

# Karst und Höhlen am Guffert (Nordtirol, Teilgruppe 1262)

## ZUSAMMENFASSUNG

Östlich des Achensees liegt das kleine, aber markante Massiv des Guffert (2194 m), das großteils aus Wettersteinkalk aufgebaut ist, der als nach Norden überkippte Sattelstruktur ein prominentes Südfallen der Gesteinsbänke zeigt. An seiner Ostschulter liegt ein Karstgebiet in der Latschenzone, in dem sieben Höhleneingänge zwischen 1806 m und 1932 m bekannt sind. Die meisten Objekte sind schachtartig und in maximal rund 50 m Tiefe verstürzt. Horizontalteile sind selten. Die Höhlen folgen in ihrer Anlage tektonischen Störungen, die entweder WSW-ENE streichen oder einem konjugierten System senkrecht dazu folgen. In der Schachthöhle bei der Schmiedtquelle sind braune verfestigte karbonatische Sedimente einer Spaltenfüllung aufgeschlossen, die Bohnerze führen. Das ist der erste Nachweis von umgelagerten Bohnerzen in den Nordtiroler Kalkalpen westlich des Kaisergebirges. Die Höhlen führen stellenweise Wand- und Bodensinter, die allerdings überall bereits im Stadium der Zerstörung sind. Messungen mit der Uran-Thorium Methode ergaben für die meisten Proben Alter von mindestens einer halben Million Jahren. Die jüngste Sintergeneration ist ca. 341.000 Jahre alt. Fast alle Höhlen fungieren aufgrund ihrer Geometrie als Kältefallen im Winter, und zwei der Höhlen führen ganzjährig Eis. Dieses entstand großteils durch hineinfallenden Schnee, erreicht bis zu etwa 34 m Mächtigkeit und ist an seiner Basis lokal etwas mehr als 2000 Jahre alt.

Die unterirdische Hauptentwässerung des Guffert-Massivs verläuft dem Schichteinfallen folgend nach Süden mit dem Hauptquellaustritt an der Pulverermühlquelle rund 800 m unterhalb der Höhlen. Der niedere Schüttungskoeffizient dieser Quelle und die hohe, recht stabile elektrische Leitfähigkeit sind untypisch für Karstquellen.

## ABSTRACT

### Karst and caves at Guffert (North Tyrol).

To the east of Lake Achensee lies the small but striking massif of the Guffert (2194 m), which is largely built up of light-coloured Wetterstein limestone. This rock shows a prominent southern dip reflecting the overturned tectonic saddle structure. On its eastern shoulder lies a karst area in the mountain pine zone where seven cave entrances are known between 1806 m and 1932 m. Most of the objects are shaft-like and are clogged at a maximum depth of about 50 m. Horizontal galleries are rare. The caves follow faults, which either strike WSW-ENE or follow a conjugate system perpendicular to it. In the Schachthöhle bei der Schmiedtquelle, brown consolidated carbonate sediments of a fissure fill are exposed, which carry bean ores. This is the first evidence of redeposited bean ores in the North Tyrolean Limestone Alps west of the Kaiser Mountains. The caves contain flowstone in places, which is, however, already in a state of destruction. Measurements with the uranium-thorium method yielded ages of at least half a million years for most of the samples. The youngest speleothem generation is about 341,000 years old. Due to their geometry, almost all of the caves function as cold traps in winter and two of the caves contain perennial ice deposits. This ice was largely formed by snow falling into the caves. It reaches a thickness of up to about 34 m and is locally a little more than 2000 years old at its base. The main subsurface drainage of the Guffert massif runs southwards following the bedding. The main spring outlet is the Pulverermühlquelle about 800 m below the caves. The low discharge coefficient and the high and quite stable electrical conductivity of this spring is atypical of karst springs.

### Christoph Spötl

Institut für Geologie, Universität Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck  
[christoph.spoetl@uibk.ac.at](mailto:christoph.spoetl@uibk.ac.at)

### Alfred Gruber

Fachabteilung Sedimentgeologie, Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien  
[alfred.gruber@geologie.ac.at](mailto:alfred.gruber@geologie.ac.at)

### Tanguy Racine

Institut für Geologie, Universität Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck  
[tanguy.racine@student.uibk.ac.at](mailto:tanguy.racine@student.uibk.ac.at)

### Denis Scholz

Institut für Geowissenschaften, Johannes Gutenberg Universität Mainz, J.-J.-Becher-Weg 21, D-55128 Mainz  
[scholz@uni-mainz.de](mailto:scholz@uni-mainz.de)

### Charlotte Honiat

Institut für Geologie, Universität Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck  
[charlotte.honiat@student.uibk.ac.at](mailto:charlotte.honiat@student.uibk.ac.at)

Eingelangt: 10.5.2021  
Angenommen: 1.6.2021

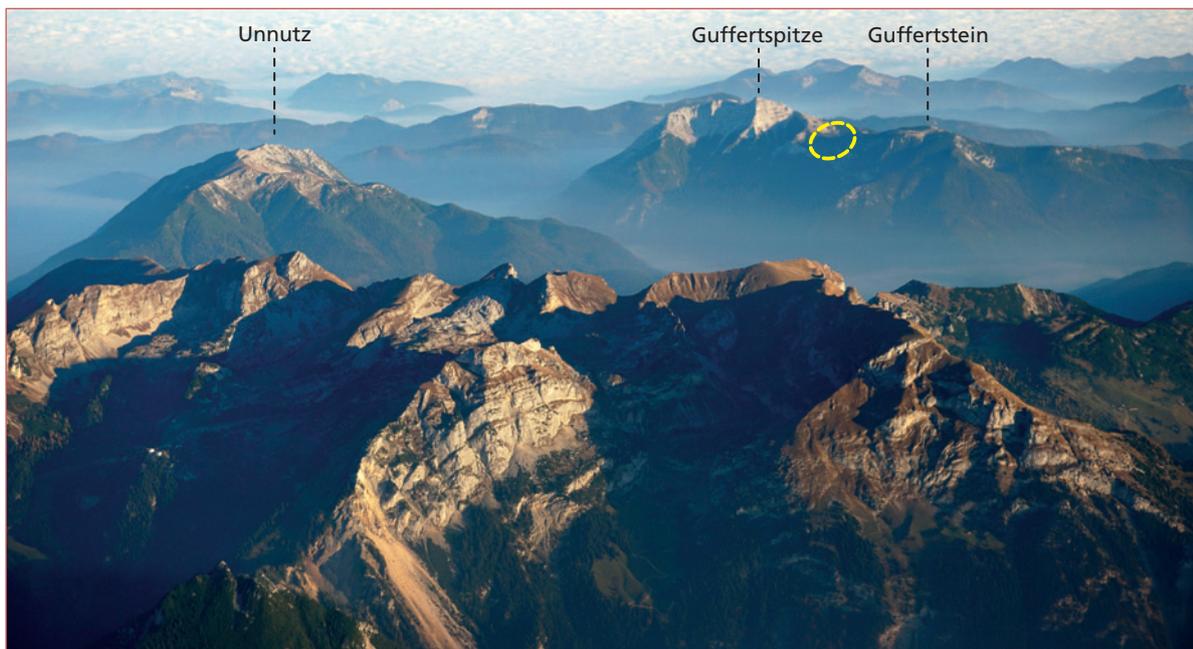


Abb. 1: Schrägluftaufnahme vom Unterinntal nach Norden über den Rofan im Vordergrund zum alleinstehenden Massiv des Guffert und dem dazwischenliegenden Steinberger Talbecken. Das untersuchte Karstgebiet ist gelb markiert.

