Zeitschrift: NAGON / Naturforschende Gesellschaft Ob- und Nidwalden

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Ob- und Nidwalden

Band: 1 (1997)

Artikel: Beschreibung einer Höhle auf Melchsee-Frutt, Kerns OW, mit neotektonischen Verschiebungen

Autor: Gubler, Thomas / Trüssel, Martin

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1006690

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

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

Beschreibung einer Höhle auf Melchsee-Frutt, Kerns OW, mit neotektonischen Verschiebungen

Thomas Gubler, Martin Trüssel

In einer Höhle auf Melchsee-Frutt sind ellipsenförmige Höhlengänge entdeckt worden, die nach ihrer Entstehung entlang von Kluftflächen verschert wurden. Die festgestellten Verschiebungen betragen bis zu 34 cm. Untersuchungen zur Höhlenentwicklung zeigen, dass die Bewegungen wahrscheinlich innerhalb der letzten 800000 Jahre stattgefunden haben. Es ist unklar, ob diese Vorgänge auch heute noch andauern.

Entgegen der verbreiteten Meinung sind Krustenbewegungen in den Alpen nicht etwa abgeschlossen, sie dauern vielmehr noch an. Dies wird belegt durch die in den letzten Jahren erfolgten Auswertungen von Erdbeben und Präzissionsnivellements. Messungen des Schweizerischen Bundesamtes für Landestopographie haben Hebungsbeträge von bis zu 1,5 mm pro Jahr ergeben. Nachteilig ist, dass solche Messdaten erst über einen kurzen Zeitraum zur Verfügung stehen und daher nur rezente, aktive Bewegungen erfasst werden können. Die Rekonstruktion älterer quartärer Neotektonik ist hingegen lediglich in seltenen Fällen möglich.
Ehemals phreatische und seit langer Zeit inaktive Höhlen bieten günstige Voraussetzungen zur Konservierung neotektonischer Verschiebungen. Durch die äusserst konstanten Klimabedingungen bleiben die Höhlengänge über Tausende von Jahren oft beinahe unverändert erhalten. In neuerer Zeit haben Höhlenforscher aus verschiedenen Regionen der Schweiz über Beobachtungen junger tektonischer Bewegungen berichtet (Jeannin 1990). Besonders gut können diese Phänomene in Höhlen auf Melchsee-Frutt, insbesondere in der sogenannten Neotektonikhöhle beobachtet werden (Gubler & Trüssel 1995) (Abb.1).

Geographische Lage

Das Dorf Melchsee-Frutt, Kerns OW, liegt am Nordrand eines glazial überprägten Hochtals auf 1900 m ü.M. Nach Norden hin schliesst sich das Melchtal an. Das in drei isolierte Karstplatten unterteilte Karstgebiet erstreckt sich von 1100 bis 2600 m ü.M. Bis 1800 m ü.M. sind die Karstflächen meist bewaldet, darüber wird der grüne Karst grösstenteils von der Alpwirtschaft genutzt. Mit zunehmender Höhe tritt nackter Karst auf.

Geologisch-tektonischer Rahmen

Tektonik

Der zwischen Melchsee-Frutt und Stöckalp in nordwestlicher Richtung abfallende, verkarstete Quintner Kalk ist ein Element der helvetischen Wildhorn-Decke. Diese wird im hinteren Melchtal in verschiedene Schuppen mit nordvergenten, liegenden Falten gegliedert, die entlang inkompetenter Mergel- und Schiefertonzonen übereinander geschoben wurden, so dass eine mehrfache Repetition von Mürtschen-Schichten, Quintner Kalk und Zementstein-Schichten zu beobachten ist (Arbenz 1928, Helbling 1948). Die Kalkplatte der «Schratten» mit dem beschriebenen Höhlensystem entspricht dem Schwarzhorn-Element von Schwarz (1969). Sie wird durch zahlreiche, meist SSE–

Abb. 1
Typische Gangpartie im Hoffnungspfad mit neotektonischer Deformation. Entlang der scharf ausgeprägten Kluftfläche hat sich die Gangdecke um etwa 5 cm von rechts nach links verschoben.

