der Wiener Reiseschriftsteller und Geograf Adolf Schmidl um 1850 auf eigene Faust, den unterirdischen Karstfluss „Reka“ in die Tiefe zu verfolgen. Zusätzlich lenkte die bereits 1818 zur Schauhöhle ausgebaute und kurz darauf unter staatliche Verwaltung gestellte „Postojnska jama“ (Adelsberger Grotte) den Blick höhlenkundlich interessierter Städter auf den küstenländischen Karst. Schmidls abenteuerliche Berichte im Abendblatt der Wiener Zeitung und seine wissenschaftliche Monografie zur Höhlenkunde des slowenischen Karsts sollten die Beschäftigung mit dem Unterirdischen nicht nur populär machen, sondern auch die methodischen Grundlagen für die moderne Höhlenforschung liefern.



Besucher in der Höhle von Antiparos (Griechenland), 1801.

Nationalismus und Imperialismus (1848-1914)

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts erfolgte die Institutionalisierung der Speläologie in privaten Vereinen und öffentlichen Forschungseinrichtungen. Nach der 1879 initiierten Gründung des weltweit ersten höhlenkundlichen Vereins in Wien, der aus dem Zusammenschluss wissenschaftlicher Laien und arrivierter Forscher entstand, wurde mit dem „Literaturanzeiger“ das erste speläologische Periodikum ins Leben gerufen. 1907 gründete schließlich Hermann Bock in Graz den „Verein für Höhlenkunde in Österreich“,



Rettung der in der Lurgrotte eingeschlossenen Höhlenforscher, 1894.

der bis Kriegsende acht Sektionen in unterschiedlichen Landesteilen der Monarchie unterhielt. Aufgrund wasserbaulicher Problemen im küstenländischen Karst um Triest begann sich neben privaten Vereinen zunehmend auch das Ackerbauministerium in Wien für karsthydrologische und höhlenkundliche Sachfragen zu interessieren und unterhielt eigene Forschergruppen im Krainer Karst. Neben dem Entstehen von Überblicksdarstellungen und Handbüchern zur Speläologie wie William Boyd Dawkins „Cave hunting“ (1874), Franz Kraus' „Höhlenkunde“ (1894) und Édouard-Alfred Martels „Les Abîmes“ (1894) begann man sich vermehrt auch für Spezialfragen der Speläologie wie der Eishöhlenforschung und Biospeläologie zu interessieren. Ausgehend von Graz, Triest und Wien, wo in den 1890er Jahren von Jovan Cvijić und Alfred Grund die erste systematische Beschäftigung mit der Karstkunde einsetzte, wurde der Dinarische und Mährische Karst und ferner die Nördlichen Kalkalpen zu den bevorzugten Forschungsgebieten in der Doppelmonarchie. Als soziales Elitenprojekt verstand sich die politisch bürgerlich bis deutschnational ausgerichtete Höhlenforschung als Pendant zum populär gewordenen Hochalpinismus. Die zur Befahrung tiefer Schächte notwendig gewordene Arbeitsteilung zwischen mehreren Höhlenbesuchern implizierte nicht nur eine verstärkte Schulung und Disziplinierung der Teilnehmer, sondern führte auch zu einer klaren sozialen Hierarchie innerhalb der Forschergruppen. Die speläologische Praxis der Vermessung und Benennung unbekannter Höhlen und die Dokumentation der Ergebnisse in Archiven wurde maßgebliches Legitimationsmittel für den wissenschaftlichen Geltungsanspruch der Höhlenforschung und bildete die Grundlage für die rituelle Inbesitznahme und Ausdeutung subterrainer Räume zur Zeit des Imperialismus – einer Phase, in der die Expansionstendenzen der europäischen Großmächte nicht nur in ferne Kontinente, luftige Bergeshöhen, sondern auch in die Tiefen der Berge reichten. Mit der zunehmenden Auslieferung des Körpers an das aus Leitern, Seilen und Booten bestehende Befahrungsmaterial wurde auch die Verletzlichkeit der Physis des Forschers ein Thema. Der unter dem Namen „Lurhöhlenkatastrophe“ zu einem internationalen Medienereignis aufgeschaukelte Höhlenunfall von 1894 ließ mehrere Hundert Helfer und Schaulustige im steirischen Semriach zusammenkommen, um die durch Hochwasser eingeschlossenen Forscher zu befreien. Zu der durch den Bau von Wanderwegen und Schutzhütten vorangetriebenen Erschließung der oberirischen Karstlandschaft trat auch die Erschließung der unterirdischen Sehenswürdigkeiten hinzu, die durch den Ausbau von Höhlen für den öffentlichen Führungsbetrieb, die Errichtung von Zugangswegen und der dazugehörigen Infrastruktur erfolgte. Mit dem durch Adolf Mayer und der Lurgrottengesellschaft forcierten Ausbau der Peggauer Lurhöhle (2826/1) wurde diese zur besucherstärksten Schauhöhle der Zwischenkriegszeit.



Schutzhöhle an der österr. Isonzofront, 1915.



Die in der Lurgrotte verunglückte Lehrerin und Höhlenforscherin Poldi Fuhrich (1898-1926)

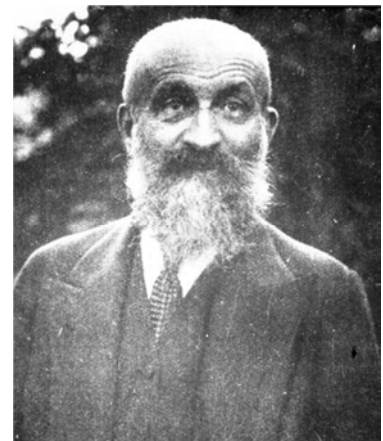
Erster Weltkrieg und Zwischenkriegszeit (1914-1938)

Nach Ausbruch des Ersten Weltkriegs beteiligten sich die österreichischen Speläologen mit vorauseilendem Gehorsam an den Kampfhandlungen und waren vor allem als Mineure im Stellungskrieg an der Alpen- und Balkanfront im Einsatz. Zeitgleich erfolgte eine völlige Umstrukturierung der Vereinslandschaft. Beinahe alle nicht deutschsprachigen höhlenkundlichen Vereine der Monarchie wurden polizeilich aufgelöst. 1917 wurde aus Nahrungsmittelknappheit und dem Mangel an phosphathaltigem Dünger für die Landwirtschaft vom Ackerbauministerium die „Österreichische Höhlendüngeraktion“ ins Leben gerufen, welche von der neu gegründeten „Staatlichen

Höhlenkommission“ weitergeführt wurde und bis 1924 insgesamt 23.000 Tonnen phosphathaltige Düngererde der Landwirtschaft zur Verfügung stellen konnte. Soziale Umbrüche der Nachkriegszeit führten zu einer regelrechten Militarisierung des Vereinslebens. Höhlenbefahrungen wurden auch noch nach Kriegsende als Fronterfahrung, als Kampf mit der Naturgewalt erlebt, der Orden verdiente und Opfer forderte. Fledermaus, Höhlenbär und die durch die Ressourcenknappheit der Kriegszeit zum bevorzugten Geleucht der Höhlenforscher avancierte Karbidlampe wurden zu Emblemen der höhlenkundlichen Vereine. Gleichzeitig war es erstmals Frauen möglich, den höhlenkundlichen Vereinen beizutreten und wie um Beispiel von Leopoldine Fuhrich auch an sehr anspruchsvollen Höhlenfahrten teilzunehmen. Durch die nun auch am Ackerbauministerium und Bundesdenkmalamt institutionalisierte Höhlenkunde konnte eine rege wissenschaftliche Publikationstätigkeit entfaltet werden, die auch im 1928/29 erlassenen Höhlenschutzgesetz und einer Schauhöhlen-Verordnung ihren Niederschlag fand. Die von Vertretern der staatlichen Höhlenforschung sukzessive vorangetriebenen Akademisierung der Speläologie führte zu einer zunehmenden Ausgrenzung von Laienforschern und einem Miteinander der Höhlenforschung in Form privater Vereine und staatlicher Forschungseinrichtungen. Durch Unterstützung deutschnationaler Wissenschaftler gelang schließlich 1929 die Schaffung einer Lehrkanzel für Speläologie an der Universität Wien, die jedoch nur bis 1938 – ein Jahr nach dem Tod des Lehrstuhlinhabers Georg Kyrle – Bestand hatte.

Drittes Reich (1938-1945)

Nach dem Einmarsch in Österreich ließ die geplante Gleichschaltung der deutschsprachigen Höhlenforschung, wogegen zahlreiche höhlenkundliche Vereine der Ostmark zumeist weniger aus ideologischen, als aus machtpolitischen Überlegungen opponierten, nicht lange auf sich warten. Mit der vom Reichsführer SS Heinrich Himmler 1938 erlassenen Schaffung einer „Forschungsstätte für Karst- und Höhlenkunde innerhalb der SS-Forschungs- und Lehrgemeinschaft „Das Ahnenerbe“ sollte die Höhlenforschung im Sinne der Wehrwissenschaft neu organisiert werden. Die Sammlungen des aufgelösten „Speläologischen Instituts“ in Wien wurden unter teilweisem Widerstand nach München gebracht, wo die Forschungsstätte unter der Führung von Hans Brand und dem Wiener Speläologen Walter Abrahamczik 1939 ihren Betrieb aufnahm. Zwei Jahre später folgte die Neuordnung der höhlenkundlichen Vereinslandschaft unter dem „Reichsbund für Karst- und Höhlenforschung“ mit Sitz in Salzburg. Während sich die Mehrzahl der Höhlenforscher teils begeistert, teils zögernd der neuen Führung in München zuwandte, wurden kommunistische Höhlenforscher in den



Naturschutzjurist und Höhlenforscher Benno Wolf (1871-1943)

Untergrund getrieben oder jüdische Speläologen wie der ehemalige Verbandspräsident Benno Wolf durch Mithilfe seiner Kollegen verschleppt und im Konzentrationslager ermordet. Ab 1942 organisierten Speläologen den Aufbau eines „SS-Karstwehr-Bataillons“ in Pottenstein (Oberfranken), das 1944 zur Partisanenbekämpfung im slowenischen Karst eingesetzt wurde und Massaker an der Zivilbevölkerung verübte.