Fig. 1: Oblique aerial view from the lower Inn Valley looking north over the Rofan Mountains in the foreground to the solitary massif of the Guffert and the Steinberg Basin in between. The karst area studied is marked in yellow. Foto: Christoph Spötl

## EINLEITUNG

Die Nordtiroler Kalkalpen östlich des Achensees, zusammenfassend auch als Brandenberger Alpen bekannt, weisen eine heterogene Höhlenverteilung auf, die teils der Geologie, teils dem Erforschungsstand geschuldet ist (Spötl, 2016a). Neben dem traditionellen Fokus auf das Gebiet nördlich und NW von Wörgl (mit der bekannten Hundsalm Eis- und Tropfsteinhöhle) wurde in den letzten Jahren intensiv im Rofangebirge geforscht, in dem mittlerweile rund 70 Höhlen ka-

tastermäßig erfasst sind (Miehlich et al., 2018). Nördlich davon liegt das Talbecken von Steinberg am Rofan, welches im Norden vom Guffert begrenzt wird (Abb. 1). Dieser markante alleinstehende Berggrücken mit knapp 2200 m maximaler Höhe beherbergt an seiner Ostschulter ein kleines Karstgebiet, über welches, abgesehen von einem Kurzbericht (Kuntscher, 2002), keine publizierten Unterlagen vorliegen. Dieses Manko zu schließen ist das Ziel dieses Beitrages.

## GEOLOGISCHER AUFBAU

Der Wettersteinkalk ist das Hauptgestein dieses kleinen Gebirgsstocks. Der stratigrafisch ältere Abschnitt wird aus massigen bis dickbankigen, hell- bis mittelgrauen, leicht dolomitisierten Kalken aufgebaut, die in einem Riff bzw. Rückriffbereich (Riff- bzw. Riffschutt-fazies) im tropisch-warmen Meer des Tethys-Schelfs entstanden sind. Die Mächtigkeit der Rifffalke liegt bei 400-500 m. Der stratigrafisch höhere Abschnitt und der weitaus größte Teil des Guffert-Massivs besteht hingegen aus gebanktem Wettersteinkalk, der hier 800 m mächtig wird und in einer Lagune abgelagert wurde (Abb. 2). Charakteristisch sind dezimeter- bis meterdicke Wechselfolgen von weißen bis beige-hellgrauen

Kalken, die im Bereich unterhalb der Gezeitengrenze entstanden, mit feinstgeschichteten Kalken, die aus ehemaligen Algen- und Mikrobenmatten im Gezeitenbereich hervorgegangen sind. Nach oben wird die Bankung des Wettersteinkalks generell dünner. Die obersten dünnen Bänke zeigen durch fein verteilten und oberflächlich verwitterten Pyrit eine ockergelbe bis bräunliche Färbung. Sie kündigen den Umschwung zu den siliziklastisch beeinflussten Ablagerungen der Nordalpinen Raibler Schichten an. Diese häufig bräunlichen Gesteine, die als Wechselfolge von Ton- und Sandsteinen, Dolomiten und teils dickbankigen Kalken in einem flachmarinen Milieu gebildet