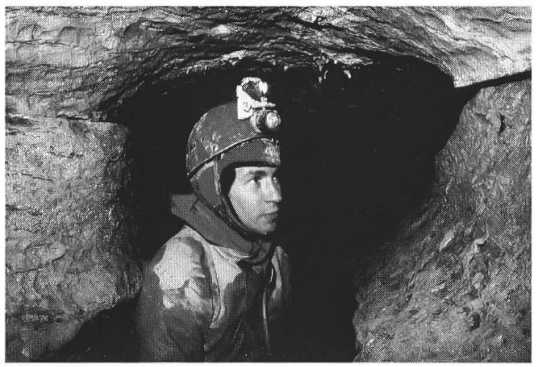


Abb. 1

Abb. 2

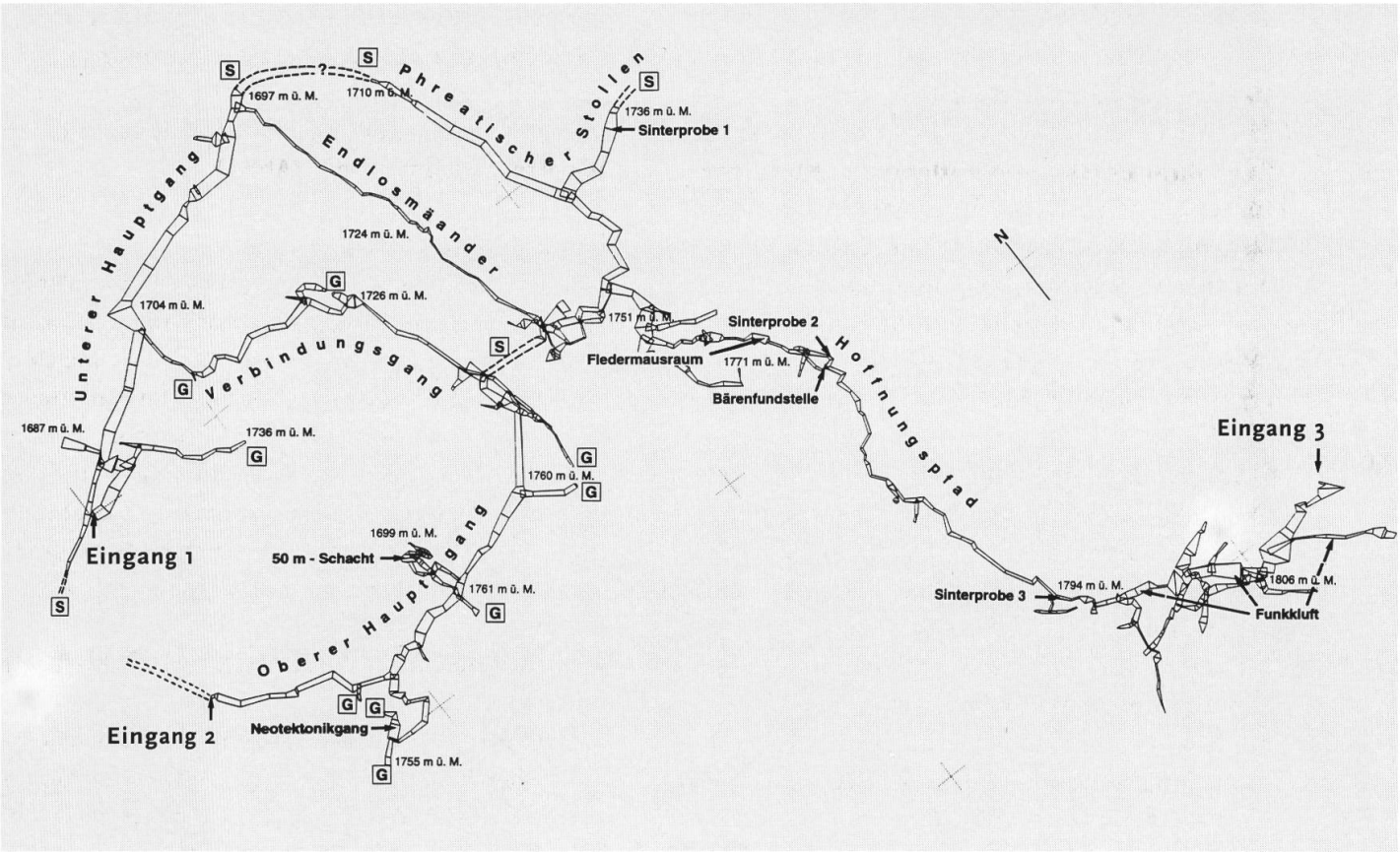


Abb. 2
Grundriss der Neotektonikhöhle. Originalmassstab 1:1000./ 1. Plan: HGT.

G = Gang unterbrochen durch glazialen Gerölleinschub von der Erdoberfläche her.
S = Gang unterbrochen durch Sedimentablagerungen.

Abb. 3

Abb. 4
Situation mit Kluftsystemen und neotektonischen Beobachtungen. Originalmassstab 1:1000. Plan: HGT.
– Höhlenabschnitt entlang Kluft 1: Kluftdach flachliegend
– Kluftfläche aufgeschlossen: neotektonische Verschiebung festgestellt
– Kluftfläche 1 aufgeschlossen: keine neotektonische Verschiebung festgestellt
– Kluftfläche 1 nicht, resp. schlecht aufgeschlossen oder schwierig zugänglich: keine Interpretation möglich

Abb. 3
Oberer Hauptgang mit typischem Schlüssellochprofil beim Eingang 2. Die phreatisch entstandene, ellipsenförmige Röhre bildete sich entlang einer flachliegenden Kluft. Erst viel später hat sich der schmale, bis 6 m tiefe Einschnitt im Boden unter vadosen Bedingungen gebildet.

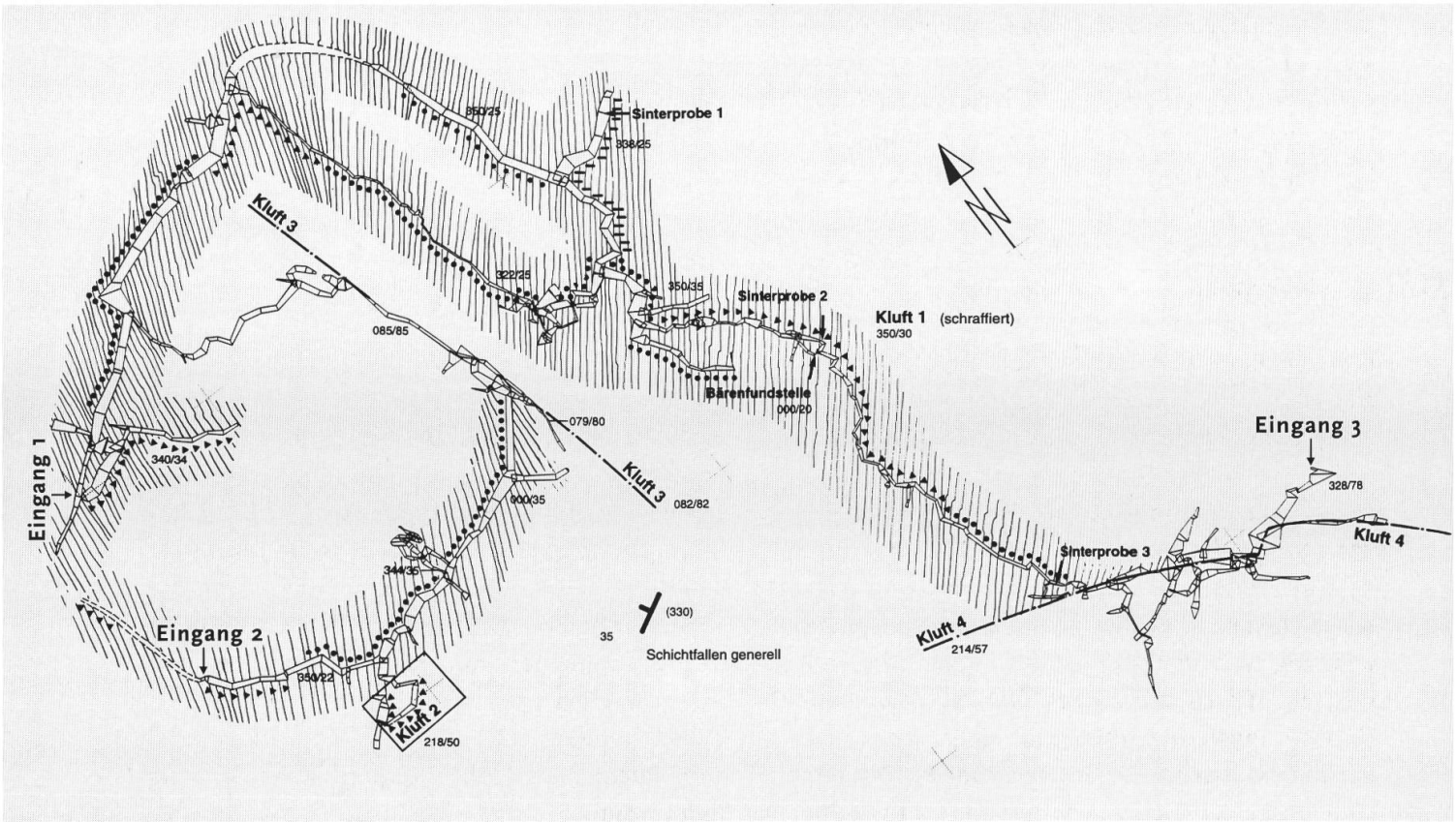


Abb. 4

10 100 m

Abb. 5
Stalagmiten auf teilweise versinterten Sedimentablagerungen im hinteren Teil des Unteren Hauptganges.

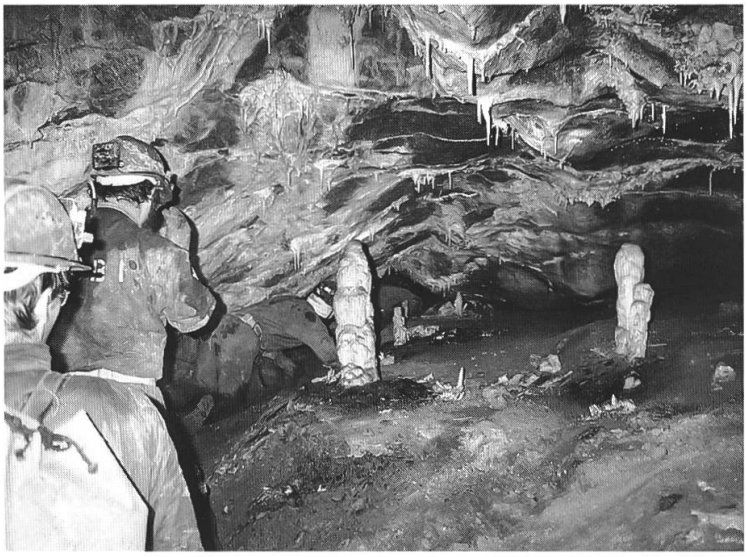


Abb. 5

NNW verlaufende Brüche zerschnitten (**Rod** 1937). In der Mehrzahl handelt es sich um steilstehende, normale Verwerfungen, deren westlicher Flügel gegenüber dem östlichen um bis zu 30 m tiefer gesetzt sein kann. Durch die zahlreichen Brüche wird das in westsüdwestliche Richtung weisende Axialgefälle zusätzlich verstärkt.
Schichtumbiegungen sind in den «Schratten» meistens nur im Meterbereich vorhanden, erst am Bonigrat sind Reste einer grossen Faltenumbiegung erkennbar. Indizien neotektonischer Bewegungen konnten bei geologischen Aufnahmen im Gelände nicht festgestellt werden.