Zweite Republik (seit 1945)

Mit dem militärischen Zusammenbruch des Dritten Reichs hatte sich die in den Machtapparat des Nationalsozialismus eingegliederte Organisationsstruktur der Höhlenforschung weitgehend aufgelöst. Zu den impulsgebenden Höhlenvereinen in Wien, der Steiermark, Salzburg und Oberösterreich, die auf eine längere historische Entwicklung zurückblicken können, traten während der 1950er-Jahre eigene höhlenkundliche Organisationen in Tirol, Vorarlberg und Kärnten hinzu. Die in der Zweiten Republik zum Inhalt der Vereinsstatuten avancierte unpolitische Ausrichtung und hierarchiefreie Kooperation zwischen akademischen Laien und Wissenschaftlern bildeten die Grundlage für eine rasche Restrukturierung und Wiederaufnahme der Forschungstätigkeit, da man weiterhin auf die fachliche Expertise politisch diskreditierter Mitglieder aufbauen konnte. Auch wenn dadurch die

Reetablierung einer Lehrkanzel für Speläologie ausgeschlossen war, wurde die höhlenkundliche Lehrtätigkeit an österreichischen Universitäten noch in eingeschränktem Umfang weitergeführt. Obwohl das „Speläologische Institut“ am Ackerbauministerium und das am Bundesdenkmalamt bestehende „Höhlenreferat“ wiederbegründet wurden, konnte ihre institutionelle Integrität im Laufe der Zweiten Republik nicht gewahrt werden und fiel behördlichen Umstrukturierungsmaßnahmen zum Opfer. War die Zwischenkriegszeit noch von einer Nationalisierung der Forschungslandschaft geprägt, begannen sich die österreichischen Höhlenforscher nach Wiedererlangung der staatlichen Souveränität auch global zu vernetzen. Ab den 1960er Jahren stieß dazu eine junge Generation von Höhlenforschern zu den Vereinen, die durch ihre Erfahrung als Heranwachsende im Nachkriegsösterreich mehr an internationaler Vernetzung und Sachfragen interessiert waren und die festen Strukturen der älteren Generation zu hinterfragen begannen. Nach der Veranstaltung des „3. Internationalen Kongresses für Speläologie“ in Wien, Salzburg und Obertraun wurde Hubert Trimmel 1965 zum Generalsekretär der neu gegründeten „Internationalen Union für Speläologie“ gewählt. Zeitgleich wurde an dem Aufbau eines neuen österreichischen Höhlenkatasters gearbeitet. Neben der Weitererforschung von bereits bekannten Höhlen kam es in den Nachkriegsjahren auch zu nennenswerten Neuentdeckungen wie der Hirlatzhöhle (1546/7), Raucherkarhöhle (1626/300) und der Tantalhöhle (1335/30), die heute zu den längsten Höhlensystemen Österreichs zählen. Die aus Frankreich kommende Einseiltechnik verringerte nicht nur Gewicht und Umfang der Abstieghilfen, sondern machte Höhlenforschungen zu Unternehmen von zumeist feststehenden, miteinander konkurrierenden Kleingruppen, bei denen die bei früheren Expeditionen aus der Aufgabenverteilung resultierenden sozialen Hierarchien zwischen den Teilnehmern eine untergeordnete Rolle spielten. Im Schauhöhlentourismus gelang in der Nachkriegszeit vereinzelt Betrieben wie der Eisriesenwelt oder den Dachsteinhöhlen dank billiger Hilfskredite aus dem Marshallplan die Errichtung von Seilbahnanlagen und der Einstieg in den modernen Massentourismus.



Gründungsversammlung des Verbands Österr. Höhlenforscher auf der Schönbergalm (OÖ), 1949.

Chronologie der Höhlenkunde (in Österreich)

- 852/3 v. Chr.: Erste dokumentierte Höhlenbefahrung in den „Tigris-Tunnel“, eine vom Quellfluss Bylkalein-Su durchströmte Wasserhöhle (TR), durch den Assyrerkönig Salmanassar III
- 1213 n. Chr.: Älteste datierte Höhleninschrift in der „Postojnska jama“ (SLO)
- 1535: Erforschung der Breitenwinner Höhle (D) durch Berthold Buchner und 24 Amberger Bürgern
- 1546: Publikation des weltweit ersten Plans einer Höhle bei Neapel (I) durch Georg Agricola
- 1592: Christoph v. Schallenberg und Hans Gassner erforschen auf Befehl von Rudolph II das Geldloch am Ötscher
- 1654/64: Publikation von Jacques Gaffarels „Le Monde souterrain“ und Athanasius Kirchers „Mundus Subterraneus“
- 1673: Erkundung der Höhle von Antiparos (GR) durch den franz. Diplomaten Charles Marie François de Nointel
- 1689: Johann Weichard Valvasor beschreibt in seiner Topografie „Die Ehre des Herzogthums Krain“ genau die Höhlengebiete des slowenischen Karsts
- 1747: Johann Anton Nagel bereist auf Befehl von Franz Stephan I zahlreiche Höhlen in Österreich, Krain, Mähren und Ungarn und fertigt zwei handschriftliche Berichte mit aufwendigen Stichen an



- 1776: Abstieg in den Schlund der Macocha (CZ) durch Karl Joseph von Salm-Reifferscheidt (-138 m)
- 1774: Johann Friedrich Esper beschreibt die Knochen von Höhlenbären aus der Zoolithenhöhle bei Burggailenreuth (D)
- 1805: Der Begriff „Höhlenkunde“ wird erstmals im 2. Bd. von Johann Christian Rosenmüllers „Beschreibung merkwürdiger Höhlen“ gebraucht
- 1818: Entdeckung großer Teile in der „Postojnska jama“ (SLO) durch den Führer Luka Čeč
- 1824: Die „Postojnska jama“ wird als erste Höhle unter staatliche Verwaltung gestellt
- 1841: Abstieg in Trebiciano-Schacht (I) durch Anton Lindner (-329 m)
- 1851: Adolf Schmidl beginnt seine Forschungsfahrten in den slowenischen Karst und begreift die Höhlenkunde in seinem Werk „Zur Höhlenkunde des Karstes“ erstmals als integrative Wissenschaft
- 1865: Erste Höhlenfotografien in der „Mammoth Cave“ in Kentucky (USA) durch Charles Waldack
- 1879: Gründung des weltweit ersten Vereins für Höhlenkunde in Wien
- 1888: Édouard-Alfred Martel beginnt seine „Kampagnen“ (Forschungslager) im südfranzösischen Karst
- 1893: Mit der Dissertation „Das Karstphänomen“ von Jovan Cvijic und dessen Lehrer Albrecht Penck wird Wien weltweites Zentrum der Karstkunde
- 1894: Publikation von Franz Kraus' „Höhlenkunde“; in der Lurgrotte werden 7 Höhlenforscher über eine Woche eingeschlossen
- 1895: Gründung der ersten internat. Gesellschaft für Speläologie (Société de Spéléologie) in Paris
- 1900: Der Begriff „Speläologie“ wird durch die gleichnamige Monografie von Édouard-Alfred Martel wissenschaftlich legitimiert
- 1911: Erster österreichischer Kongress für Speläologie in Hallstatt
- 1912: Eröffnung des weltweit ersten Speläologischen Museums in Linz
- 1917: Beginn der staatlich institutionalisierten Höhlenkunde durch Einsetzung einer „Ministerialkommission für Höhlenforschung“ am Ackerbauministerium und Indienststellung der Speläologie für Kriegszwecke
- 1920: Der Botaniker Richard Wettstein verwendet zum ersten Mal im Zusammenhang mit der Höhlenkunde den Begriff „Gruppenwissenschaft“
- 1922: Gründung des „Hauptverbands deutscher Höhlenforscher“ unter deutsch-österreichischer Führung in Eisenerz; mit der Schaffung eines „Speläologischen Instituts“ am Ackerbauministerium erhält die Höhlenkunde eine Forschungs- und Lehreinrichtung
- 1923: Georg Kyrles „Grundriss der Theoretischen Speläologie“ wird zur Grundlage für die spätere Akademisierung der Speläologie
- 1928: Ein Naturhöhlenschutzgesetz und eine Schauhöhlen-Verordnung regeln Höhlenschutz und Führungswesen
- 1929: Schaffung einer Lehrkanzel für Höhlenkunde ad personam für Georg Kyrle an der Universität Wien
- 1938: Ein Jahr nach dem Tod von Georg Kyrle erfolgt die Auflösung der Lehrkanzel und des „Speläologischen Instituts“
- 1939: Neuorganisation der Höhlenkunde in der SS-Forschungsgemeinschaft „Das Ahnenerbe“ in München unter Hans Brand und der Beihilfe österreichischer Speläologen
- 1942: Aufbau eines „SS-Karstwehr-Bataillons“ in Pottenstein (D) und ab 1944 Gräueltaten an der slowenischen Zivilbevölkerung
- 1949: Gründung des Verbands Österr. Höhlenforscher auf der Schönbergalm bei Obertraun
- 1956: In der „Gouffre Berger“ (F) gelingt ein Abstieg auf -1122 m

1961: Abhaltung des Dritten Internationalen Kongresses für Speläologie in Wien – Obertraun – Salzburg

1965: Gründung der „International Union of Speleology“ u.a. durch Initiative von Hubert Trimmel

1968: Kommerzielle Verbreitung der Einseiltechnik durch die französischen Firma „Petzl“

1975: Ein Höhlenunfall im Ahnenschacht wird zur Initialzündung für die Schaffung der Österreichischen Höhlenrettung

Historische Werke zur Höhlenkunde

Schallenberg, C. (1592): Khuertze Relation wie der Perg Oetscher von der obersten Höhe, biß hinab zu den hollen cavernis uersus meridiem, auch wie er inwendig geschaffen. – Unveröff. Manuskript. Niederösterr. Landesarchiv Hs. 78. Enenkels Kollektaneen, Tomus II.

Gaffarel, J. (1654): Le Monde souterrain. – Paris (Charles du Mesnil).

Kircher, A. (1664): Mundus subterraneus, quo universae denique naturae divitiae. – Amsterdam (Jansson & Weyerstraten).

Valvasor, J.W. (1689): Die Ehre dess Hertzogthums Crain. 4 Bd. – Nürnberg, Laybach (Endter).