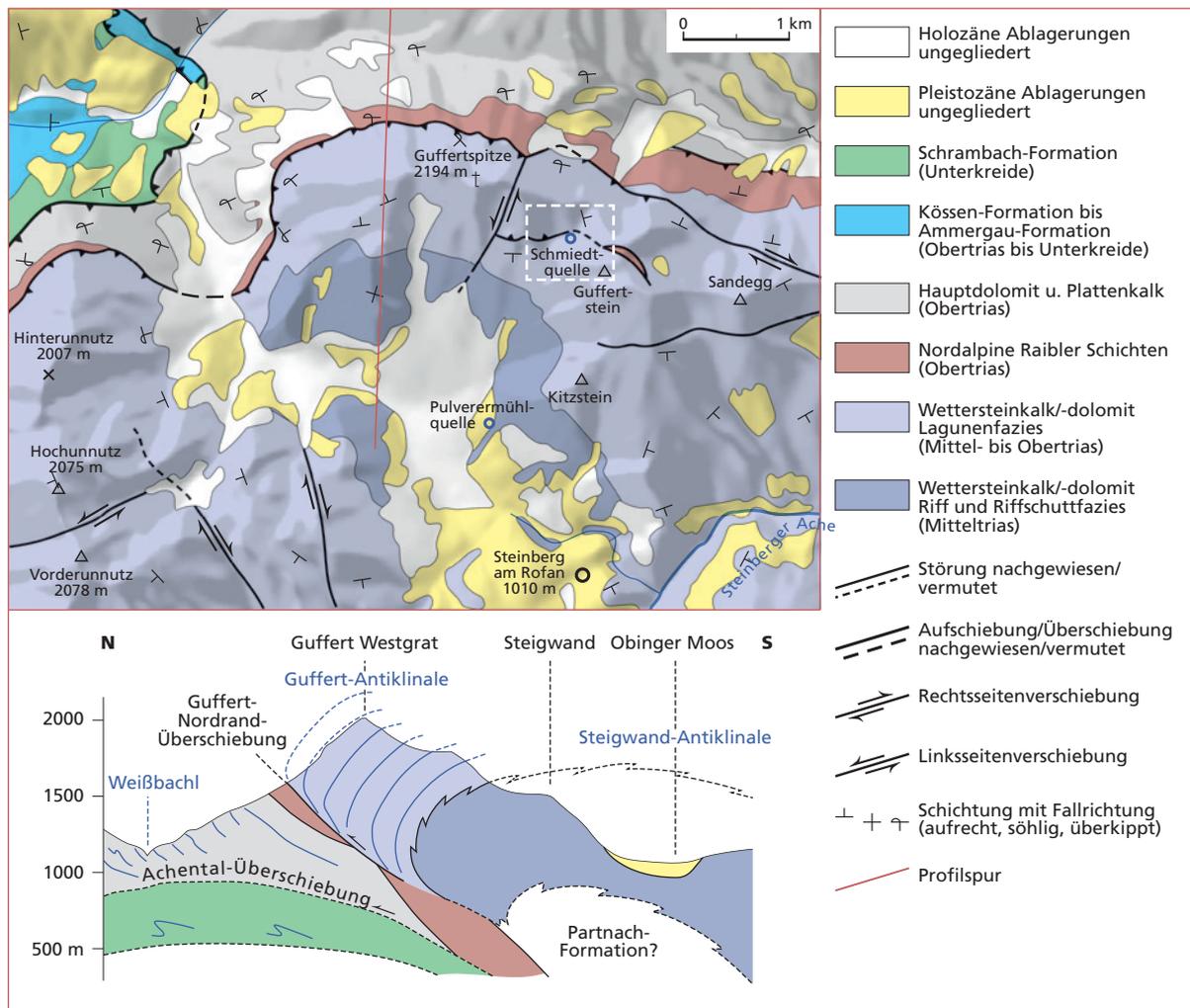


Abb. 2: Oben: Darstellung der geologischen Verhältnisse des Guffert-Massivs und seiner näheren Umgebung, stark vereinfacht nach Gruber & Brandner (2012). Das Höhlengebiet ist durch einen weiß-strichlierten Rahmen markiert. Unten: Profilschnitt durch die überkippte Guffert-Antiklinale. Man beachte die Rekonstruktion der Verzahnung des Riffs mit dem Becken (nicht aufgeschlossene Gesteine der Partnach-Formation), die Überschiebung am Nordhang der Guffertspitze und die gemeinsame Wiederverfaltung der Achental-Überschiebung und ihres Hangend- und Liegendblocks.

Fig. 2: Top: Representation of the geological conditions of the Guffert massif and its immediate surroundings, highly simplified according to Gruber & Brandner (2012). The cave area is highlighted by a white dashed rectangle. Bottom: Section through the overturned Guffert anticline. Note the reconstruction of the facies interfingering of the reef with the basin (non-exposed rocks of the Partnach-Formation), the overthrust on the northern slope of the Guffertspitze and the joint re-folding of the Achental overthrust and its hanging wall and footwall. Grafik: Monika Brüggemann-Ledolter (Geologische Bundesanstalt)

wurden, treten an den Nordabhängen des Guffert-Massivs auf und werden ihrerseits stratigrafisch überlagert vom Hauptdolomit. Letzterer setzt sich vorwiegend aus monotonen, strukturlosen, feinkristallinen, bisweilen bituminösen Dolomiten zusammen, die unterhalb der Gezeitengrenze abgelagert wurden. Der tektonische Bau des Guffert-Massivs ist komplex und wurde erst in den letzten drei Jahrzehnten gelöst. Wie ein Blick auf den geologischen Schnitt (Abb. 2 unten) offenbart, ist der Guffert der Erosionsrest eines großen Sattels (Antiklinale), der nach Norden überkippt ist. Infolgedessen besteht der nach Süden ein-

fallende Hangendschenkel aus einer stratigrafisch aufrechten Schichtfolge (Wettersteinkalk), während der stark überkippte Liegendschenkel noch jüngere Schichtglieder umfasst (Nordalpine Raibler Schichten bis Schrambach-Formation). Die Guffert-Antiklinale wurde noch vor Ablagerung der Gosau-Sedimente (z.B. im nahe gelegenen Brandenberg) angelegt, jedoch hauptsächlich nachgosauisch im Paläogen (Alttertiär) durch S-N-Einengung geformt. Der Hangendschenkel der Antiklinale ist zudem im Becken von Steinberg zu einem domartigen Gewölbe verformt, sichtbar unter anderem am allseitigen Abtauchen des

lagunären Wettersteinkalks. Das Hauptscharnier der Guffert-Antiklinale, an dem das Umbiegen vom aufrechten in den überkippten Schenkel erfolgt, ist innerhalb des Wettersteinkalks im unteren Drittel der Guffert-Nordwand ausgebildet. Im Gipfelbereich der Guffertspitze (2194 m) und am Plateau des Guffertsteins (1963 m) gibt es ein zweites, weit offenes Antiklinal-Scharnier. Darin sind tektonisch eingesenkt an NW-SE-verlaufenden Störungen noch Reste der Nordalpinen Raibler Schichten erhalten (Abb. 2). Die Guffert-Antiklinale ist sowohl an der Nordabdachung (Guffert-Nordrand-Störung) als auch am Südhang des Massivs nahe der Schmiedtquelle kleinräumig durch nord- bzw. südgerichtete Überschiebungen überprägt sowie an NW-SE- bis NNW-SSE-verlaufenden Rechts- (im hinteren Weißachtal östlich des Guffert) und NE-SW-orientierten Links-Seitenverschiebungen (östlich der Guffertspitze) zerschert (Abb. 2). Die Versatzbeträge an diesen Störungen liegen mit wenigen Ausnahmen nur im einstelligen Meterbereich und können fast nur an der Grenze zu den Nordalpinen Raibler Schichten festgemacht werden.

An den Nord-, West- und Südhängen der Guffertspitze und am SW-Hangfuß des Guffertsteins finden sich teils mächtige, nur aus Wettersteinkalk-Bruchstücken verschiedener Korngrößen zusammengesetzte Brekzienreste (Ampferer, 1907). Aufgrund der Überdeckung durch Grundmoräne kann deren Entstehung als Hang- und Murablagerungen vor oder während der Vorstoßphase der Gletscher zum Würm-Hochglazial angenommen werden. Grundmoränen im Talbecken von Steinberg führen charakteristische kristalline Leit-

geschiebe aus den Zentralalpen (Gneis, Amphibolit, Eklogit), deren höchstgelegene Fundpunkte in 1500 m Seehöhe nahe der Luxeggalm (zwischen Kitzstein und Guffertstein) liegen. Sie bezeugen das Vordringen von Innegletschereis in das Achenal und das östlich anschließende Brandenberger Tal. Während des würmzeitlichen Gletscherhochstandes vor etwa 25.000 Jahren füllte Eis aus den Zentralalpen das Talbecken von Steinberg bis auf etwa 1800 m Seehöhe auf, im Bereich des Karstgebietes zwischen Guffertspitze und Guffertstein dürfte es um einige Zehnermeter tiefer gelegen sein (van Husen, 1987). Das heißt, dass alle Höhlen zumindest während des letzten Hochglazials vom Ferneis nicht mehr erreicht wurden. Angesichts der abgerundeten Oberflächenformen am Plateau muss dennoch davon ausgegangen werden, dass glaziale Erosion stattgefunden hat. So zeigt das ENE-verlaufende Hochtäälchen, das parallel zu einer Störung angelegt wurde und in dem Schachtdolinen liegen, eine glaziale Ausräumung, die sich in der wannenförmigen Ausschürfung der Abbruchkante ins Weißachtal fortsetzt. Reste kristallinfreier Grundmoränenablagerungen z.B. am Guffert-Plateau und nördlich davon belegen zumindest eine hochglaziale Lokalvergletscherung abseits der Ferneisströme. Möglicherweise stammen die abgerundeten Formen gar noch von größeren Vergletscherungen früherer Eiszeiten, z.B. aus der Riss-Eiszeit. Ebenso muss für das Spätglazial in dieser Höhenlage eine Plateauvergletscherung angenommen werden, wenn auch die dafür charakteristischen Moränenwälle fehlen. Diese sind nur in den Karen und Talschlüssen an der Nordabdachung des Guffert zu finden.