Stratigraphie

Der rund 200 m mächtige Quintner Kalk ist im Feld ebenso wie in den Höhlen – mit einer Ausnahme – nicht gliederbar. Dadurch wird eine stratigraphische Orientierung des in den Höhlen angetroffenen Quintner Kalkes wie auch die Ermittlung von Versetzungsbeträgen an Brüchen verunmöglicht. Einzig die zirka 30 m dicke Basis der Quintner-Kalk-Formation hebt sich durch ihre auch im Bruch hellere, fleckige Ausbildung und dickere Bankung von den darüberliegenden dünnbankigen, im Bruch schwarzen Kalken deutlich ab (**Gubler** 1995). Die unter dem Quintner Kalk liegenden Mürtschen-Schichten und Schilt-Mergel sind im Gebiet «Schratten» nirgends aufgeschlossen. Sie sind aber sowohl am Bonigrat als auch in der benachbarten Bettenalp durchgehend aufgeschlossen und lassen sich auch in den Höhlen wiederholt beobachten.

Höhlenbeschreibung

Situation

Die Neotektonikhöhle befindet sich im Bereich der heutigen Waldgrenze. Sie hat eine erforschte Gesamtlänge von 2,1 km, die Höhendifferenz beträgt 187 m (1682 bis 1869 m ü.M.). Zwischen den beiden am weitesten voneinanderliegenden Eingängen 1 und 3 beträgt die Horizontaldistanz 360 m (Abb. 2 sowie in **Morel** at al. 1997, Abb. 1, in diesem Buch). Das Höhlensystem ist heute weitgehend inaktiv.
Die ersten beiden Höhleneingänge ins System wurden 1987, der dritte 1993 aufgespürt und freigelegt. Seither wird die Höhle von der Höhlenforscher-Gemeinschaft Trüssel (HGT) erforscht.

In unmittelbarer Nähe dieses Höhlensystems befinden sich noch einige weitere Höhlen. Vier von ihnen sind weniger als 50 m von der Neotektonikhöhle entfernt (TRÜSSEL 1987–1996). Nach vorläufigem Forschungsstand ist ein genetischer Zusammenhang bei einer Höhle belegt, bei zwei weiteren ist er sehr wahrscheinlich (unpassierbar wegen Engstelle bzw. wegen Oberflächenversturz) und bei der Schrattenhöhle – mit 19 km Gesamtlänge das mit Abstand ausgedehnteste System – wird er vermutet (Geländeabtrag durch eiszeitliche Vergletscherung).

Systemüberblick

Bei der Neotektonikhöhle handelt es sich um ein Relikt eines ehemals wesentlich ausgedehnteren Höhlenkomplexes. Während die westliche Seite des Systems durch Gletschererosion abgetragen wurde, sind die Höhlengänge nach Osten hin wegen Sedimentverschlüssen (Unterer und Oberer Hauptgang sowie Phreatischer Stollen) unpassierbar. Viele der Sekundärabzweigungen im Bereich der Eingänge 1 und 2 sind durch Eintrag von Gletschergeschiebe unterbrochen (Abb. 2). Beim Neotektonikgang konnte denn auch eine Oberflächenverbindung nachgewiesen werden. Der grosse, von SSE nach NNW einfallende Gangzug Hoffnungspfad mit anschliessender Funkkluft dürfte nur ein Zubringer ins grosse phreatische Horizontalsystem gewesen sein (deutliche Aufschlüsselung der Ganganlage im Bereich der Funkkluft).

Die beiden Querverbindungen zwischen dem Oberen und Unteren Hauptgang sowie der Zubringer Hoffnungspfad täuschen beim Studium des Grundrissplanes (Abb. 2) darüber hinweg, dass das ehemalige phreatische Horizontalsystem in etwa hangparallel von WSW nach ENE verlief, aber – wie bereits erwähnt – auf beiden Seiten unterbrochen worden ist.

Die beiden grossen, inaktiven phreatischen Hauptzüge werden mehrfach von jüngeren, vadosen Mäandern «durchschlagen». Die einzelnen Mäander münden zum Teil in Schächte (z.B. 50-m-Schacht). Bemerkenswert ist der bis zu 6 m tiefe Mäandereinschnitt beim Eingang 2, der sich im Gelände talwärts bis aufs Niveau des Eingangs 1 fortsetzt (Abb. 2). Der ursprünglich phreatisch entstandene, obere Teil des Ganges wurde hingegen durch Gletschererosion abgetragen. Es handelt sich also um eine ähnliche Systemverbindung zwischen dem Oberen und Unteren Hauptgang wie bei den beiden Gängen Endlosmäander und Verbindungsgang.

Die Neotektonikhöhle hinterlässt vom Höhlentypus her einen einheitlichen Charakter, seien es die Gangprofile, aber auch die klastischen und chemischen Sedimente. Aus der Reihe fällt allerdings der südöstlichste Höhlenteil – die Funkkluft und einige ihrer Abzweigungen: Hier dominieren zum Teil tief eingeschnittene Kluftgänge. Diese Veränderung ist in erster Linie geologisch, zum Teil aber auch genetisch bedingt.

Geologie

Schichtung: Der überwiegende Teil des Höhlensystems ist im dünnbankigen Quintner Kalk ange-

legt. Einzig die Funkkluft taucht bis in die darunterliegenden Mürtschen-Schichten ein (siehe **Morel** et al. 1997, Abb. 1, in diesem Buch). Vom Eingang 3 bis hinunter zum Boden der Funkkluft kann die Schichtabfolge auf einer Höhendifferenz von 70 m gut beobachtet werden, insbesondere der Übergang vom Quintner Kalk in die Mürtschen-Schichten. Im Bereich der Funkkluft lassen sich im nordöstlichen Schichtpaket lokale Schichtumbiegungen feststellen.
Da das durchschnittliche Gefälle von der Funkkluft (ohne Schacht beim Eingang 3) bis zum Unteren Hauptgang (Anfang Endlosmäander) rund 20°, das Schichtfallen aber 30° bis 35° beträgt, dürfte der Untere Hauptgang stratigraphisch mindestens 50 m höher liegen als die Funkkluft. Fest steht, dass in keinem der Schächte im Bereich des Unteren oder Oberen Hauptganges die Mürtschen-Schichten erreicht werden, das gilt insbesondere für den 50-m-Schacht, was die theoretische Berechnung bestätigt.