Nagel, J.A. (1747): Beschreibung des auf allerhöchsten Befehl IHro Maytt. des Römischen Kaisers und Königs Francisci I. untersuchten Oetscherberges und verschiedener anderer, im Herzogthume Steyermark befindlich, - bishero vor selten und verwunderlich gehaltenen Dingen. – Unveröff. Manuskript. Österr. Nationalbib. Handschrift-Cod. 7920.

Nagel, J.A. (1748): Beschreibung deren auf allerhöchsten Befehl IHro Röm. kaiserlichen königlichen Maytt. Francisci I untersuchten, in dem Herzogthume Crain befindlichen Seltenheiten der Natur. – Unveröff. Manuskript. Österr. Nationalbib. Handschrift-Cod. 7854.

Rosenmüller, J.C. & Tilesius, W.G. (1799, 1805): Beschreibung merkwürdiger Höhlen. 2 Bde. – Leipzig (Breitkopf & Härtel).

Schmidl, A. (1854): Zur Höhlenkunde des Karstes. Die Grotten und Höhlen von Edelsberg, Lueg, Planina und Laas. – Wien (Braumüller).

Dawkins, W.B. (1874): Cave hunting. Researches on the evidence of caves respecting the early inhabitants of Europe. – London: (Macmillan & Co).

Kraus, F. (1894): Höhlenkunde. Wege und Zweck der Erforschung unterirdischer Räume. –Wien (C. Gerold's Sohn).

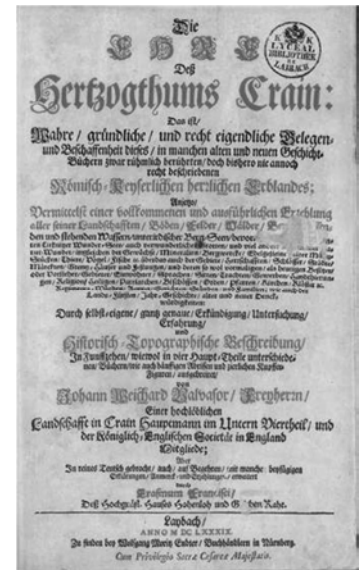
Martel, E.A. (1894): Les Abîmes. Les eaux souterraines, les cavernes, les sources, la spéléologie. – Paris (Delagrave).

Knebel, W. (1906): Höhlenkunde mit Berücksichtigung der Karstphänomene Braunschweig (Vieweg-Verlag).

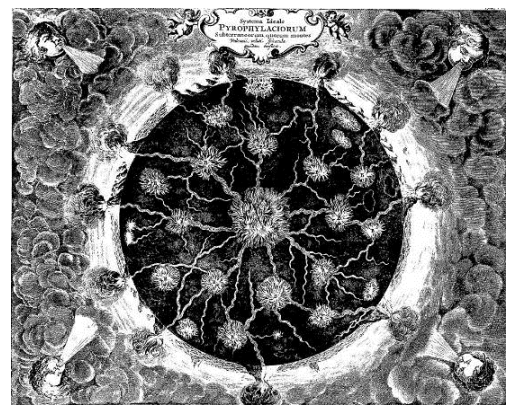
Willner, R. (1917): Kleine Höhlenkunde. – Wien (Verlag des k. k. Ackerbauministeriums).

Kyle, G. (1923): Grundriss der theoretischen Speläologie. Mit besonderer Berücksichtigung der ostalpinen Karsthöhlen. – Wien (Österr. Staatsdruckerei).

Trimmel, H. (1968): Höhlenkunde. – Braunschweig (Vieweg-Verlag).



Titelseite von J.W. Valvasors „Ehre des Herzogthums Krain“, 1689.



Das System unterirdischer Feuer in A. Kirchers „Mundus Subterraneus“, 1664.

Arbeitsgebiete der Historischen Speläologie

Die Historische Speläologie beschäftigt sich mit der **geschichtlichen Entwicklung der Höhlenkunde** unter politischen, sozialen und kulturellen Gesichtspunkten, mit Veränderungen in der menschlichen Wahrnehmung und Deutung natürlicher Hohlräume und der Praxis ihrer Erforscher und Besucher. Dazu zählen nicht nur die materielle Aneignung des Höhlenraums als Rohstoffquelle und Depot, dessen Gangbarmachung und Nutzung als Wohn- und Kultraum, sondern auch Formen der immateriellen Aneignung wie das Vermessen, Dokumentieren und Benennen unterirdischer Objekte. Der topografische Raum der Höhle wird dabei vor allem in seiner sozialen und kulturellen Dimension verstanden.

Gemäß der **Brückenfunktion** der Höhlenkunde am Schnittpunkt unterschiedlicher natur- und kulturwissenschaftlicher Disziplinen steht die Historische Speläologie in einem inhaltlichen Naheverhältnis zur Geschichte verwandter Fächer. Sie versucht jedoch der Vielfalt sozialer Gruppen, welche sich mit dem Unterirdischen und im Besonderen mit Höhlen auseinandersetzten, diese nutzten und erforschten, gerecht zu werden. Dazu zählen nicht nur akademische Gelehrte, sondern ebenso Laienforscher, Reisende und die einheimische Bevölkerung.

Die in der Gegenwart verbreiteten höhlenkundlichen Ansichten erweisen sich nicht als Ergebnis einer geradlinigen Abfolge stetigen Wissenserwerbs, vielmehr dominieren unterschiedliche Geschwindigkeiten, Ideen, Praktiken, Gruppierungen und Institutionen. Deshalb gilt es auch, die Vielfalt dessen zu historisieren, was als **Wissen**, Unwissen und pseudowissenschaftliches Wissen aufgefasst bzw. von jemandem als dieses eingestuft wurde (bzw. wird). Dabei ist zu beachten, dass wissenschaftliches Wissen auch durch **kulturelle** und **soziale Normen** (z. B. Rollenbild der Frau) geprägt ist und beständig neu ausverhandelt wird. Die möglichst unvoreingenommene Auseinandersetzung mit der Geschichte des eigenen Fachs macht die Historische Speläologie zudem zu einem **kritisch-selbstreflexiven Forschungsgegenstand**.

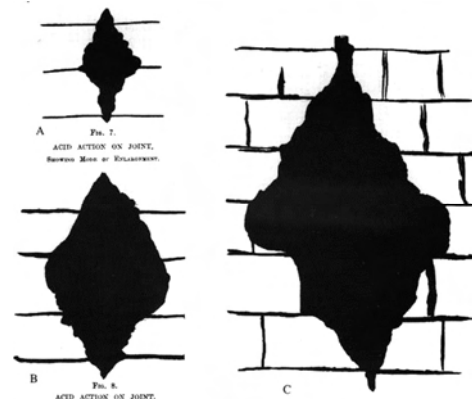
Wie in der Wissenschaftsgeschichte üblich, stammen die Forscher selbst aus dem Feld, welches sie historisch bearbeiten. Im Unterschied zu einflussreicheren Wissenschaftsdisziplinen, wo es während der 1980er Jahre zu einer zunehmenden Emanzipation von dem untersuchten Fachgegenstand kam, blieb im Feld der Historischen Speläologie eine solche Professionalisierung bislang weitgehend aus. Häufig auf ihre **Gedächtnisfunktion für die Höhlenkunde** reduziert, wird Historische Speläologie zu meist im Umfeld spezifischer Anlässe wie Vereins-Jubiläen betrieben, was eine eigenständige und kritische Sichtweise auf das Forschungsfeld jedoch ausschließt.

International werden die Arbeiten auf dem Gebiet der Historischen Speläologie durch die „History of Speleology Commission“ der UIS (Internationalen Union für Speläologie) koordiniert, die alle vier Jahre einschlägige Symposien veranstaltet und in der Vergangenheit nach ihrem französischen Initiator Bernard Gèze (1981-1989) vor allem durch den Vorsitz österreichischer Speläologen wie Heinz Ilming (1989-1997), Karl Mais (1997-2012) und Hubert Trimmel (2012-2013) geprägt wurde.

Forschungsfelder

➤ Wissenschafts- und Technologiegeschichte

Dieser Forschungsbereich beabsichtigt eine historische Aufarbeitung der wissenschaftlich-interdisziplinären Auseinandersetzung mit dem Karstphänomen, Höhlen und deren Inhalten. Dazu zählen etwa die Beschäftigung mit historischen Höhlenentstehungstheorien, Speläothemen, paläontologischen, archäologischen, botanischen und zoologischen Funden in Höhlen und deren Auswertung seitens der Wissenschaft. Neben der historischen Entwicklung von Theorien und Erkenntnissen zu Höhlen beschäftigt sich die Wissenschaftsgeschichte mit der Praxis der Forscher (den Methoden der Wissensgenerierung und Höhlendokumentation), den dabei verwendeten Befahrungsgeräten und wissenschaftlichen Instrumenten.



Eine der ersten Profildarstellungen von Höhlen, bei J. Barnes und W.F. Holroyd (1896).

Ferner wird die Geschichte von speläologischen Publikationsorganen, Sammlungen und bedeutenden Forschungsexpeditionen untersucht. Moderne Ansätze lehnen die in der Wissenschaftsgeschichte lange dominierte Errungenschafts- und Ereignisgeschichte (Ausschluss des historischen Kontexts) ab und versuchen stattdessen, langfristige geschichtliche Entwicklungen und Veränderungen aufzuzeigen.