## KARSTMORPHOLOGIE

Der Wettersteinkalk des Guffert-Massivs ist oberflächlich gering verkarstet. Rundkarren sind mancherorts ausgebildet. Deutlich ausgeprägte Karstformen im Verein mit Höhlen finden sich hingegen zwischen etwa 1800 und 1930 m Seehöhe an der Ostseite der Guffertspitze, im Gebiet um die Schmiedtquelle (Abb. 3).

Es handelt sich um eine perlschnurartige Aneinanderreihung von Tagschächten bzw. Schachtdolinen, die entlang einer WSW-ENE-streichenden Störung, einer

nach Norden einfallenden Überschiebungsfläche, angelegt sind (Abb. 4).

Diese Schachtdolinen sind bis zu etwa 15 m tief und weisen keine weiteren Fortsetzungen auf. Einzelne weitere Dolinen liegen etwas abseits dieser Störung z.T. in den dichten Latschenfeldern bzw. ziehen die Ostflanke des Guffert hinauf. Im Gebiet um die Schmiedtquelle finden sich gut entwickelte Rundkarren.

## HÖHLEN

Aktuell sind sieben Höhlen am Guffert bekannt, wobei von einem Objekt keine Eingangskoordinaten im Kataster des Landesvereins vorliegen (Gamsschädelschacht, 1262/15). Alle Höhlen liegen im Bereich zwischen Guffertspitze (2194 m) und Guffertstein

(1963 m) in einer Latschenzone unweit der Schmiedtquelle, einem nicht ganzjährigen Wasseraustritt von sehr geringer Schüttung. Im Folgenden werden die sechs Höhlen kurz charakterisiert. Die Pläne sind im elektronischen Anhang zu finden.

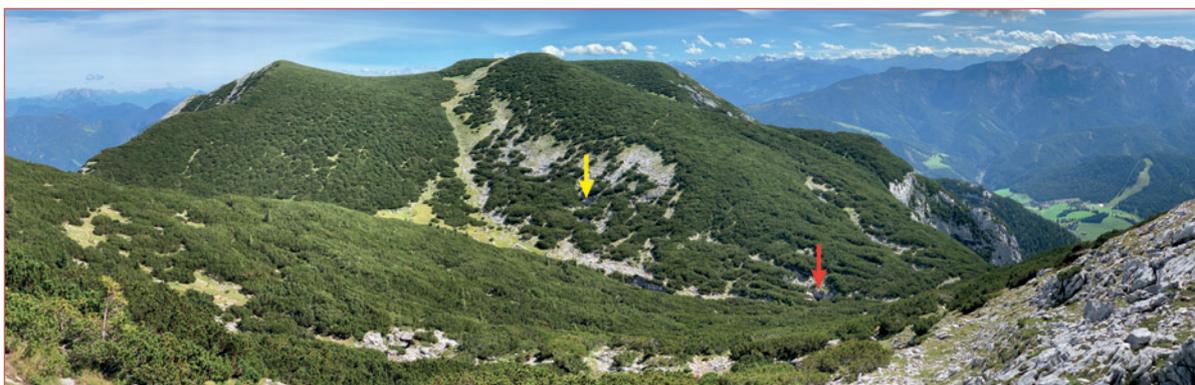


Abb. 3: Panoramablick vom Herbert-Kuntscher-Eisschacht Richtung SE zum großteils latschenbewachsenen Guffertstein. Rechts das Talbecken von Steinberg und dahinter der Rofan. Die Pfeile markieren die Schachthöhle bei der Schmiedtquelle (gelb) und den Guffert-Eisschacht (rot).

Fig. 3: Panoramic view from the Herbert-Kuntscher-Eisschacht in SE direction to the Guffertstein, which is mostly covered with mountain pines. On the right is the Steinberg Basin and behind it the Rofan Mountains. Arrows mark the Schachthöhle bei der Schmiedtquelle (yellow) and the Guffert-Eisschacht (red).  
Foto: Christoph Spötl