Klüftungen: Fast alle Höhlengänge sind auf Klüften angelegt, wobei eine einzige, flachliegende Kluft dominiert (Abb. 4). Entlang dieser höhlenprägenden Kluft (350°/30°) entwickelten sich folgende Gänge: Unterer und Oberer Hauptgang, Phreatischer Stollen, Endlosmäander, Hoffnungspfad und einige weitere, in der Abb. 2 nicht namentlich aufgeführte Sekundärgänge. Auf dieser Kluft konnten weiträumig kleinere neotektonische Verscherungen festgestellt werden. Noch grössere Verscherungsbeträge liessen sich auf der Kluftfläche 2 (Abb. 4) messen. Südöstlich des Hoffungspfades schliesst die Funkkluft an. Sie bestimmt diesen Höhlenteil und zieht sich bis zur etwa 70 m höhergelegenen Erdoberfläche hinauf. Neben den bereits erwähnten Hauptklüften gibt es noch eine Reihe weiterer Klüfte, auf denen diverse Sekundärgänge bzw. Schächte angelegt sind. Die meisten dieser Klüfte verlaufen von SSE nach NNW. Das sporadisch eintretende Regen- und Schmelzwasser fliesst in der Regel auf solchen Klüften ab. Eine generelle Übersicht über diese Klüfte wird in der Abb. 4 gegeben.

Sedimentablagerungen

Über weite Strecken hat sich Sinter gebildet. Stalaktiten und Exzentriker dominieren. Eher selten sind grössere Stalagmiten und Sintersäulen. Sie stehen meistens auf alten Sedimentablagerungen (siehe Abb. 5).
In der Höhle ist kaum Inkasionsblockwerk anzutreffen. Solches beschränkt sich vor allem auf die Region des Eingangs 1 (Vereisungszone) und auf kluftbedingte Raumerweiterungen.
Grössere, flächendeckende klastische Sedimentablagerungen in unterschiedlichen Korngrössen (Oberfläche teilweise versintert) beschränken sich auf den Unteren Hauptgang und den Phreatischen Stollen, deren Verbindung aber durch einen Sedimentverschluss unterbrochen ist. Im Gegensatz zum zuvor genannten Unteren Hauptgang fehlen im 30 bis 60 m höherliegenden Niveau des Oberen Hauptganges die Höhlensedimente weitgehend. Die mit Sedimenten verschlossene, 15 m lange Passage zwischen Verbindungsgang und

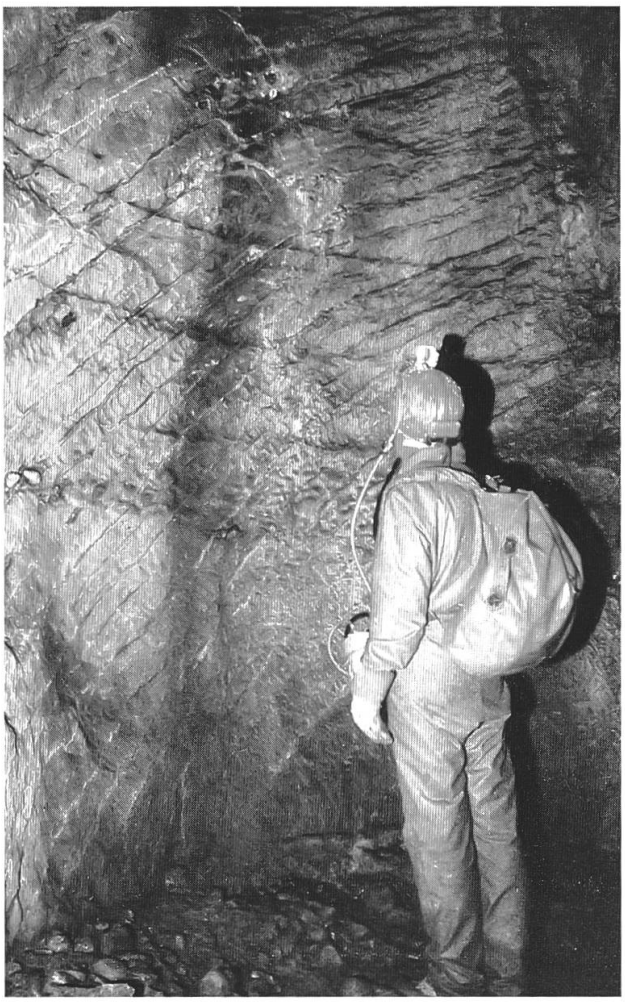


Abb. 6

Abb. 6
Wasserstandsmarken (dunkle, horizontale Streifen) eines ehemaligen Höhlensees im Fledermausraum. Gut erkennbar sind die schräg einfallenden, dünngebankten Quintner-Kalk-Schichten.

Endlosmäander weist darauf hin, dass auch in diesem ehemals phreatischen Höhlenabschnitt Sedimente vorhanden waren, die aber später wieder ausgeräumt worden sind.
In weiten Teilen der Höhle sind verkittete Konglomeratreste an Wänden und Decke zu finden, die auf eine ehemals teilweise – vereinzelt vollständige – Sedimentverfüllung der phreatisch entstandenen Gänge hindeuten. Die Konglomerate enthalten auch Dogger-Gestein, das nicht aus der Höhle stammt. Das Doggergeröll dominiert sogar in diversen Ablagerungsschichten. In der Regel handelt es sich um gut gerundeten Grobkies, es kommen aber auch gut gerundete Steine und Blöcke mit bis zu 25 cm Durchmesser vor. Die Zufuhr des Fremdgesteins kann nur mit eiszeitlichen Vergletscherungen in Zusammenhang gebracht werden.
Besonderer Erwähnung bedürfen die zementierten Konglomeratreste im oberen Teil des Hoffnungspfades, die links und rechts plattenartig in den Gang ragen. Sie bestehen aus verkittetem Dogger-Geröll, das an der Unterseite einer etwa 2 bis 10 cm mächtigen Sinterschicht haftet. Darüber haben sich nachträglich einige Zentimeter Höhlenlehm abgesetzt. Die Lagerung des verkitteten Dogger-Gerölls zeigt, dass es von aufwärtsströmendem Wasser unter vorübergehend phreatischen Bedingungen abgelagert wurde (Dachziegellagerung). Offenbar ist das Wasser in einer bestimmten Phase vom Phreatischen Stollen her (1736 m ü.M.) den Hoffnungspfad bis zur Funkkluft (1794 m ü.M.) hinaufgeflossen. Gang aufwärts orientierte Delta-Schrägschichtungen mit Dogger-Geröll (Schüttung in Höhlensee) sind ein weiteres klares Indiz der Aufwärtsbewegung des Wassers in der letzten Ab- bzw. Umlagerungsphase der Konglomerate.

Hydrologie

Die Neotektonikhöhle ist heute weitgehend inaktiv, allerdings bilden sich nach Niederschlägen und während der Schneeschmelze kleinere sporadische Gerinne. Das Wasser wird in mehrere Meter tiefen, engen Mäandern abgeführt. Im oberen Horizontalniveau haben diese Gerinne an drei Orten auf Klüften angelegte Schächte gebildet. Unterhalb der Schächte verschwinden die kleinen Wasserläufe in unschliefbaren Mäandern. Einzig im Hoffnungspfad lässt sich ein sporadisches Gerinne über eine

Probe-Nr.	Gangname	Messpunkt	Koordinaten (gerundet)	Höhe ü.M. (gerundet)	Alter (y BP)	Methode
Sinterproben						
CERAK 1/5361	M68: Phreatischer Stollen (Ostteil)	52/5	663 900/181 900	1737	–	U/Th
CERAK 2/5362	M68: Hoffnungspfad (Nähe Bärenskelett-Fundstelle)	31/26	663 900/181 800	1774	–	U/Th
CERAK 3/5363	M68: Hoffnungspfad (kurz vor Funkkluft)	31/56	664 000/181 700	1794	–	U/Th
Knochenproben						
ETH-11357 ETH-14476	M68: Hoffnungspfad M68: Hoffnungspfad	31/28 31/28	663 900/181 800 663 900/181 800	1776 1776	33 140 (± 420) 31 740 (± 430)	^{14}C ^{14}C

Tab. 1 Sinter- und Knochenproben aus der Neotektonikhöhle.