➤ **Kultur- und Kunstgeschichte**

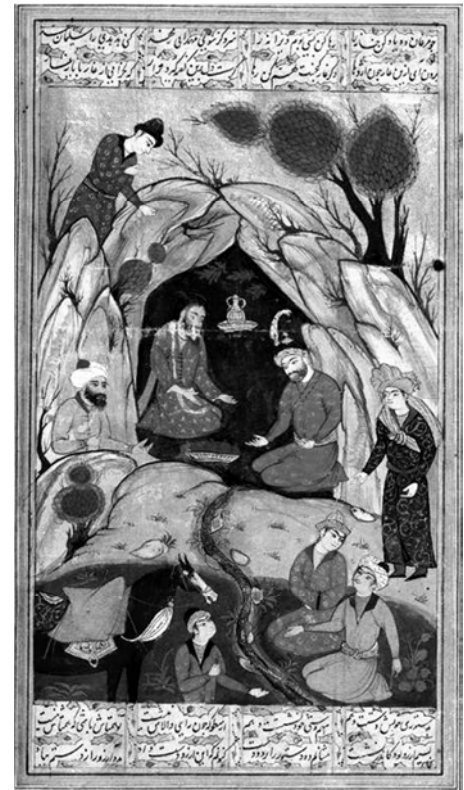
Die Kulturgeschichte untersucht die Vielfalt der mit dem Unterirdischen verbundenen kulturellen Zuschreibungen als semantisches Feld. Diese bewirkten und aktivierten über Jahrhunderte die wissenschaftliche Erforschung von Höhlen, wurden in medialer Form durch Narrative (Höhlensagen u. -mythen) und bildliche Darstellungen auch künstlerisch verarbeitet. Dabei wird der Akt der Entdeckung als Form der kulturellen Sinn- und Bedeutungszuschreibung und Höhlen als Projektionsfläche für menschliche Sehnsüchte, Träume, Besitz- und Deutungsansprüche verstanden. Dazu zählt etwa die Wahrnehmung von Höhlen als Ort des Weiblichen oder Tor ins Jenseits. Veränderungen in der Bedeutungszuschreibung eines Höhlenraums ermöglichen somit auch Rückschlüsse auf einen kulturellen Wandel in der Gesellschaft.

➤ **Sozial- und Geschlechtergeschichte**

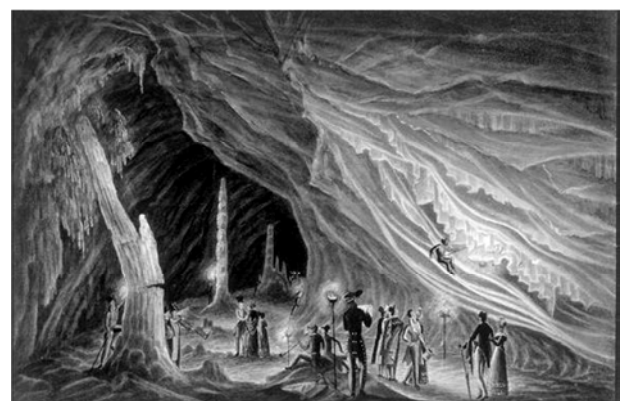
Die Sozialgeschichte fragt nach der gesellschaftlichen Zusammensetzung und politischen Ausrichtung höhlenkundlich interessierter Gruppen und Einzelpersonen, untersucht Veränderungen in der sozialen Organisation von Forschungsunternehmen und Vereinen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die den speläologischen Gemeinschaftsformen innewohnenden sozialen Prozesse, Hierarchien und Formen der Disziplinierung gelegt und die Mechanismen der sozialen Inklusion und Exklusion (Aufnahme/Ausschluss) untersucht. Während dabei historisch zwischen formellen Gemeinschaftsformen wie Vereinen und informellen Zusammenschlüssen wie Forschergruppen unterschieden werden muss, ist auch die Aufnahme in diese bis in die 1920er Jahre als Männerbünde organisierten Gruppen von explizit gemachten und lediglich implizit vorhandenen Regeln abhängig. Weitere Forschungsfragen thematisieren die Geschlechterverhältnisse bzw. -bilder in den Forscherzirkeln (insbes. in Bezug zur weiblichen Bedeutung der Natur), die Einbindung von Frauen und die Arbeitsteilung in den höhlenkundlichen Gemeinschaftsformen.

➤ **Vereins- und Institutionengeschichte**

Eine der traditionellsten Forschungsinteressen der Historischen Speläologie ist die Institutionalisierung der Höhlenkunde in Form privater Vereine, wissenschaftlicher Gesellschaften und staatlicher Forschungsinstitute bzw. deren Entwicklung im Laufe der Geschichte.



Die Faszination von Höhlen prägte alle Kulturen und Weltreligionen, persische Miniaturmalerei, um 1500.



Die Historische Speläologie widmet sich auch der Erschließungsgeschichte einzelner Höhlen. Postojnska jama, Stich von A. Schaffenrath (um 1820).

Moderne Forschungsansätze thematisieren die Mechanismen der Kooperation zwischen mehreren Institutionen und die Rolle privater und halböffentlicher Interessensgemeinschaften für die Popularisierung wissenschaftlichen Wissens.

➤ **Erforschungsgeschichte einzelner Höhlen(gebiete)**

Zumeist als Teil umfangreicher Höhlenbeschreibungen anzutreffen, setzt sich die Erforschungsgeschichte mit der menschlichen Nutzung und Erkundung einzelner Höhlen(gebiete) in Form eines historischen Längsschnitts auseinander. Vornehmlich handelt es sich dabei um historisch bedeutsame Höhlenobjekte oder Schauhöhlen, welche durch ihre Erschließung auf vermehrtes öffentliches Interesse stoßen. Geschichtswissenschaftlich als lokal- bzw. mikrohistorische Arbeiten (Detailstudien) verortbar, versuchen Erforschungsgeschichten, durch genaue Analysen exemplarische Rückschlüsse auf Entwicklungen in größeren Zusammenhängen zu gewinnen. Mikrohistorische Studien stehen dabei nicht im Gegensatz zu makrohistorischen Arbeiten (Überblicksdarstellungen) zur Höhlenkunde, beinhalten beide Beobachtungsmaßstäbe doch eigene Zugangsweisen und Methoden. Bei Schauhöhlen wird dabei häufig die Tourismus- bzw. lokale Wirtschaftsgeschichte thematisiert.

➤ **Personengeschichte**

Personengeschichtliche Zugänge bilden im Feld der Historischen Speläologie die Mehrzahl. Häufig als Biografien oder Autobiografien anzutreffen, erzählen sie das Schicksal bedeutsamer Speläologen, deren positives Wirken für das Gemeinwesen und ihre Leistungen für die Wissenschaft. Teilweise werden sogar Handlungsanweisungen für die Zukunft abgeleitet und die Vorbildfunktion der historischen „Helden“ betont. Moderne Forschungsansätze kritisieren die aus ihrer Sicht unreflektierte Darstellung „großer“ Forscher bzw. ihrer „richtigen“ Erkenntnisse und fordern, die Forscherbiografien und deren Wissen in ihrer Zeit zu betrachten und historisch zu kontextualisieren. Besonderer Fokus wird dabei auf den Bedeutungswandel und die unterschiedliche Interpretation der Forscherbiografien im Laufe der Geschichte gelegt. Aktuelle Arbeiten widmen sich häufig gezielt vergessenen Forschern und Forscherinnen (!), politisch ambivalenten Biografien von Speläologen und Randfiguren der höhlenkundlichen Community. Hingegen stellen Nachrufe kein wissenschaftliches, sondern ein literarisches Genre dar.



Die Darstellung einflussreicher Speläologen nimmt in der Forschung einen großen Raum ein, hier: Georg Kyrle (1887-1937).

➤ **Begriffsgeschichte und Namenkunde**

Speläologische Fachbegriffe sind wie alle Wörter einem historischen Bedeutungswandel unterworfen. Die Rekonstruktion ihrer Geschichte erlaubt Rückschlüsse auf politische, soziale oder kulturelle Veränderungen in der menschlichen Wahrnehmung von Höhlen und der speläologischen Praxis. Neben Publikationen zu Begriffen wie „Höhle“, „Grotte“, „Höhlenkunde“ oder „Speläologie“ liegen auch Arbeiten zur Entwicklung von speläologischen Fachbegriffen wie „Tropfstein“, zur Benennung spezifischer Ausrüstungsgegenstände oder dem historischen Soziolekt der Höhlenforscher vor. Namenkundliche Arbeiten zu seit alters her bekannten Höhlen bilden eine wertvolle Ergänzung. Von besonderem Interesse sind dabei durch politische Veränderungen wechselnde Höhlennamen – etwa im Dinarischen Karst. So besaß die in Istrien (Kroatien) liegende „Zakajna jama“ im Laufe ihrer Erforschungsgeschichte mit „Grotta della Marna“, „Schlund von Raspo“ und „Abisso Bertarelli“ noch drei andere Höhlennamen.

Geschichte der Historischen Speläologie

Mit der Gründung höhlenkundlicher Vereine und Interessensverbände entstand ab den 1880er Jahren das steigende Bedürfnis, sich mit der Geschichte und Identität des wissenschaftlichen Felds auseinanderzusetzen. Die Initialzündung bildete ein 1879 erschienener Artikel von Franz Kraus mit dem Titel „Zur Geschichte der Höhlenkunde“. Als Legitimationsmittel sollten zeitgenössische Forschungsinteressen durch historische Darstellungen begründet, die günstige Entwicklung des Fachbereichs vorweggenommen und durch Schaffung einer kohärenten Vorgeschichte die Anerkennung der Speläologie als eigenständige wissenschaftliche Disziplin gefördert werden. Im Rahmen einer zweiten Phase höhlenkundlicher Vereinsgründungen um 1910 und der Akademisierung der Speläologie an der Universität Wien im Jahre 1929 sind verstärkte Bemühungen um eine Historisierung des Forschungsfelds zu beobachten. Das 1979 in Wien gefeierte 100-jährige Vereinsjubiläum bildete den Anlass für die bislang intensivste Beschäftigung mit der Geschichte der Speläologie. Ein internationales Symposium zur Geschichte der Höhlenforschung wurde veranstaltet und ein durch Rudolf Pirker (1979) redigierter Band zur Entwicklung der Speläologie in Österreich herausgegeben. Zwei Jahre später wurde auf Anregung von Bernard Gèze in der UIS eine „History of Speleology Commission“ ins Leben gerufen, die ab 1989 von Heinz Ilming und Karl Mais als Vorsitzende geleitet wurde. Innerhalb der Länder des Alpen-Adria-Raums erfolgte der Wissensaustausch vor allem durch die Gesellschaft „ALCADI“ (Alps, Carpathians and Dinarides), die zwischen 1992 und 2008 auf Initiative von Karl Mais in zweijährigen Abständen historische Tagungen veranstaltete und vor allem mikrohistorische Publikationen zur Geschichte der Höhlenforschung schuf. Auf internationaler Ebene sind insbesondere die Publikationen von Trevor Shaw (1992) zu erwähnen, welcher mit seiner 1975 erschienenen Dissertation zur Geschichte der Höhlenkunde ein bis heute breit rezipiertes Standardwerk vorlegte. Seit 2009 ist in Österreich mit dem Neudruck von Franz Kraus' „Höhlenkunde“ wieder eine vermehrte Beschäftigung mit der Geschichte zu bemerken.