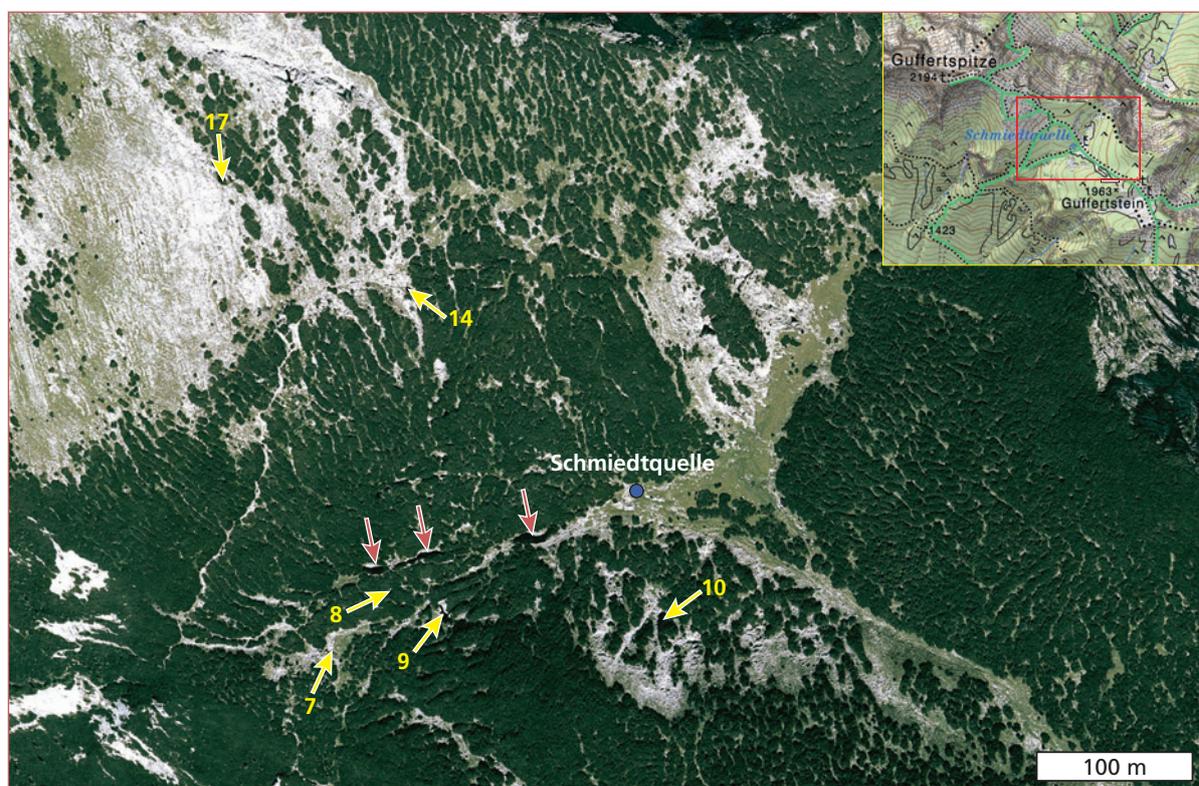


Abb. 4: Luftbild des Karstgebietes um die Schmiedtquelle mit Lage der Höhleneingänge (gelb, mit Kat. Nr.) sowie der Schachtdolinen (rote Pfeile). 1262/7: Fritzhöhle, /8: Donnerschacht, /8: Guffert-Eisschacht, /10: Schachthöhle bei der Schmiedtquelle, /14: Regenloch bei der Schmiedtquelle, /17: Herbert-Kuntscher-Eisschacht.

Fig. 4: Aerial view of the karst area around Schmiedtquelle with location of the cave entrances (yellow, with cave register number) as well as the shaft dolines (red arrows). 7: Fritzhöhle, 8: Donnerschacht, 8: Guffert-Eisschacht, 10: Schachthöhle bei der Schmiedtquelle, 14: Regenloch bei der Schmiedtquelle, 17: Herbert-Kuntscher-Eisschacht.

### Fritzhöhle 1262/7

Sh 1806 m, L 87 m, H 39 m

Diese annähernd horizontale Höhle ist die tiefst gelegene in diesem Gebiet und öffnet sich als niedriger Spalt am Rand einer kleinen Doline. Der Verlauf der

Höhle folgt der WSW-ENE-streichenden Störung, an der etliche Tagschächte liegen (Abb. 4). Die Höhle weist neben vielen Versturzböcken auch reliktsche ehemals phreatische und vadose Formen auf sowie ansehnliche fossile Sinterbildungen.

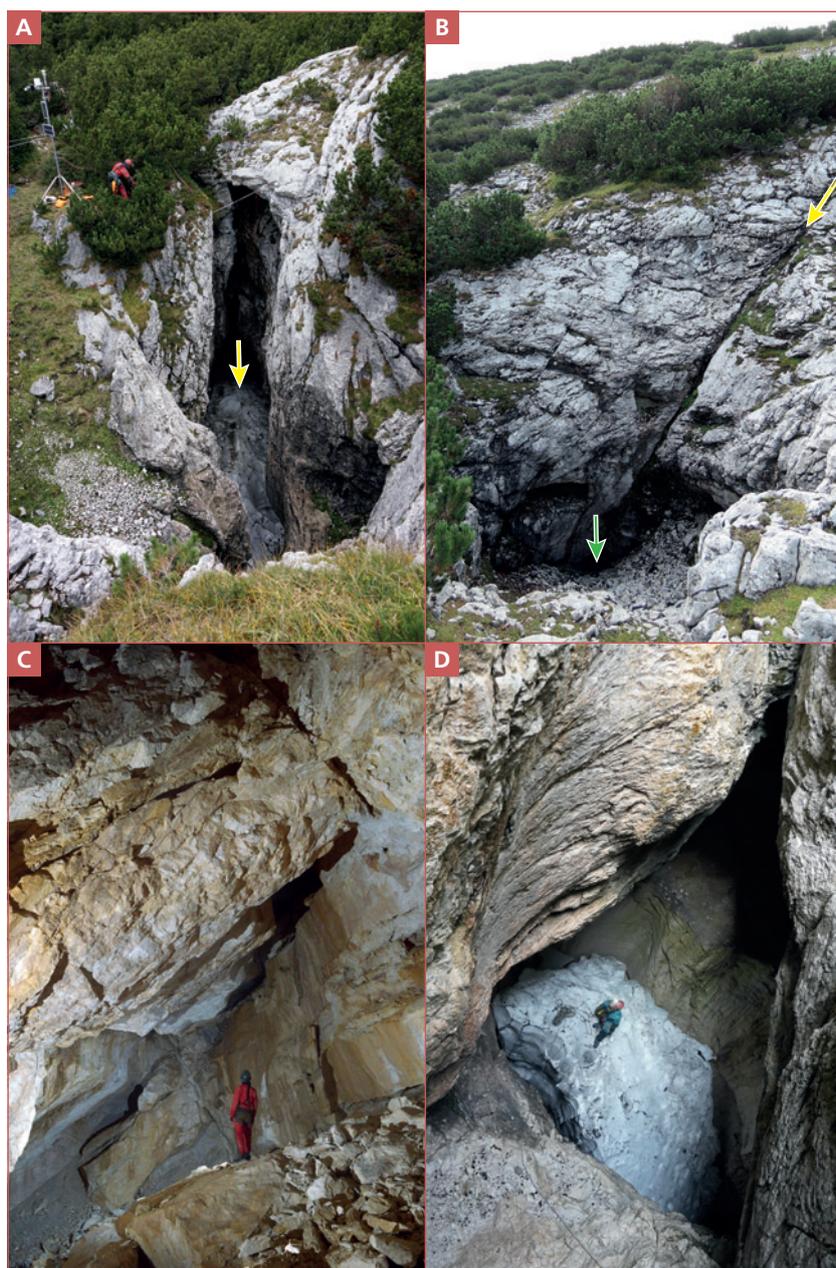


Abb. 5: Höhlen am Guffert.

A: Der Guffert-Eisschacht weist eine längsovale Tagöffnung auf, durch welche Schnee direkt in die Höhle gelangen kann. Die Spitze des Schnee-/Firnkegels (gelber Pfeil) ist etwa 15 m unter der Geländeoberkante. Seit Herbst 2019 wird direkt neben dem Schachtabstieg eine Wetterstation betrieben. B: Am tiefsten Punkt einer kleinen Doline liegt der Eingang der Schachthöhle bei der Schmiedtquelle (grüner Pfeil). Der Höhlenverlauf folgt einer steilstehenden Störung (gelber Pfeil), die eine ältere Spalte mit Sedimentfüllung reaktivierte, in der bohnerzführende Sedimente erhalten geblieben sind.

C: Verbruch prägt den C.-Schiffer-Dom in der Schachthöhle bei der Schmiedtquelle. D: Blick annähernd vertikal nach unten auf den Schnee-/Firnkegel im Herbert-Kuntscher-Eisschacht.