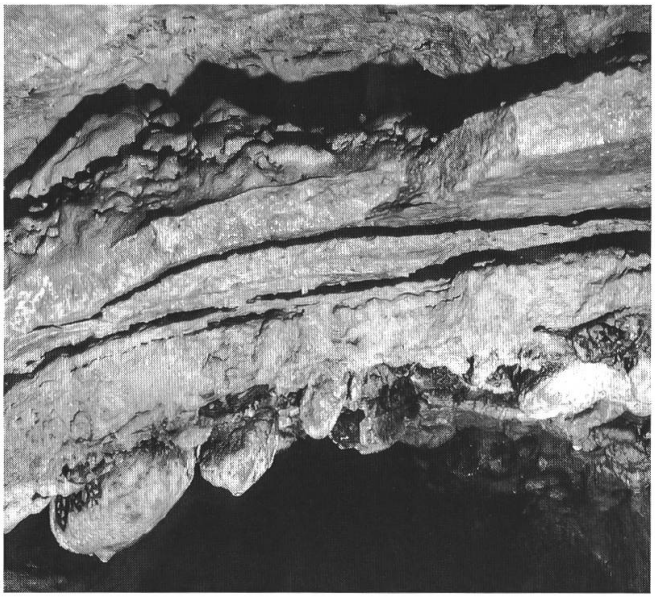


Abb. 7

Abb. 7
Reste eines Sinterbodens an der Höhlendecke im Hoffnungspfad. An der Unterseite der Sinterschichten haften verkittete Dogger-Gerölle.

längere Strecke verfolgen, bis auch dieses in eine Bodenspalte abfliesst.

Bemerkenswert sind drei Gangabschnitte mit alten Wasserstandsmarken (horizontale Einkerbungen an Höhlenwänden) in verschiedenen Teilen der Höhle, nämlich im Oberen Hauptgang, im obersten Teil des Neotektonikganges und im Fledermausraum des Hoffnungspfades. Es handelt sich um Korrosionshohlkehlen an der Oberfläche einstiger Höhlenseen. Auffallend ist, dass alle drei fossilen Seespiegel auf einer Höhe von 1762 bis 1764 m ü.M. liegen. Besonders ausgeprägt sind die Korrosionshohlkehlen im Fledermausraum. Dort sind mindestens drei verschiedene Wasserstandsmarken erkennbar (Abb. 6).

Abb. 8
Schematische Darstellung der Höhlenentwicklung (Hypothese) im Hoffnungspfad.

Altersdatierungen

Für den Versuch einer zeitlichen Eingrenzung der neotektonischen Verscherungen wurden verschiedene Sinter- und Knochenproben entnommen und radiometrisch datiert (Tab. 1).

Probeentnahmen

Sinterproben (U/Th)

- Bei der Sinterprobe 1/5361 handelt es sich um einen auf einer alten Sedimentablagerung gewachsenen Stalagmiten im Phreatischen Stollen (Abb. 2).
- Die Sinterprobe 2/5362 ist eine dünne Sinterlage aus dem Hoffnungspfad, die entlang der Scherfläche aufgerissen ist.
- Für die Sinterprobe 3/5363 diente ein Sinterboden im obersten Teil des Hoffnungspfades, dessen Reste sich in unmittelbarer Nähe der Gangdecke befinden (Abb. 7).

Knochenproben (^{14}C): Es wurden Knochenproben eines Braunbären (*Ursus arctos*, Archiv-Nr. Ph. Morel 11993.11) untersucht. Die Skelettreste stammen aus dem Hoffnungspfad (Abb. 2). Die leicht übersinterten Knochen lagen auf einem trockenen Felssims am Rand eines etwa vier Meter tief eingeschnittenen Ganges (siehe **Morel** et al. 1997 in diesem Buch).

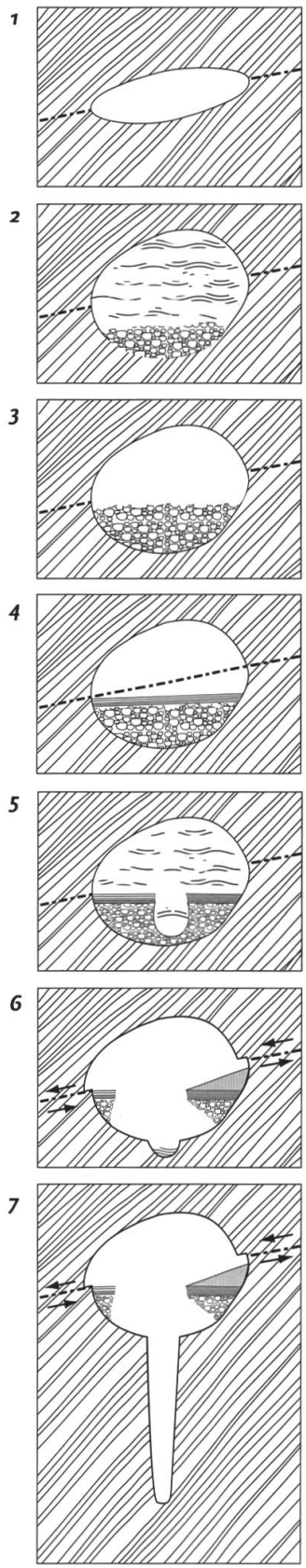
Resultate

Sinteranalysen: Die Uran/Thorium(U/Th)-Datierungen der Sinterproben wurden von Yves Quinif am CERAK in Mons, Belgien, durchgeführt. Alle drei Sinterproben ergaben negative Resultate. Nach Auskunft von Prof. Quinif sind die Sinterablagerungen vermutlich in einer späteren Phase während längerer Zeit überflutet worden. Dadurch erfolgte eine Auslaugung von Uran, so dass keine abschliessende U/Th-Berechnung möglich war. Ähnliche Feststellungen wurden beispielsweise auch von Proben aus dem Hölloch, Muotathal SZ, beschrieben (**Wildberger** et al. 1991).

Knochenanalysen: Die ^{14}C-Datierungen der Knochenreste wurden durch Georges Bonani an der ETH Zürich (Institut für Mittelteilchenphysik) vorgenommen. Demnach haben die Knochen des Bären ein Alter von rund 32 000 Jahren (Tab. 1).