Typen von historischen Quellen

➤ Landesbeschreibungen, „Höhlenbücher“ und touristische Literatur

Das bis ins 19. Jh. produktive Genre der Landesbeschreibungen (Topografien) stellt durch die Einbeziehung von Text, Karte und Bild eine wichtige Quellengattung dar. Die häufig sehr detaillierten Höhlendarstellungen geben nicht nur das zeitgenössische historisch-geografische Wissen zu Höhlen wieder, sondern erlauben auch Einblicke in die mit dem Unterirdischen verbundenen sozialen Praktiken und Hilfsmittel für die Höhlenbefahrung. Die um 1800 vornehmlich im deutschen Sprachraum erschienenen „Höhlenbücher“ kombinierten Kupferstiche unterirdischer Sehenswürdigkeiten Europas mit subjektiven Reisebeschreibungen und hatten einen wesentlichen Anteil an der Herausbildung eines festen Kanons an unterirdischen Naturwundern in Europa.



Frühe wissenschaftliche Arbeiten (hier zu Mineralien) wurden häufig in Latein verfasst.

Reiseführer und die mit der Popularität des Bergsports ab Mitte des 19. Jhs. einhergehende touristische Literatur bilden insbesondere für Ostösterreich wichtige historische Quellen zu Höhlen.

➤ **Gelehrte/wissenschaftliche Publikationen**

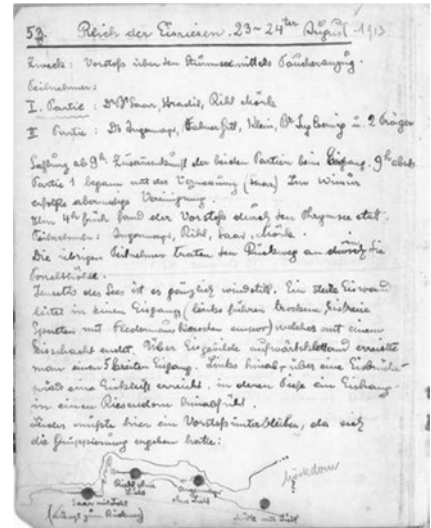
Gelehrte bzw. wissenschaftliche Publikationen zur Höhlenkunde manifestieren vorherrschende Diskurse und Machtverhältnisse innerhalb der wissenschaftlichen Community. Neben dem Inhalt ist dabei vor allem auf das Format der Quelle, Erscheinungsort und -verlag zu achten, welche einen großen Einfluss auf die zeitgenössische Wahrnehmung der Texte haben.

➤ **Reise- und Befahrungsberichte, (Expeditions)tagebücher, private Tourenbücher**

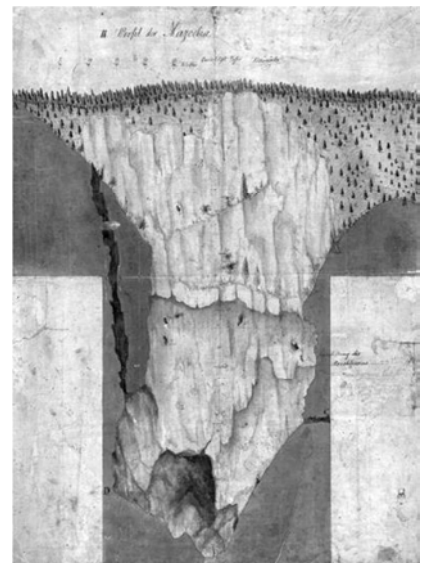
Da Höhlen vor allem bis ins 19. Jh. von urbanen Reisenden aufgesucht wurden, bilden Reiseberichte eine der wichtigsten historischen Quellen zur Höhlenkunde. Die daraus entwickelten Befahrungsberichte verhandeln inhaltlich die Eigen- und Fremdwahrnehmung des Forschers, des Höhlenraumes und der einheimischen Bevölkerung. Auch Befahrungsberichte wurden gleichsam wie Reiseberichte für die daheimgebliebenen Forscher verfasst, ihr Adressatenkreis war allerdings im Unterschied zum halböffentlichen Publikum der Vereinspublikationen deutlich eingeschränkter. Forschungs- und Befahrungsberichte können auch als Sicherungsmedium verstanden werden, wo Informationen abgelegt und für die Nachwelt gespeichert werden können. Befahrungsberichte folgen im Aufbau einem festen Schema und vermitteln als intentionale Quellen inhaltlich nur dasjenige, was ihre Verfasser als erzählenswert erachten. Befahrungsberichte stehen auch autobiografischen Quellengattungen nahe, wurden sie doch häufig in Form eigener Expeditionstagebücher gesammelt, die innerhalb der Vereine weitgehend öffentlich auflagen. Daneben bestehen auch private Tourenbücher von einzelnen Höhlenforschern, die zumeist in Tagebuchform verfasst die Höhlenfahrten erzählen und erst nach dem Tod des Verfassers für Außenstehende zugänglich sind.

➤ **Bildquellen: Höhlenpläne, Malereien, Fotografien**

Während Zeichnungen, Malereien, Radierungen und Stiche zu den ältesten Höhlendarstellungen zählen, entwickelte sich der Höhlenplan Ende des 17. Jhs. aus rein künstlerischen Darstellungen. Die Einführung von Maßstabsleiste und einheitlichen Plansignaturen machte die Abbildung von Staffagefiguren als Gewährsmittel, um die Illusion einer realistischen Darstellung von Größenverhältnissen aufrechtzuerhalten, nicht mehr notwendig. Während die um 1865 einsetzende Höhlenfotografie in einer ersten Phase noch weitgehend die Motive der Malerei übernahm, entwickelte sie bald eine künstlerische Eigenständigkeit, vermittelte angesichts der häufig abenteuerlichen Berichte aus der Unterwelt wissenschaftliche Authentizität. Aufgrund der besseren Abbildbarkeit von nahen, beliebig gruppierbaren Objekten rückten nun der einzelne Höhlenforscher und die Forschergruppe in den Mittelpunkt der Abbildungen.



Salzburger Expeditionstagebuch, Eintragung von 1913.



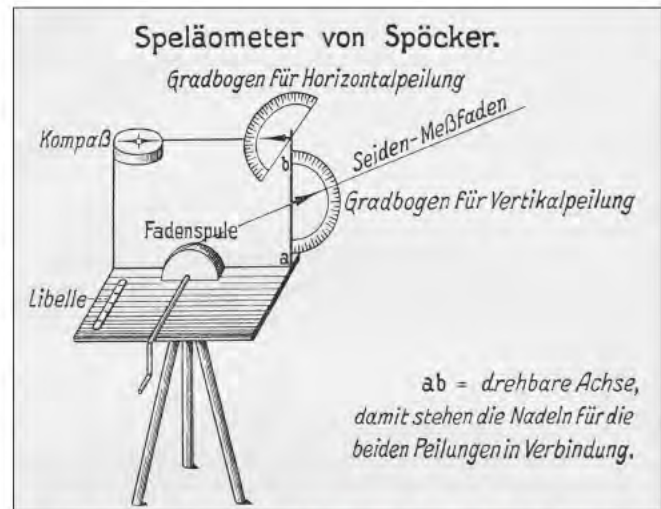
Längsschnitt der Mazocha in Mähren, C. Rudzinsky (1784).

➤ **Vereinsschriften und Korrespondenz**

Vereinsschriften waren beginnend mit dem ersten höhlenkundlichen Periodikum – dem 1879 verlegten *Literatur-Anzeiger* – nicht nur für den engen Kreis aktiver Vereinsmitglieder konzipiert, sondern richteten sich ebenso nach außen. Die Gestaltung der Periodika ist sehr unterschiedlich. Je nach finanziellem Spielraum der Vereine waren die in Heft- oder Zeitungsformat erschienenen Vereinsschriften zudem mit Zeichnungen, Fotografien und Plänen ausgestattet. Schriftliche Korrespondenz und Geschäftsakten u. a. zur Finanzgebarung eines Vereins sind vor 1918 kaum erhalten bzw. zugänglich.

➤ **Sachquellen**

Wichtige Quellentypen stellen auch Ausrüstungsgegenstände und Instrumente für die Höhlenbefahrung und -vermessung dar. Als historische Objekte vermitteln sie einen unmittelbaren Einblick in die höhlenkundliche Praxis und werden häufig auch in Museumsaustellungen zur Speläologie präsentiert.



Ein vom Nürnberger Höhlenforscher Richard Spöcker um 1920 entwickeltes Vermessungsinstrument.

Archive und Bibliotheken

- **Landesverein für Höhlenkunde in der Steiermark:** umfangreiche Quellenbestände, insbes. zum 1907 in Graz gegründeten Verein für Höhlenkunde in Österreich
- **Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg:** sehr gut dokumentierte Bestände zur Vereinsgeschichte und Erforschungsgeschichte Salzburger Höhlen
- **Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich:** ausschnittshafte Quellenbestände zur Vereinsgeschichte vor 1945, sehr gute Bestände zur Erforschungsgeschichte von Höhlen auch außerhalb Niederösterreichs, digitalisiertes Fotoplatten-Archiv
- **Naturhistorisches Museum Wien, Karst- und höhlenkundliche Arbeitsgruppe:** umfangreiche Bücherbestände (auch Standort der VÖH-Bibliothek) und teils ungesichtete Quellenbestände des ehemaligen Speläologischen Instituts und des Höhlenreferats am Bundesdenkmalamt, digitalisiertes Fotoplatten-Archiv von Gustave Abel (Aufnahmen von ca. 1920-1980).



Schreiben von H. Bock an G. Lahner anlässlich der Erschließung der Dachsteinhöhlen, 1915.