Fig. 5: Caves at Guffert.

A: The Guffert-Eisschacht has a longitudinal oval opening through which snow can enter the cave directly. The top of the snow/firn cone (yellow arrow) is about 15 m below ground level. Since autumn 2019, a weather station has been operating directly next to the shaft. B: At the lowest point of a small doline is the entrance to the Schachthöhle bei der Schmiedtquelle (green arrow). The course of the cave follows a steep fault (yellow arrow), which reactivated an older fissure with sediment filling, in which bean ore-bearing sediments are preserved.

C: Breakdown characterises the C.-Schiffer-Dom in the Schachthöhle bei der Schmiedtquelle.

D: View almost vertically downwards to the snow/firn cone in the Herbert-Kuntscher-Eisschacht.

Fotos: Christoph Spötl (A, B, D), Tanguy Racine (C)

### Donnerschacht 1262/8

Sh 1814 m, L 48 m, H 34 m

Die Schachtöffnung (ca. 3 x 4 m) liegt versteckt in den Latschen und führt, sich etwas weitend, 15 m auf einen kleinen Zwischenboden, von wo es nochmals 19 m bis zum Schachtgrund geht. Hier beginnt ein niedriger 12 m langer Horizontalgang mit Sinterbildungen.

### Guffert-Eisschacht 1262/9

Sh 1816 m, L 139 m, H 41 m

An einer annähernd NNW-SSE-verlaufenden, steil stehenden Störung öffnet sich diese Höhle, die in

rund 15 m Tiefe die Obergrenze eines großen Schnee-/Firn-/Eiskörpers aufweist (Abb. 5A). Richtung NNW führt eine enge, steile Felsrampe zu einem zweiten Eingang hinauf. Am Ostrand des Schnee-/Firn-/Eiskörpers öffnet sich im Sommer und Herbst ein Eisschacht, in dem man 22 m auf einen Schuttboden abseilt. Von dort kann man im Herbst je nach Schneelage noch einige Meter Richtung Westen weiter absteigen und gelangt so an die westliche Basis des Eiskörpers. In den letzten Jahren öffneten sich im Spätsommer und Herbst weitere Randklüfte, sodass es in Bälde möglich sein wird, weitere Teile der Höhle zu erkunden.

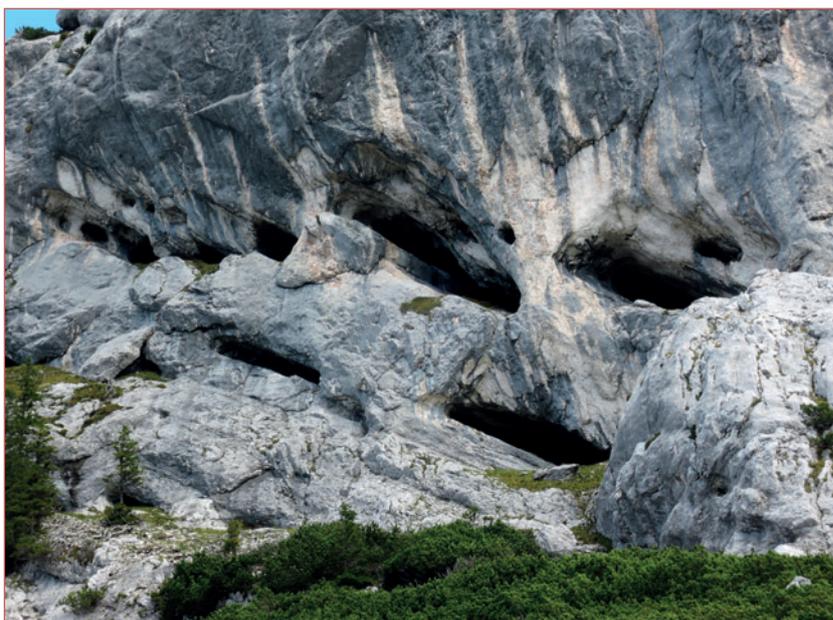


Abb. 6: Auswitterungshalbhöhlen parallel zur Schichtung an der Südflanke des Guffert.

Fig. 6: Weathering half-caves on the southern flank of Guffert.

Foto: Christoph Spötl

### **Schachthöhle bei der Schmiedtquelle 1262/10** Sh 1842 m, L 91 m, H 45 m

Wie der Guffert-Eisschacht, so entstand auch die Schachthöhle bei der Schmiedtquelle entlang einer NNW–SSE-verlaufenden Störung (Abb. 5B). Der enge Eingang liegt am tiefsten Punkt einer Doline und führt mit rund 45° über die *Rolltreppe* zu einem Steilabbruch, der eine WSW-ENE-streichende senkrecht stehende Störung nachzeichnet. 10 m tiefer befindet man sich im einzigen großen Raum dieser Höhle, dem *C.-Schiffer-Dom* (Abb. 5C). Abgesehen von einem noch nicht erkletterten Kamin und einer kurzen engen Unterlagerung (*Blinddarm*) weist die Halle keine Fortsetzungen auf. Große Versturzböcke prägen die im Mittel rund 10 m hohe Halle. Die Ostwand wird von einer großen, steil ostfallenden Harnischfläche gebildet.

### **Regenloch bei der Schmiedtquelle 1262/14**

Sh 1842 m, L 72 m, H 8 m

Es handelt sich um eine oberflächennahe Höhle, die sich entlang der Schichtung im Wettersteinkalk, der hier nach SSE fällt, gebildet hat. Der Boden ist schutt-

bedeckt und an einer Stelle gibt es zeitweise einen kleinen Wasserfall.

### **Herbert-Kuntscher-Eisschacht 1262/17**

Sh 1932 m, L 132 m, H 53 m

Dieses höchstgelegene Objekt liegt am Oberrand der Latschenzone und seine Anlage folgt einer NNW–SSE-verlaufenden, senkrecht stehenden Störung. Man seilt sich ca. 20 m zum Oberrand eines Schnee-/Firn-/Eiskörpers ab (Abb. 5D), dessen Oberfläche nach Osten steil abfällt. Nach Süden kann man entlang einer eisfreien Rampe in die *Schichtfugenkammer* hochsteigen, die von Verbruch geprägt ist und bis knapp unter die Oberfläche reicht. Am Südrand des Eiskörpers kann man im Herbst je nach Schneelage abseilen und erreicht einen schuttbedeckten Schachtgrund ohne Luftzug (Spötl & Racine, 2021).

Der Vollständigkeit halber seien noch die auffallenden Auswitterungshöhlen z.B. oberhalb des Steiges zu erwähnen, der von Süden auf die Guffertspitze führt (Abb. 6). Diese sind schichtparallel im gut gebankten Wettersteinkalk der Lagunenfazies angelegt. Einige wurden bereits vermessen, ein Bericht ist in Vorbereitung.