Höhlenentwicklung

Aufgrund der bisherigen Beobachtungen im Feld und in der Neotektonikhöhle, aber auch in den benachbarten, noch wesentlich ausgedehnteren Schrattenhöhle und Bettenhöhle, lässt sich ein grobes Muster der Höhlenentwicklung skizzieren. Kaum Anhaltspunkte bestehen bezüglich der zeitlichen Zuordnung der einzelnen speläogenetischen Phasen. Es ist nicht bekannt, in welchem Umfang die verschiedenen Warm- und Kaltzeiten des Pleistozäns die einzelnen Phasen der Höhlenentwicklung prägten. Diese Phasen können bisher in ihrer Abfolge nicht mit der heute bekannten Eiszeitstratigraphie (**Schlüchter** & **Müller-Dick** 1996) korreliert werden. Die einzigen bis jetzt vorliegenden Eckdaten sind die radiometrischen Datierungen von Knochenfunden. Nachfolgend sind die wich-



Phase 1 *Initialfuge*
Phase 2 *Phreatischer Gang voll ausgebildet (B=1,3 m, H=1,0 m). Fliessfacetten Richtung Höhle abwärts, Gang wassergefüllt*

Phase 3 *Gang kurzfristig (evt. einmaliges Ereignis) überflutet mit Geröll-transport Höhle aufwärts (Dachziegellagerung, Delta-Schrägschichtung)*

Phase 4 *Inaktive Phase mit lagenweiser Übersinterung der Kiesablagerungen*

Phase 5 *System zeitweise unter Wasser (evt. Auslaugung von Uran in Sinter) und beginnende Erosion der Höhlensedimente*

Phase 6 *Ausräumung der Kiesablagerung und Sinterdecke bis auf wenige Reste. Mäanderbildung, Erosion, vados. Tod des jungen Bären vor ca. 32 000 Jahren, Knochen seither nie unter Wasserbedeckung*

Phase 7 *heutiger Zustand mit 5 m tief eingeschnittenem Mäandergang (Schlüssellochprofil). Alter elliptischer, phreatischer Gang entlang Kluft deutlich verschoben (Neotektonik)*

Abb. 8

tigsten Beobachtungen im Zusammenhang mit der Höhlenentwicklung aufgeführt.

Ablauf der Höhlenentwicklung (Modell)

Das Auf-und-ab-Pendeln des Unteren und Oberen Hauptganges zwischen 1700 und 1760 m ü.M. weist darauf hin, dass sich auf dieser Höhe eine seichtphreatische Zone befunden hat (**Bögli** 1978). Einige weitere Indizien sprechen ebenfalls für seichtphreatische Verhältnisse: Während im Unteren Hauptgang häufig Sedimentablagerungen (wenig Strömung) anzutreffen sind, fehlen solche im Oberen Hauptgang weitgehend (zeitweise starke Strömung). Das Niveau des Oberen Hauptganges dürfte deshalb nahe dem Übergangsbereich zur Hochwasserzone gelegen haben. Darauf weisen auch an drei verschiedenen Orten Korrosionshohlkehlen bei einer Marke um 1765 m ü.M. hin (Abb. 6). Nur wenige Höhenmeter tiefer ist in einem Zubringergang zum hintersten Abschnitt des Oberen Hauptganges ein Wirbelkanal ausgebildet. Nach **Bögli** (1978) beginnen Wirbelkanalgänge im Bereich der einstigen piezometrischen Oberfläche, also dort, wo das Gravitationsgerinne (vadose Verhältnisse) ins Druckfliessen (phreatische Verhältnisse) übergeht. Der typische Übergang von der vadosen in die phreatische Zone lässt sich auch auf gleichem Niveau im untersten Teil des Hoffnungspfades zwischen Phreatischem Stollen und Fledermausraum erkennen.

Ähnliche Beobachtungen können in der unmittelbar benachbarten Schrattenhöhle gemacht werden. Dort reichen die phreatisch entstandenen

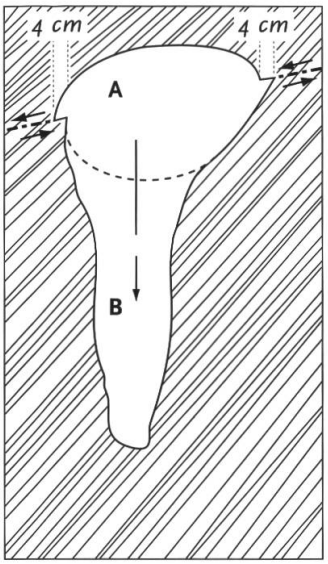


Abb. 9a

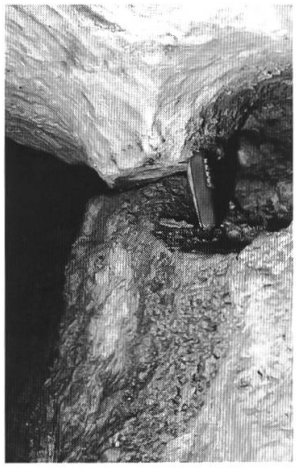


Abb. 9b

Kluft 1: 350/30

Abb. 9a/b
Gangquerschnitt mit neotektonischen Verschiebungen auf Kluft 1 im Hoffnungspfad inkl. photographische Detailaufnahme.

A *Phreatischer ellipsenförmiger Gang*
B *vadoser Höhleneinschnitt*

Abb. 10a

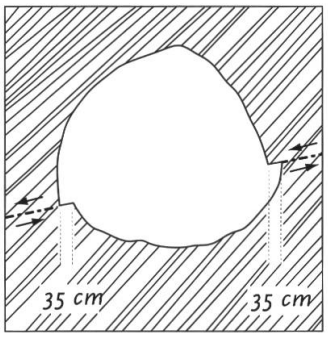
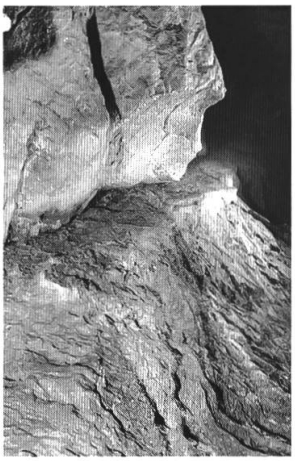


Abb. 10b



Kluft 2: 218/50

Abb. 10a/b
Gangquerschnitt mit neotektonischen Verschiebungen auf Kluft 2 im Neotektonikgang inkl. photographische Detailaufnahme.

Gänge nach bisherigem Forschungsstand bis auf Kote 1570 m ü.M. hinunter (130 m tiefer als in der Neotektonikhöhle). Das zeigt, dass die phreatische Zone während der Phase 1 und 2 (Abb. 8) in einem Bereich zwischen Kote 1570 und 1760 m ü.M. gelegen hat. Demnach dürfte sich der Vorfluter zu dieser Zeit grob geschätzt auf 1700 m ü.M. befunden haben. Der heutige Talboden bzw. Vorfluter befindet sich 600 m tiefer auf der Stöckalp.
Die spätere Tieferlegung des Vorfluters hat bewirkt, dass das untersuchte Höhlensystem trocken fiel. In einer folgenden Phase (Abb. 8, Phase 3) wurde das Höhlensystem wieder überflutet. Die Dachziegellagerung der Gerölle zeigt über weite Strecken eine aufsteigende Fliessrichtung. Demnach stieg das Wasser im Hoffnungspfad um mindestens 50 Höhenmeter bis zur Funkkluft auf, wo Deltaschrägschichtungen der Kiesablagerungen einen alten Seespiegel belegen. Darauf folgte wiederum eine inaktive Phase mit lagenweiser Übersinterung der Kiesschichten (Phase 4).
Radiometrische Untersuchungen von Sinterproben aus dem Phreatischen Stollen und dem Hoffnungspfad ergaben postsedimentäre Austausch- und/oder Auswaschvorgänge, die auf längere Überflutungsphasen hinweisen. Die Überflutungen dürften in Zusammenhang mit bestimmten Glazialphasen gebracht werden, als durch die Vergletscherung der Karstwasserspiegel vorübergehend stark angehoben wurde (Phase 5).

Kluft 1	*350° / 30°*	*scharfe, geschlossene Fuge, beinahe schichtparallel*
Kluft 2	*218° / 50°*	*scharfe, geschlossene Fuge, zur Schichtung steilstehend*
Kluft 3	*082° / 82°*	*scharfe Fuge mit Kalzitfüllung, zur Schichtung steilstehend*
Kluft 4	*214° / 57°*	*Fuge mit Kalzitfüllung und Felsschleppung, zur Schichtung steilstehend (Beobachtung erschwert)*

Tab. 2

Tab. 2
Die Neotektonikhöhle folgt zur Hauptsache vier verschiedenen Klüften, wobei die Kluft 1 besonders dominant ist.