Historisch relevante Höhlen in Österreich

- **Drachenhöhle** bei Mixnitz (2839/1): altbekannte Knochenhöhle, erste datierbare Höhlenbefahrung 1387, zahlreiche frühneuzeitliche Höhlenbesuche durch Sammler und Fürsten
- **Geldloch** am Ötscher (1816/6): seit dem 16. Jahrhundert dokumentierte Befahrungen, frühe Plandarstellungen
- **Heidentempel** bei Köflach (2782/27), **Fünffenstergrötte** bei Peggau (2784/18): römische Kult- und Grabanlagen (prähistorische Funde bis in die Jungsteinzeit)
- **Höhlenwohnung im Mönchsberg** bei Salzburg (1352/3), **Einsiedelei-Halbhöhle** bei Saalfelden (1331/3): Einsiedler-Wohnungen, letztere ist noch heute bewohnt
- **Karthäuserhöhle** bei Gaming (1824/8) und **Bischofsloch im Preber** (2624/1): historische Inschriften
- **Höhlenburgen Puxer Lueg** (2745/1) und **Schallaun** bei Murau (2745/2): in Höhlenportalen errichtete mittelalterliche Wehranlagen
- **Türkenlöcher** bei Furth (1868/4) und **Kleinzell** (1866/17): Zufluchtsorte während der Türkenkriege, Funde
- **Lamprechtsofen** bei Lofer (1324/1), **Scheukofen** bei Sulzau (1335/4): aktenkundige Schatzgräberhöhlen

Weiterführende Literatur

Hochschorner, K.H. (1979): Zur Geschichte des höhlenkundlichen Vereinswesens. Die Entstehung, Entwicklung und Bedeutung der höhlenkundlichen Vereine in Österreich. – Unveröff. Hausarb. Univ. Wien.

Mais, K., Mrkos, H. & Seemann, R. (1984): Akten des Internationalen Symposiums zur Geschichte der Höhlenforschung Wien 1979. – Wien (Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich).

Mattes, J. (2012): Die Vermessung des Erdinneren. Eine Geschichte der Höhlenforschung in Österreich vom 19. Jahrhundert bis zum Beginn der Ersten Republik. – Mitteilungen der Österr. Ges. für Wissenschaftsgeschichte, 29: 107-132.

Mattes, J. (2012): Höhlendunkel und Wissbegierde – Eine Kulturgeschichte der Höhlenforschung in Europa von der Antike bis zur Romantik. – Die Höhle, 63: 63-81.

Mattes, J. (2015): Reisen ins Unterirdische. Eine Kulturgeschichte der Höhlenforschung in Österreich bis in Zwischenkriegszeit. – Wien, Köln, Weimar (Böhlau).

Pirker, R. & Saar, R. (1979): Geschichte der Höhlenforschung in Österreich. – Wien (Verband Österr. Höhlenforscher).

Shaw, T.R. (1992): History of Cave Science. The exploration and study of limestone caves, to 1900. – Sydney (Australian Speleological Society).

Trimmel, H. (1947): Zur Geschichte und Entwicklung der Höhlenforschung im Ostalpenraum. – Natur und Land, 33/34(5-6): 137-141.

Trimmel, H. (2011): Höhlenkunde und Höhlenforschung in Wien und Niederösterreich in der Zwischenkriegszeit und in der Ära des Dritten Reiches. – Wien (Verband Österr. Höhlenforscher).

Erdställe

Was sind Erdställe?

Erdställe sind geheimnisvolle Besonderheiten, von denen man außer ihrem Vorhandensein und ihrem heutigen Aussehen nur sehr wenig weiß. Hundertprozentig erwiesen ist eigentlich nur, dass die fast durchwegs kleinräumigen Objekte künstlich hergestellt wurden. Sie befinden sich oft unter Häusern oder sind von Kellern aus zugänglich. Vereinzelt gibt es sie aber auch im freien Gelände.

Mit einem Stall für irgendwelches Vieh haben sie überhaupt nichts zu tun; der Wortteil „stall“ bedeutet soviel wie Ort, Platz, Stelle, wie er z.B. auch im Wort „Burgstall“ mit gleicher Bedeutung vorhanden ist. Erdställe werden in manchen Gegenden auch als „Hauslöcher“ oder „Erdhöhlen“ bezeichnet, in Bayern nennt man sie „Schrazellöcher“, im Waldviertel heißen sie „Graselgänge“.

Verbreitung

Man findet Erdställe von Frankreich bis Osteuropa, vorwiegend in hügeligen Gebieten; gehäuft in Bayern, Mähren und Österreich. Nach Osten setzt sich die Verbreitung ähnlicher unterirdischer Baue (die aber nicht unbedingt „echte“ Erdställe sein müssen) angeblich bis China fort. In Österreich gibt es sie vereinzelt im Alpenvorland von Salzburg bis Niederösterreich, aber auch am Alpenostrand (Burgenland, Bucklige Welt, Südoststeiermark). Äußerst zahlreich sind sie in Oberösterreich (hier auch im Alpenvorland), im Waldviertel und besonders im Weinviertel. Sie wurden sowohl im Löss und Lehm angelegt, wie auch „Flins“ und im harten Fels.

Merkmale

Gänge und Kammern sind meist rundbogig, seltener spitzbogig oder anders profiliert. Im Lehm und Löss sind Wände und Decken fast immer sorgfältig geglättet; es kommt auch vor, dass Spuren der verwendeten Werkzeuge erkennbar sind. Häufig stammen solche von nachträglichen Bearbeitungen. Im Gestein sind die Wände manchmal roh wie in einem Bergwerksstollen; viel häufiger erkennt man aber glättende Meißelspuren, wobei diese manchmal kantig und frisch, manchmal abgerundet und ausgeschliffen aussehen. In seltenen Fällen trifft man sogar Oberflächen an, die wie poliert wirken. Sowohl in den Kammern als auch in den Gängen gibt es Nischen verschiedenster Größen, Formen und Ausführungen in unterschiedlichen Höhen und Abständen.

Erdställe führen bzw. führten manchmal vom Keller, vom Stall oder von einem Raum des Hauses weg. Im letzteren Fall konnte man sie meist nach dem Wegheben einiger Bodenbretter betreten. Ob dies allerdings die ursprünglichen Eingänge waren, lässt sich heute kaum mehr feststellen. Wenn – wie dies besonders oft im Weinviertel vorkommt – ein Erdstall jetzt von einem Weinkeller aus betreten wird, sagt das noch lange nicht, dass er auch von hier aus gegraben wurde. Meist wurden die Keller viel später hergestellt, und die Erdställe wurden beim Kellerbau angeschnitten. Oft wurden auch vorhandene Erdställe auf Kellerausmaße vergrößert und umgebaut.

Alter

Auch das Alter der Erdställe gibt viele Rätsel auf. Als in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Erdstallforschung begann, waren einige „Experten“ der Meinung, dass sie maximal 150 bis 200 Jahre alt seien. Andere wieder glaubten, dass sie aus prähistorischer Zeit stammen würden. Mit besonderer Phantasie Begabte schrieben sie sogar einer uralten Zwergenrasse oder Außerirdischen zu, die in lichtlosen Räumen Zuflucht suchten und lebten.

Die spärlichen Fundstücke, die aus Erdställen bisher geborgen wurden, geben meist nur Aufschluss über spätere Benützungen. Die Erdstallforscher meinen heute, dass in Österreich die Herstellung vieler Erdställe in der Phase der Kolonialisierung um 1000 n. Chr. stattgefunden haben könnte. Für zwei Erdställen (einer in Bayern und einer in Oberösterreich) konnten Archäologen eine Erbauung um diese Zeit nachweisen. Besonders in Bayern und Frankreich stellte man in vielen Erdställen systematische Auffüllungen fest, die ab dem 13. Jahrhundert durchgeführt wurden. Zwangsläufig müssen die Erdställe also schon vorher vorhanden gewesen sein.

Bedeutung der Erdställe – wozu wurden sie errichtet?

Wegen Temperatur, Feuchtigkeit und Beengtheit eignen sich Erdställe weder als Lagerräume, noch als Orte für längere Aufenthalte. Auch für die Verwendung als Begräbnisstätten fand man keine Hinweise. Ein Großteil der heutigen Erdstallforscher ist der Meinung, dass es sich um Verstecke für kurzfristige Dauer gehandelt hat, auch wenn manche ihrer Eigenheiten für eine solche Verwendung keineswegs logisch erscheinen. Erwiesen ist, dass die bereits vorhandenen Erdställe im Laufe der Zeit immer wieder als Verstecke benützt wurden.

Das sagt jedoch nichts über den Zweck ihrer Erbauung aus. Wenn man den riesigen Aufwand verschiedenster Kulturen betrachtet, den diese zu Ehren ihrer Gottheiten aufgebracht haben, dann erscheint die Theorie, dass es sich um Kultstätten handelte, nicht mehr so abwegig. Auf diese Weise ließen sich sogar manche absonderliche Bauformen einigermaßen erklären. Um irgendwelche Versammlungsorte kann es sich auf Grund der Beengtheit nicht gehandelt haben, aber zum Beispiel als Wohnungen für Hausgeister oder für die Schattenkörper der Ahnen, die man gnädig stimmen wollte, könnten sie gegraben worden sein. Sie könnten auch als Aufenthaltsort für die über kürzere oder längere Zeiträume erdgebunden bleibenden Seelen der Familienmitglieder gedacht gewesen sein. Manche Erdstallforscher schreiben ihre Herstellung reinigenden Durchschlupfbräuchen zu, andere wieder erklären sie als Initiations- und Meditationsorte.

Erforschung

Im Jahre 1903 hat der Göttweiger Pater Lambert Karner, der auch Pfarrer in einigen Weinviertler Gemeinden war und als einer der ersten und bedeutendsten Erdstallforscher gilt, sein Lebenswerk herausgebracht. Es trägt den Titel „Künstliche Höhlen aus alter Zeit“ und beschreibt Erdställe aus den verschiedensten Ländern Europas. Vorwiegend hat sich Karner natürlich mit Erdställen in Österreich befasst. Der Schwerpunkt davon liegt im Weinviertel. Etwas später als Pater Lambert Karner dokumentierte der vielseitige Heimatforscher Ing. Franz X. unter anderem auch Erdställe, besonders im Raum um Horn und Drosendorf.