## **HÖHLESEDIMENTE**

Neben allgegenwärtigem Versturzmateriale und scharfkantigem Frostschutt finden sich auch feinklastische Sedimente. So führt die Schachthöhle bei der Schmiedtquelle Sand, und in dieser wie auch in der Fritzhöhle sind lokal Lehmlagerungen vorhanden.

Besonderes Augenmerk verdienen Konglomerate, deren sandige Matrix auffallend braun ist und die in der *Rolltreppe* in der Schachthöhle bei der Schmiedtquelle an einer NNW-SSE-streichenden Störung, die mit 60° nach NE einfällt (Abb. 7), auftreten. Untersuchungen haben ergeben, dass diese Gesteine keine tektonische



Abb. 7: Braune bohnerzführende Sedimente (gelbe Pfeile) finden sich als Spaltenfüllung entlang einer Störung im oberen Teil der Schachthöhle bei der Schmiedtquelle.  
 Fig. 7: Brown sediments containing bean ore (yellow arrows) are found as fissure fill along a fault in the upper part of the Schachthöhle bei der Schmiedtquelle.  
 Foto: Christoph Spötl

Brekzie, sondern eine ehemalige Spaltenfüllung sind. So finden sich in Dünnschliffen dieser Gesteine sedimentäre Gefüge wie Lamination, Schrägschichtung und erosive Sedimentationsgrenzen, aber keine Deformationsgefüge. Die kaffeebraune Matrix ist karbonatisch, bestehend aus mikritischen und größeren Lagen. Ganz vereinzelt finden sich kleine eckige Quarzkörner (Siltkorngröße); etwas häufiger sind meist etwa 50 µm lange Hellglimmerblättchen. In diesem detritischen Karbonat – ehemals feinkörniger Kalkschlamm – sind lagenweise Bohnerze sowie stärker verwitterte rostige Komponenten eingebettet, die bis zu 3 cm Durchmesser erreichen, meist aber zwischen etwa 0,5 und 1 cm messen (Abb. 8). Bei letzteren handelt es sich um verwitterte Bohnerze. Zudem finden sich ähnlich große eckige Klaster aus hellem Karbonatgestein, wohl vom umgebenden Wettersteinkalk. Stellenweise sind die feingeschichteten Lagen zerbrochen und durch Kalzit zementiert. Auch in der Fritzhöhle treten vergleichbare reliktsch braune karbonatische Gesteinsreste auf, die jedoch keine Bohnerze führen. Oberflächlich wurden diese



Abb. 8: A: Konglomerat bestehend aus metallisch glänzenden Bohnerzkörnern und matt-rostig wirkenden, stärker verwitterten Bohnerzen aus der Schachthöhle bei der Schmiedtquelle. B: Bohnerz aus demselben Vorkommen. Länge des Kornes 32 mm.  
 Fig. 8: A: Conglomerate consisting of metallic, shiny grains of bean ore and more weathered bean ores with a matt-rusty appearance from the Schachthöhle bei der Schmiedtquelle. B: Bean ore from the same deposit. Length of the grain 32 mm.  
 Fotos: Christoph Spötl

Spaltenfüllungen nicht beobachtet, was angesichts deren leichter Verwitterbarkeit nicht überrascht. Bohnerze sind Relikte des Tertiärs, als die Nördlichen Kalkalpen eine geringere Höhe aufwiesen und intensive chemische Verwitterung herrschte. Da sie chemisch sehr stabil sind, finden Bohnerze sich als Zeugnisse dieser längst vergangenen Zeiten an erosionsgeschützten Stellen, bevorzugt in Höhlen (umgelagert), Karstspalten und Dolinen (z.B. Seemann, 1979). In den zentralen und östlichen Kalkalpen kommen sie zusammen mit den als Augensteine bekannten gut gerundeten Quarzkiesen vor, die ihrerseits im Tertiär von Flüssen aus den Zentralalpen über die Nördlichen Kalkalpen Richtung Norden transportiert wurden (Frisch et al., 2002). In den Proben aus der Schachthöhle bei der Schmiedtquelle wurden keine Augensteine gefunden. Die westlichsten größeren Vorkommen derselben liegen im Steinernen Meer (Langenscheidt, 1992; Mester & Haserodt, 1994), auf der Reiteralp (Wisshak & Jantschke, 2010) und am Hochkönig (Goldberger, 1955). Vereinzelt Funde gibt es in den Leoganger Steinbergen (Stingl, 1990), im



Abb. 9: Beispiele für Speläotheme in der Fritzhöhle. **A:** Teilweise korrodierter Wandsinter. **B:** Gebänderter, erosiv gekappter Wandsinter, der laut Datierung mehr als 600 ka alt ist. Anfang Dezember 2016 wuchsen auf ihm Eisstalagmiten.

*Fig. 9: Examples of speleothems in Fritzhöhle. A: Partially corroded wall flowstone. B: Banded, erosively capped flowstone, dated to more than 600 ka. Ice stalagmites were growing on it in early December 2016.*

Fotos: Tanguy Racine (A), Christoph Spötl (B)

Wilder Kaiser (Leuchs, 1924; Mutschlechner, 1953; Zerbes, 2001), Niederkaiser (Zerbes, 2001) und Zahmen Kaiser (Pichler, 1962; Zerbes, 2001). In den Brandenberger Alpen und westlich davon gibt es bislang keine Nachweise von Augensteinen. Die Kluffüllung am Guffert ist das westlichste Vorkommen von umgelagerten Bohnerzen, sieht man von zwei kleinen Vorkommen in den Kalkkögeln südlich von Innsbruck ab, wo Bohnerze am Gipfelplateau der Nockspitze (Mutschlechner, 1962) und in Sedimenten der Nordeck-Kluffhöhle (2341/1) vorkommen (Mutschlechner, 1983, 1992; Spötl, 2016b).

Speläotheme treten in geringer Häufigkeit in fast allen Höhlen am Guffert auf; sie sind ausschließlich inaktiv und oft bereits in Zerstörung begriffen. Die sinterreichste Höhle ist die Fritzhöhle. Hier treten Wandsinter auf, die bereits deutliche Korrosionsspuren aufweisen (Abb. 9). Im rückwärtigen Teil sind ehemalige Sinterböden bis auf schmale Leisten an den Wänden komplett ausgeräumt worden. An wenigen Stellen tritt inaktive Bergmilch auf. In der Schachthöhle bei der Schmiedtquelle finden sich vereinzelte dünne Sinterüberzüge im *C.-Schiffer-Dom*. Sie sind inaktiv. Ähnlich ist die Situation im Eissschacht, soweit der große

Tabelle 1: Uran-Thorium-Altersbestimmungen an Speläothemen aus Höhlen am Guffert durchgeführt im Labor in Xian, China. Die Alterswerte beziehen sich auf das Jahr 1950 n. Chr.