Kluft-Nr.	*Verschiebungsvektor Betrag in cm*	*Verschiebungsvektor Orientierung*	*Messstelle*
Kluft 1	*5*	*320/22*	*Oberer Hauptgang (nähe Ausgang)*
Kluft 2	*34*	*254/45*	*Neotektonikgang*

Tab. 3

Tab. 3
Verschiebungsvektoren in den Klüften 1 und 2.

Die Sedimente in den höhergelegenen Höhlenteilen wurden ausgeräumt und in den tieferen Gangabschnitten wieder abgelagert, was zu den heute noch bestehenden Sedimentverschlüssen geführt hat (Phase 6). Verkittete Konglomeratreste an Wänden und Decken in den höhergelegenen Höhlengängen sind Zeugen der ehemaligen Verfüllung.
Ein einschneidendes Ereignis war die Unterbrechung des Höhlensystems: Durch Gletscherabtrag wurden die nordwestlichen Fortsetzungen des Oberen und Unteren Hauptganges gekappt (Höhleneingänge 1 und 2). An anderen Orten gelangte durch Felsspalten glaziales Geschiebe in die Höhle und verstopfte so diverse Gänge (Abb. 2).
Bis in die jüngste Zeit der Höhlenentwicklung haben sich verschiedene enge, tiefe Mäandereinschnitte gebildet (Abb. 8, Phase 7). Diese temporären Wasserläufe bilden aktive Streifen quer durch die sonst inaktive Höhle. Zumindest die Ansätze der grösseren Mäandereinschnitte dürften bereits vor dem letzten Geländeabtrag durch den hochwürm-eiszeitlichen Gletschervorstoss bestanden haben, da sich der Bodenmäander des Oberen Hauptganges auch ausserhalb der Höhle noch fortsetzt.
Zusammenfassend kann folgendes festgehalten werden:

1. Das phreatische Höhlensystem entstand, als der Vorfluter des Karstgebietes noch etwa 600 m höher lag als heute.

2. Im Zusammenhang mit Gletschervorstössen wurden grössere Mengen allochthonen Gesteins (Dogger-Geröll) in die Höhle eingebracht.
3. Die Höhle war phasenweise längere Zeit überflutet (vorübergehende, vergletscherungsbedingte Höherlegung des Karstwasserspiegels bzw. des Vorfluters).
4. Durch Gletschererosion wurden ganze Höhlenabschnitte abgetragen.

Zeitlicher Rahmen

Die voranstehenden Überlegungen machen deutlich, dass mehrere pleistozäne Warm- und Kaltzeiten die Neotektonikhöhle prägten. Nachfolgend wird der Versuch einer zeitlichen Eingrenzung unternommen (in rückwärtiger Reihenfolge):

- Die Geländeform und die abgelagerten Sedimente in den durch Höhlenforscher freigelegten Höhleneingängen weisen darauf hin, dass die oberflächennahen Höhlengänge wahrscheinlich während des Hochwürm-Stadials gekappt wurden.
- Der radiometrisch datierte Bärenfund in der Neotektonikhöhle weist ein Alter von rund 32 000 Jahren auf. Die Lage und der Zustand des Skeletts machen deutlich, dass die Höhle bereits am Ende des letzten Würm-Interstadials voll ausgebildet war und seither nie mehr überflutet worden ist. Nur der Mäandereinschnitt hat sich danach noch vertieft.
- Für die letzte Überflutung der Höhle sowie die Ausräumung der Sedimente kommt die frühwürm-eiszeitliche Periode zwischen etwa 60 000 und 115 000 Jahren oder ein älteres Glazial in Frage.
- Die Eintiefung des Melchtals nach der phreatischen Höhlenentstehung um rund 600 m dürfte durch mehrere grosse Eisvorstösse erfolgt sein. Die phreatische Hauptentwicklung des Höhlensystems muss somit bedeutend älter sein als die Würmeiszeit.

Neotektonik

Beobachtungen

Die Neotektonikhöhle folgt zur Hauptsache vier verschiedenen Klüften, wobei die Kluftfläche 1 besonders dominant ist (Abb. 4). Davon sind die Klüfte 1 und 2 (Verwerfungen) als glatte, geschlossene Fugen ausgebildet. Striemungen oder Kalzitharnische auf den glatten Flächen konnten nicht festgestellt werden. Die Verwerfungen lassen sich wie folgt beschreiben (siehe Tab. 2):

Die Beobachtungen im Höhlensystem zeigen, dass die Kluft 1 von den Klüften 2 und 4 abgeschnitten und versetzt worden ist. Aufgrund der Messdaten ist die Kluft 2 wahrscheinlich mit der Kluft 4 identisch oder verläuft in geringem Abstand parallel zu dieser. Die Kluft 1 wird durch die Kluft 3 durchschlagen. Die Aufschlussverhältnisse erlauben nach den bisherigen Beobachtungen keine zuverlässigen Angaben weder über Versetzungsbeträge noch über den Bewegungssinn.

In den heutigen Höhlengängen, die auf den beschriebenen Klüften 1 und 2 angelegt sind, können verschiedene Indizien für junge Bewegungen festgestellt werden. Es handelt sich um folgende Phänomene:

- Ellipsenförmige Gangquerschnitte sind entlang der Kluft 1 bzw. der Kluft 2 verschoben. Es lassen sich Verschiebungsbeträge von 3 bis 5 cm bzw. 30 bis 35 cm messen (Abb. 9 und 10). An zwei Stellen konnten zuverlässige Messungen der Verschiebungsvektoren durchgeführt werden (siehe Tab. 3).
- Zerbrochene Sinterüberzüge über der Kluftnaht finden sich nur auf der Kluft 1. Bei den flächenhaften Versinterungen sind Risse und abgesprengte Partien eher die Regel als die Ausnahme. Es lässt sich allerdings in den meisten Fällen nicht feststellen, ob diese auf Kluftbewegungen oder lediglich auf lokale Entlastungserscheinungen (Absplitterungen) zurückzuführen sind. Im Eingangsbereich des Unteren Hauptganges konnte zwar eine Verschiebung von etwa 5 cm gemessen werden. An dieser Stelle bilden sich aber alljährlich grössere Eisablagerungen, so dass auch diese Messung keine Schlüsse bezüglich Neotektonik zulässt.
- Sintersäulen entlang der Kluft 1 sehen oberflächlich unbeschädigt aus. Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass allfällige Bruchflächen nachträglich wieder übersintert werden konnten, da der Verschiebungsbetrag auf der Kluftfläche 1 nur relativ klein ist.

Diskussion

Ursachen der Deformationserscheinungen: Die oben beschriebenen Gangdeformationen können nur durch Gleitbewegungen entlang der Klüfte 1 und 2 erklärt werden. Für die beobachteten Verschiebungen von 5 cm bzw. 34 cm kommen grundsätzlich zwei verschiedene Ursachen in Frage:

1. Felssackung, hangparalleles Abgleiten eines Felspaketes oder Glaziotektonik.
2. Alpin-tektonische Schubkräfte (Neotektonik).