Mit der Erforschung der Erdställe befassten und befassen sich meist interessierte Laien. Wissenschaftler befassen sich vereinzelt, meist aber nur „nebenbei“, mit dem interessanten und geheimnisvollen Phänomen Erdstall. Neue Erdställe zu entdecken wird immer seltener, da ein Großteil bereits erfasst und vermessen ist. Deshalb an dieser Stelle eine Bitte: Sollten in Niederösterreich Erdställe bekannt werden, die noch nicht vermessen sind, oder womöglich welche neu entdeckt werden, meldet dies bitte an: Edith Bednarik, Rebengasse 49, 2700 Wiener Neustadt, Tel. 02622/21763.

Gefährdung

Gerade in den letzten fünfzig Jahren sind viele Erdställe dem Straßen- und Hausneubau, dem Einbau von Wasserleitung, Kanal, sanitären Anlagen oder elektrischen Leitungen zum Opfer gefallen, andere wieder sind durch das Drüberfahren mit schweren modernen Fahrzeugen eingestürzt. Noch vorhandene Erdställe sind seltener, gut erhaltene Exemplare dieser uralten, ehrwürdigen und geheimnisvollen geschichtlichen Denkmäler, eine Rarität geworden.

Gott sei Dank beginnt man in letzter Zeit Altehrwürdiges wieder zu schätzen und es wird wieder wertvoll. Deshalb auch an dieser Stelle ein Aufruf, diese wertvollen kulturhistorischen Zeugen längst vergangener Tage in Ehren zu halten, zu schützen und mitzuhelfen, die Zerstörung von Erdställen zu verhindern.

Montanspeläologie

Während sich die meisten Höhlenforscher üblicherweise mit natürlich entstandenen Objekten auseinandersetzen, gibt es auch solche, die sich der von Menschenhand geschaffenen unterirdischen Hohlräume annehmen. Neben der Erdstallforschung (siehe dort) stellt die Montanspeläologie dabei einen eigenen Forschungszweig dar, der sich in manchen Dingen grundlegend von der herkömmlichen Höhlenforschung unterscheidet. Im Folgenden soll ausschließlich auf die **Unterschiede** eingegangen werden, da sich alles andere ohnehin in den entsprechenden Blättern zur allgemeinen Speläologie findet.

Was ist Montanspeläologie?

Montanspeläologie beschäftigt sich mit der Erforschung stillgelegter Bergwerke und Bergwerksteile in historischer, montanistischer, geologischer und mineralogischer Hinsicht.

Unterschiede zur allgemeinen Speläologie:

Rechtliche Grundsätze:

Im Gegensatz zu Naturhöhlen unterstehen alte Grubenbaue meist den **Bergbaubehörden**, es gelten hier in der Regel die entsprechenden Gesetze. Auch können noch **Schürfrechte** in Kraft sein, weshalb natürlich Absperrungen und entsprechende Betretungsverbote unbedingt zu akzeptieren sind. Im Zweifelsfall geben die Behörden über Besitzverhältnisse Auskunft.

Gefahren:

Die Anzahl der Gefahrenquellen sind in künstlich geschaffenen Hohlräumen ungleich höher als in natürlichen:

- **Einsturzgefahr:** besonders dort gegeben, wo alte Holz-Einbauten vorhanden sind. Solche Stellen im Zweifelsfall unbedingt meiden! Ungepölte Grubenabschnitte sind in den meisten Fällen sicher.
- **Absturzgefahr:** besteht nicht nur beim Betreten alter Steigbäume, Leitern und Arbeitsbühnen (meist morsch!). Oft sind Schächte im Boden mit Holz abgedeckt, auf dem zusätzlich noch Gesteinsschutt liegt. Das kann zur tödlichen Falle werden.
- **Luftmangel, Gase:** kommt zwar extrem selten vor, dennoch sollte man bedenken, dass Bergbaue meist erheblich schlechter durchlüftet sind als Höhlen!



Schutzkriterien:



Alte Grubenbauten gelten in der Regel als „**technische Denkmäler**“ und unterliegen entsprechenden Schutzkriterien. Besonderen Schutz verdienen Einbauten wie Steigbäume, Arbeitsbühnen, „Wasserkünste“ (etwa hölzerne Wasserräder mit Gestängen u. ä.). Hölzerne Einbauten sollten wegen der latenten Einsturzgefahr ohnehin gemieden werden. Schützenswert sind aber auch sehr alte – etwa handgeschrämte oder durch Feuerersetzen entstandene Stollenabschnitte oder solche, in denen sich rezente Sinter gebildet haben. Aufgefundene Gerätschaften (Grubenhunte, Erztröge, Werkzeug, etc.) sollten nach Möglichkeit von Experten begutachtet werden.

Beprobung:

Im Gegensatz zu Naturhöhlen kann die Entnahme von **Mineralproben** aus alten Bergbauen durchaus erwünscht sein. Dies deshalb, weil sich die Möglichkeiten zur Mineralbestimmung im Laufe der Zeit wesentlich verbessert haben. Manches, was die „Alten“ nicht erkannten, kann heute für die Forschung sehr bedeutsam sein. Aber Vorsicht: die Bergleute haben schon gewusst, warum sie einen "Pfeiler" stehengelassen haben, obwohl er noch gutes Erz enthält! Die Probenentnahme sollte also immer sehr sorgsam erfolgen.

Dokumentation:

Die Planaufnahme in Bergbauen heißt "**Markscheiderei**" und verwendet teilweise andere Symbole, als wir sie von der Höhlenvermessung her kennen; etwa für Schacht (in der Bergmannssprache "Gesenk"):  oder für Eingang ("Mundloch"): 

Es wird aber niemanden stören, wenn wir bei der Dokumentation alter Bergwerke die uns bekannten Zeichen verwenden. Wichtig ist aber die zusätzliche Einzeichnung von anstehendem Erz (etwa so: ) und Klüften: 

Spezielle Fachbegriffe:

Aus der Tradition des Bergmannstandes hat sich eine - teilweise recht eigenartige - Nomenklatur für montanistische Gegebenheiten entwickelt. Ein "Alter Mann" ist beispielsweise nicht etwa ein speläologischer Methusalem, sondern der verlassene Abbauort in einer Grube. Länger aktive Abbauorte heißen "Zeche", große Räume "Weitung", Abstiege "Fahrten" u.s.w. - All diese Begriffe hier aufzuführen, würde den Rahmen sprengen. Wer sich dafür interessiert, sei auf einschlägige Lexika verwiesen.

Kontaktadressen:

Mineralbestimmung, Geologie: Naturhistorisches Museum Wien, Burgring 7, Postfach 417, A-1014 Wien, Tel. 01/ 52177264 - www.nhm-wien.ac.at/NHM/Mineral/

Lagerstättenkunde, Montanwesen: Geologische Bundesanstalt Tongasse 10-12 A-1031 Wien, Tel. 01/ 7125674 - www.geolba.ac.at



Alter Blei-Zink-Bergbau Schwarzenberg (Türnitz, NÖ)



Eisbildungen i. d. Silbergrube (Puchenstuben, NÖ)

Die Speleomerkblätter D3a-c (Mitglieder des Verbandes Österreichischer Höhlenforscher, Stand 2005) und D4a-e (Schauhöhlen in Österreich) wurden entfernt. Es wird stattdessen auf die laufend aktualisierten Webseiten

<https://hoehle.org/mitgliedsvereine>

<https://hoehle.org/schauhoehlen>

verwiesen. Die oben zitierten Original-Merkblätter sind unter

<https://hoehle.org/downloads/merkblaetter/alt/D3%20Mitglieder%20des%20Verbands%20Oesterreichischer%20Hoehlenforscher.pdf>

<https://hoehle.org/downloads/merkblaetter/alt/D4%20Schauhoehlen%20in%20Oesterreich.pdf>

abrufbar.



Höhlenkundliche Periodika und Schriftenreihen in Österreich

Überregionale Periodika

Die Höhle

Zeitschrift für Karst- und Höhlenkunde, Hrsg: Verband Österr. Höhlenforscher

Erscheint seit 1950 (von 1950 bis 2003 vierteljährlich, seit 2004 jährlich) in Wien, Format: bis 2003 A5, ab 2004 A4 und Farbdruck

Behandelt das gesamte Spektrum der Höhlenkunde mit besonderem Schwerpunkt auf wissenschaftlicher Speläologie und Forschungsberichte.

Verbandsnachrichten

Mitteilungsblatt des Verbandes österreichischer Höhlenforscher

Erscheint seit 1949 zweimonatlich in Wien, Format A4.

Verbandsinterna, Ankündigung von Veranstaltungen, Personalia.

Regionale Periodika

Atlantis

Hrsg: Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg

Erscheint seit 1978 vierteljährlich, zuletzt halbjährlich in Salzburg. Format A4.

Berichte und Beschreibungen von Höhlen im Salzburger Katasterbereich, Vereinsinterna.

Vorläuferpublikation: **Vereinsmitteilungen des Landesvereins für Höhlenkunde Salzburg.**

Erschien von 1959 bis 1978 zunächst drittel-, dann halbjährlich in Salzburg. Format A4.

Vereinsinterna, Erlebnis- und Befahrungsberichte von Höhlen im Arbeitsbereich des Vereins.

Glück Tief

Hrsg: Landesverein für Höhlenkunde in Kärnten.

Erscheint seit 1971 jährlich (früher drittel- und halbjährlich) in Kärnten. Format A4.

Vereinsinterna, Erlebnis- und Befahrungsberichte von Höhlen des Arbeitsbereichs und des südlich angrenzenden Auslands.

Hannibal-Nachrichten

Hrsg: Tauch- und Fahrtenclub „Hannibal“ und Höhlenforschungsverein „Die Fledermäuse“

Erscheint seit 1991 sechsmal jährlich. Format A5.

Berichte und Beschreibungen von Höhlen des Burgenlands und des Auslands, Vereinsinterna.

Höhlenforschung Kärnten

Hrsg: Fachgruppe für Karst- und Höhlenkunde im Naturwissenschaftlichen Verein für Kärnten.

Erscheint seit 1978 (?) jährlich bis zweijährig in Klagenfurt. Format A4.

Berichte und Beschreibungen von Höhlen in Kärnten, Auslandsfahrten, Interna.

Höhlenkundliche Mitteilungen

Hrsg: Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich.

Erscheint seit 1945 monatlich in Wien. Format A4.

Beschreibungen von Höhlen im Katasterbereich und anderen Forschungsgebieten (Dachstein, Totes Gebirge) wie auch des Auslands, Vereinsinterna, Grundsatz- und Fachartikel.

Höhlenkundliche Mitteilungen – Informationen

Hrsg: Landesverein für Höhlenkunde in Tirol.

Erscheint seit 1963 halbjährlich, später jährlich in Wörgl. Format A4.

Beschreibungen von Höhlen des Katasterbereichs, Vereinsinterna.

Höhlenkundliche Vereinsinformation

Hrsg: Zweigverein Hallstatt – Obertraun im Landesverein für Höhlenkunde in Oberösterreich.

Erscheint seit 1974 halbjährlich, später jährlich in Linz. Format A4.

Beschreibungen und Befahrungsberichte von Höhlen besonders des nördlichen Dachstein, Vereinsinterna.



Mitteilungen des Landesvereins für Höhlenkunde in der Steiermark

Erscheint seit 1972 vierteljährlich, später jährlich in Graz. Format A4

Beschreibungen von Objekten des Arbeitsbereichs des Landesvereins, Bibliografie, historische Speläologie.

Mitteilungen des Landesvereins für Höhlenkunde in Oberösterreich

Erscheint seit 1955 viertel-, später halb-, zuletzt jährlich in Linz. Format A4.

Befahrungsberichte und Beschreibungen von Höhlen und Erdställen bzw. künstlichen Objekten des Arbeitsgebiets und des Auslands, Vereinsinterna.

Mitteilungen des Vereines für Höhlenkunde in Langenwang

(Von 1976 bis 1978 unter dem Titel „Leuchtende Finsternis“)

Erscheint seit 1982 viertel-, dann halbjährlich, zuletzt jährlich in Langenwang. Format A4.

Erlebnis- und Befahrungsberichte aus dem Arbeitsgebiet des Vereines.

Mitteilungen des Vereines für Höhlenkunde in Obersteier

Erscheint seit 1982 halbjährlich in Bad Mitterndorf (Steiermark). Format A4.

Berichte und Beschreibungen von Höhlen des Arbeitsgebiets (Steirischer Teil des Toten Gebirges, nordöstliches Dachsteinmassiv).

Vorläuferpublikation: **Mitteilungen der Sektion Ausseerland.**

Erschien von 1962 bis 1981 vierteljährlich in Altaussee, später Bad Mitterndorf. Format A4.

Inhalt wie oben, Biospeläologie.

Neuigkeiten aus Karst und Höhle

Hrsg: Vorarlberger Landesmuseumsverein (Dornbirn).

Erscheint seit 1986 bis zu sechsmal jährlich

Berichte und Beschreibungen von Vorarlberger Höhlen, Vereinsinterna.

Schriftenreihen

Wissenschaftliche Beihefte zur Zeitschrift „Die Höhle“

Monografische Veröffentlichungen unterschiedlichen Umfangs mit Schwerpunkten auf Bibliografie und regionaler Speläologie, Symposionsakten.

Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarte Österreichs 1:50.000

Hrsg: Verband österreichischer Höhlenforscher.

Inventarisierung der Karsterscheinungen im Gebiet jeweils einer ÖK 1:50.000 bzw. einer Gebirgsgruppe.

Speldok

Hrsg: Verband Österreichischer Höhlenforscher.

Tagungs- und Symposionsakten, Exkursionsführer.

Salzburger Höhlenbuch

Hrsg: Landesverein für Höhlenkunde in Salzburg

Bisher sind 6 Bände erschienen (1975, 1977, 1979, 1985, 1992, 1996)

Monografie über die Höhlen des Salzburger Katastergebiets.

Die Höhlen Niederösterreichs

Hrsg: Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich.

Bisher sind 5 Bände erschienen (1979, 1982, 1985, 1990, 2000)

Monografie über die Höhlen des niederösterreichischen Katastergebiets.

Karst und Höhlen im Burgenland

Hrsg: Burgenländisches Landesmuseum Eisenstadt.

Bisher ist ein Band erschienen (1998); Band 2 erscheint 2006.

Monografie über die Höhlen des burgenländischen Katastergebiets.

Höhlenkundliche Schriften des Landesvereins für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich

Exkursionsführer, speläologische Reiseberichte, Tagungsbände.



Wichtige internationale höhlenkundliche Periodika

Europa

Belgien

REGARDS

Herausgeber: Union Belge de Spéléologie, Erscheint seit 1987 halb- bis vierteljährlich

Deutschland

MITTEILUNGEN DES VERBANDES DEUTSCHER HÖHLEN- UND KARSTFORSCHER

Erscheint seit 1955 vierteljährlich

KARST UND HÖHLE

Hg: Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher e.V., Erscheint seit 1977 jährlich

Frankreich

SPELUNCA

Hg: Federation Francaise de Spéléologie, Erscheint (in fünfter Serie) seit 1981 vierteljährlich

Großbritannien

CAVES & CAVING

Hg: British Cave Research Association, Erscheint seit 1978 vierteljährlich

CAVE & KARST SCIENCE

Hg: British Cave Research Association, Erscheint seit 1994 vierteljährlich

Vorläuferpublikation: CAVE SCIENCE (1982--1993), TRANSACTIONS (1974-1981)

DESCENT

Hg: Wild Places Publishing, Erscheint seit etwa 1969 zweimonatlich

INTERNATIONAL CAVER

Hg: Aven International Publications, Erscheint jährlich (vormals vierteljährlich)

Italien

SPELEOLOGIA

Hg: Società Speleologica Italiana, Erscheint seit 1979 halbjährlich

Niederlande

PIERK (vormals SPELEO NEDERLAND)

erscheint seit 1986 vierteljährlich

Polen

JASKINIE

Hg: Komisja Taternictwa Jaskiniowego Polskiego Związku Alpinizmu, seit 1992, zuletzt vierteljährlich

Schweden

GROTTAN

Hg: Sveriges Speleolog-Förbund, Erscheint seit 1966 vierteljährlich



Schweiz

HÖHLENPOST

Hg: Ostschweizerische Gesellschaft für Höhlenforschung, Erscheint ab etwa 1958, zuletzt dreimal jährlich

STALACTITE

Hg: Societé Suisse de Spéléologie, Erscheint seit 1951 halbjährlich

Slowenien

ACTA CARSOLOGICA

Hg: Academia scientiarum et artum Sklovenia / Institutum Carsologicum, Erscheint seit 1972

Spanien

SUBTERRANEA

Hg: Federacion Espanola de Espeleologia, Erscheint seit 1994 halbjährlich

Tschechische Republik

SPELEOFORUM

Hg: Czech Speleological Society, Erscheint seit 1982 jährlich

Andere Kontinente

Australien

ASF NEWSLETTER

Hg: Australian Speleological Federation, Erscheint seit 1957, zuletzt dreimal jährlich

Neuseeland

NEW ZEALAND SPELEOLOGICAL BULLETIN

Hg: New Zealand Speleological Society, Erscheint seit 1952 vierteljährlich

Südafrika

THE BULLETIN OF THE SOUTH AFRICAN SPELEOLOGICAL ASSOCIATION

Erscheint seit 1956 jährlich

USA

NSS NEWS

Hg: National Speleological Society, Erscheint seit 1943 monatlich

JOURNAL OF CAVE AND KARST STUDIES (vormals: NSS-BULLETIN)

Hg: National Speleological Society, Erscheint seit 1996 dreimal jährlich

GEO²

Hg: NSS Section of Cave Geology and Geography, erscheint seit etwa 1975 dreimal jährlich

Internationale Bibliographische Organe

SPELEOLOGICAL ABSTRACTS

Hg: UIS (Union Internationale de Spéléologie), Erscheint jährlich

Vorläuferpublikation: CURRENT TITLES IN SPELEOLOGY

Hg: British Cave Research Association

Wesentliche Standardwerke der Karst- und Höhlenkunde

Naturwissenschaftliche Standardwerke (in chronologischer Reihenfolge)

- KRAUS, Franz (1894): Höhlenkunde. Wege und Zweck der Erforschung unterirdischer Räume. — Wien. 308 S.
- KYRLE, Georg (1923): Grundriss der theoretischen Speläologie (mit besonderer Berücksichtigung der ostalpinen Karsthöhlen). — Wien. 353 S.
- TRIMMEL, Hubert (1968): Höhlenkunde. — Braunschweig. 300 S.
- FORD, T.D. & CULLINGFORD, C.H. (1976): The Science of Speleology. — London, San Francisco, New York. 593 pp.
- BÖGLI, Alfred (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie. — Berlin, Heidelberg, New York. 292 S.
- MOORE, G.W. & SULLIVAN, G.N. (1978): Speleology. The Study of Caves. — St. Louis. Rev.ed. 150 pp.
- JENNINGS, J.N. (1985): Karstgeomorphology. — Oxford, New York. 293 pp.
- FORD, D. & WILLIAMS, P. (1989): Karst geomorphology and Hydrology. — London. 601 pp.
- KLIMCHOUK, A.B., FORD, D.C., PALMER, A.N., DREYBRODT, W. (Ed., 2000): Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers. — Huntsville (Alabama). 527 pp.
- GUNN, J. (Ed., 2004): Encyclopedia of Caves and Karst Science. — New York, London. 902 pp.
- CULVER, D., WHITE, W (2004): Encyclopedia of Caves. — Amsterdam. 680 pp.

Historische Speläologie

International

- SHAW, Trevor R. (1992): History of Cave Science. The exploration and study of Limestone to 1900. — Sydney. 338 pp.

National

- SAAR, Rudolf & PIRKER, Rudolf (1979): Geschichte der Höhlenforschung in Österreich. — Wissensch. Beih. zur Zeitschr. „Die Höhle“ (Wien) 13. 96 S.

Dokumentation

- COURBON, P. & CHABERT, C. (1986): Atlas des grandes cavités mondiales. — Marseille. 250 pp.

Praktische Speläologie

- MARBACH, G. & ROCOURT, J.L. (1986): Techniques de la spéléologie alpine. — 2eme ed. Choranche. 351 pp.
- MARBACH, G. & TOURTE, B. (2002): Alpine caving techniques. — Allschwil. 320 pp.