Der erste Fall kommt nicht in Frage, da die topographisch-geologischen Verhältnisse im untersuchten Gebiet eine Felssackung sowie glaziotektonische Erscheinungen ausgeschlossen erscheinen lassen. Diese Feststellung wird untermauert durch die Lage der Kluft 2, die rechtwinklig zum Hanggefälle steil bergwärts einfällt und die Kluft 1 abschneidet. Somit können die festgestellten Verschiebungen nur mit neotektonischen Vorgängen erklärt werden.
Die Klüfte 1 und 2 sind alpin-tektonische Klüfte, die im Quartär reaktiviert wurden. Aufgrund der Beobachtungen in der Höhle muss angenommen werden, dass die neotektonischen Bewegungen gleichzeitig aktiv waren.

Zeitliche Eingrenzung: Falls erste neotektonische Verschiebungen schon während der phreatischen Phase der Höhlenbildung stattgefunden haben, so können diese heute nicht mehr festgestellt werden. Ihre Spuren wären durch korrosive und erosive Vorgänge sukzessive wieder abgetragen wor-

den. Folglich müssen sich die heute sichtbaren Deformationen nach dem Absinken des damaligen Karstwasserspiegels bzw. frühestens mit dem Eintreten von vadosen Verhältnissen gebildet haben (Abb. 8, Übergang Phase 2 zu 3).

Der Karstwasserspiegel hat sich in direktem Zusammenhang mit dem Tieferlegen der Vorflut im hinteren Melchtal gesenkt. Dies wiederum ist wahrscheinlich eine Folge der grossen Talbildungen, die vermutlich während der Grössten Vergletscherung (**Schlüchter & Müller-Dick** 1996) stattgefunden haben. Die heute zu beobachtenden neotektonischen Deformationen wären demnach jünger als die Grösste Vergletscherung, die nach **Schlüchter & Müller-Dick** (1996) vor rund 800 000 Jahren stattgefunden hat. In der Literatur sind bisher keine Angaben zu finden, die eine altersmässige Einstufung dieses Glazials zulassen würden.

Ob die neotektonischen Bewegungen noch andauern oder schon abgeschlossen sind, ist unsicher, weil die Sinterbildungen diesbezüglich nach heutigem Kenntnisstand keine zuverlässigen Aussagen zulassen. Erschwerend wirkt der Umstand, dass das Sinterwachstum schneller vonstatten geht als die Scherbewegungen. Durch das raschere Sinterwachstum werden Brüche fortzu überwallt. Es sind zwei Varianten zu diskutieren:

1. Sollten ausführlichere Untersuchungen an Sinterbildungen tatsächlich neotektonische Deformationen bis in die äussersten Schichten zeigen, so sind die dafür verantwortlichen Scherkräfte zumindest bis in allerjüngste Zeit aktiv gewesen.
2. Wenn keine neotektonisch bedingten Bruchbildungen an Sinterbelägen und Tropfsteinsäulen vorhanden sind, so wären die Gleitbewegungen schon vor längerer Zeit zum Stillstand gekommen. Als zeitliche Eingrenzung können die Ergebnisse der Altersdatierungen von Knochen- und Sinterproben herangezogen werden: Die Sinterproben lassen im Gegensatz zu den Bärenknochen Spuren einer Überschwemmung erkennen. Sie müssen somit älter sein als die auf 32 000 Jahre datierten Knochenreste.

Schlussfolgerungen

In der Neotektonikhöhle wurden entlang der Klüfte 1 und 2 neotektonische Verschiebungen von 5 cm bzw. 34 cm gemessen. Die Bewegungen dürften gleichzeitig stattgefunden haben. Der Anfang dieser Vorgänge lässt sich zeitlich nicht festlegen. Zudem ist unklar, ob sie auch heute noch andauern oder vor mehr als 32 000 Jahren zum Stillstand gekommen sind.

Für diese Verschiebungen stand eine maximale Zeitspanne von der Grössten Vergletscherung (**Schlüchter & Müller-Dick** 1996) bis heute zur Verfügung. Unter der sehr vagen Annahme, die Grösste Vergletscherung liege rund 800 000 Jahre zurück, beträgt die Verschiebungsrate für die Kluft 2 etwas mehr als 0,4 mm pro 1000 Jahre. Haben die Bewegungen erst nach der Grössten Vereisung eingesetzt, so nimmt die Verschiebungsrate entsprechend zu.

Dank
Die Altersdatierungen des Bärenskeletts und von Tropfsteinen wurden ermöglicht durch die Nagra, 5430 Wettingen, und durch das Geologische Institut der Universität Bern, 3012 Bern, vertreten durch Prof. Dr. Ch. Schlüchter.

Literatur

ARBENZ, P. (1928): Der tektonische Bau der Kalkalpen zwischen Obwalden und dem Berner Oberland. – Mitt. natf. Ges. Bern.

BÖGLI, A. (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie. – Springer-Verlag, Berlin.

GUBLER, Th. (1995): Geologischer Wanderweg Kanton Obwalden. – Naturforschende Gesellschaft Ob- und Nidwalden (NAGON), Grafenort.

GUBLER, Th., & TRÜSSEL, M. (1995): Neotektonische Beobachtungen im Höhlensystem M37–M40–M68, Melchsee-Frutt, Kerns. – Unpubl. Ber. Nagra, Wettingen.

HELBLING, R. (1948): Aufrisskizzen der linken Seite des Melchtales und des Engelbergertales, Blatt 7. – in Photogeologische Studien im Anschluss an geologische Kartierungen, insbesondere der Tödikette. Orell Füssli, Zürich.

JEANNIN, P.-Y. (1990): Néotectonique dans le karst du nord du lac de Thoune (Suisse). – Eclogae geol. Helv. 83/2.

MOREL, P., GUBLER, Th., SCHLÜCHTER, Chr., & TRÜSSEL, M. (1997): Entdeckung eines jungpleistozänen Braunbären auf 1800 m ü.M. in einer Höhle der Obwaldner Voralpen, Melchsee-Frutt, Kerns OW. – Natf. Ges. Ob- und Nidwalden, Grafenort, Bd. 1.

ROD, E. (1937): Stratigraphie des Malms der Graustock-Hutstock-Gruppe (Melchtal, Kanton Obwalden). – Dissertation Universität Bern.

SCHLÜCHTER, Ch., & MÜLLER-DICK, K. (1996): Das Eiszeitalter in der Schweiz – eine schematische Zusammenfassung. – Geol. Institut der Universität Bern, Kommission für Quartärforschung der Schweiz. Hrsg.: Stiftung Landschaft und Kies.

SCHWARZ, H. (1969): Geologische Untersuchungen des Helvetikums im oberen Gental und am Jochpass. – Dissertation Universität Bern.

TRÜSSEL, M. (1987–1996): Tätigkeitsberichte der Höhlenforscher-Gemeinschaft Trüssel (HGT). – Publ. in Vorb.: Vom Fuchsloch zur Schrattenhöhle. 22 Jahre Höhlenforschung auf Melchsee-Frutt. – Eigenverlag HGT, 3377 Walliswil b. W.

WILDBERGER, A., GEYH, M.A., & HENNING, G. (1991): Datierungsversuche an Tropfsteinen aus dem Hölloch (Zentralschweiz). – Akten des 9. Nationalen Kongresses für Höhlenforschung in Charmey. Bibliothèque de la Société Suisse de Spéléologie, Granges.

Adressen der Autoren

Thomas Gubler, dipl. Geologe ETH,
Höhlenforscher-Gemeinschaft Trüssel (HGT),
Äschenstrasse 11, CH-8873 Amden

Martin Trüssel, Höhlenforscher-Gemeinschaft
Trüssel (HGT), Heimenhausenstrasse 24,
CH-3377 Walliswil bei Wangen