Table 1: Uranium-Thorium dates of speleothems from the Guffert measured in the laboratory in Xian, China. Ages are reported as BP, i.e. before the year 1950 AD.

Probe	<sup>238</sup> U (ppb)	<sup>232</sup> Th (ppt)	<sup>230</sup> Th/ <sup>232</sup> Th (x10 <sup>-6</sup> )	δ <sup>234</sup> U (gemessen)	<sup>230</sup> Th/ <sup>238</sup> U (Aktivität)	<sup>230</sup> Th Alter (ka) (unkorr.)	δ <sup>234</sup> U <sub>initial</sub> (korr.)	<sup>232</sup> Th Alter (ka BP) (korr.)
<i>Herbert Kuntscher Eisschacht</i>								
GU10	14,9±0,0	8146±163	34±1	61,0±11,8	1,1235±0,0126			>600
<i>Guffert Eisschacht</i>								
GU7	34,9±0,0	853±17	689±14	18,8±1,8	1,0213±0,0043	573±116	95±37	572±115
GU8	52,9±0,1	5521±111	163±3	19,3±1,7	1,0302±0,0038			>600
GU9	34,2±0,0	3414±68	178±4	52,2±2,0	1,0738±0,0044			>600

Tabelle 2: Uran-Thorium-Altersbestimmungen an Speläothemen aus Höhlen am Guffert durchgeführt im Labor in Mainz. Die Alterswerte beziehen sich auf das Jahr 1950 n. Chr.

Table 2: Uranium-Thorium dates of speleothems from the Guffert measured in the laboratory in Mainz. Ages are reported as BP, i.e. before the year 1950 AD.

Probe	<sup>238</sup> U (µg/g)	<sup>232</sup> Th (ng/g)	<sup>234</sup> U/ <sup>238</sup> U	<sup>230</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>230</sup> Th Alter (ka) (unkorr.)	<sup>230</sup> Th Alter (ka) (korr.)
<i>Schachthöhle bei der Schmiedtquelle</i>						
GU3	0,0240±0,0002	3,19±0,03	1,1533±0,0062	1,152±0,019	343 +41/-30	341 +42/-31
GU 4	0,0349±0,0002	2,38±0,02	1,1813±0,0055	1,230±0,011	447 +65/-42	446 +69/-42
<i>Fritzhöhle</i>						
GU 5	0,0229±0,0002	29,6±0,3	1,0641±0,0179	1,193±0,056	>500	>500
GU 6-1	0,0232±0,0002	2,14±0,02	1,0282±0,0038	1,085±0,010	>500	>500
GU 6-2	0,0167±0,0001	0,49±0,01	1,0110±0,0043	1,128±0,018	>500	>500

Eiskörper Einblicke in mögliche Versinterungen erlaubt. Bruchstücke einst ausgedehnter Bodensinter wurden auf jener Rampe gefunden, die steil vom Top des Firn-/Eiskörpers nach NNW hinaufzieht. Im Herbert-Kuntscher-Eisschacht weist die westseitige Höhlenwand des *Eisschachts II* eine alte, inaktive Wandversinterung auf. Weiters wurden Überreste von einem bis zu etwa 15 cm dicken Bodensinter im obersten Teil der *Schichtfugenkammer* gefunden, bereits knapp unter der Erdoberfläche.

Neun Sinterproben wurden mit der Uran-Thorium-Methode altersbestimmt. Die Obergrenze dieser Methode liegt je nach Probenbeschaffenheit und Güte des Labors bei etwa 500–700 ka (ka = 1000 Jahre). Bei allen analysierten Proben handelt es sich um inaktive kalzitische Bodensinter, die meist bereits im Stadium der beginnenden Zerstörung sind. Das spricht für ein hohes Alter jenseits einiger hunderttausend Jahre. Tatsächlich ergaben auch die Messungen vielfach Alter größer als etwa 500–600 ka. Gemeinsam haben alle Proben einen geringen Urangehalt von meist nur wenigen Zehner-ppb, der die Qualität der Messungen negativ beeinflusst.

Drei Bodensinterproben wurden im Guffert-Eisschacht entnommen; es sind Fragmente, die auf der steilen Rampe gefunden wurden, die vom Top des Firn-/Eiskörpers nach NNW hinaufzieht. Zwei Proben sind älter als 600 ka, eine dritte ergab ein finites Alter von rund 572 ka; ob des sehr großen Messfehlers interpretieren wir auch dieses Alter als >500 ka (Tab. 1). Auch eine Probe eines recht dicken Bodensinters aus der *Schichtfugenkammer* des Herbert-Kuntscher-Eisschachts ergab > 600 ka.

Drei Proben aus der Fritzhöhle lieferten übereinstimmend Werte von älter als 500 ka. Darunter waren u.a. ein kristalliner Kalzit einer fast vollständig erodierten Sinterdecke, sowie eine Probe eines fast 10 cm dicken, zum Teil bereits erodierten Wandsinters (Abb. 9B, Tab. 2). Die relativ jüngsten Alter ergaben zwei Proben aus der Schachthöhle bei der Schmiedtquelle. In beiden Fällen wurden Bodensinter datiert, die auf Blöcken wuchsen, die von Deckenbrüchen stammen. Auch wenn die Messfehler beträchtlich sind, indizieren die beiden Proben eine Sinterwachstumsphase um 446 ka und eine jüngere um 341 ka (Tab. 2).

## HÖHLENKLIMA

Da alle bekannten Höhlen im Gebiet aufgrund ihrer abfallenden Geometrie zumindest zeitweise als Kältefallen der Winterluft fungieren, tritt eingangsnah meist saisonales Eis auf.

In drei der Höhlen wurde die Lufttemperatur mittels Datenlogger gemessen. Aufgrund der Seehöhe würde für diese Höhlen eine stabile Lufttemperatur im Höhleninneren von etwa 2,2–2,4 °C erwartet (Spötl & Pavuza, 2016). In der Fritzhöhle wurde ein Temperaturlogger in der am weitesten vom Eingang entfernten westlichsten Kammer oben in einer Nische für etwas

weniger als ein Jahr installiert. Die Messwerte zeigen, dass es dort nie kälter als 2,0 °C wird und die Jahresmitteltemperatur bei etwa 3,2 °C liegt. Ganz offensichtlich kommt in dieser Endkammer der Backofen-Effekt (Spötl & Pavuza, 2016) zum Tragen, der diesen Höhlenabschnitt vor dem Eindringen kalter Winterluft abschirmt. Umgekehrt treten zwischen Juli und September kurze Temperaturspitzen auf, die 5,6 °C erreichen (Abb. 10). Zu diesen Zeiten sank offensichtlich die in dieser Kammer befindliche relativ kältere Luft nach unten ab und wurde durch wärmere Luft ersetzt. Der

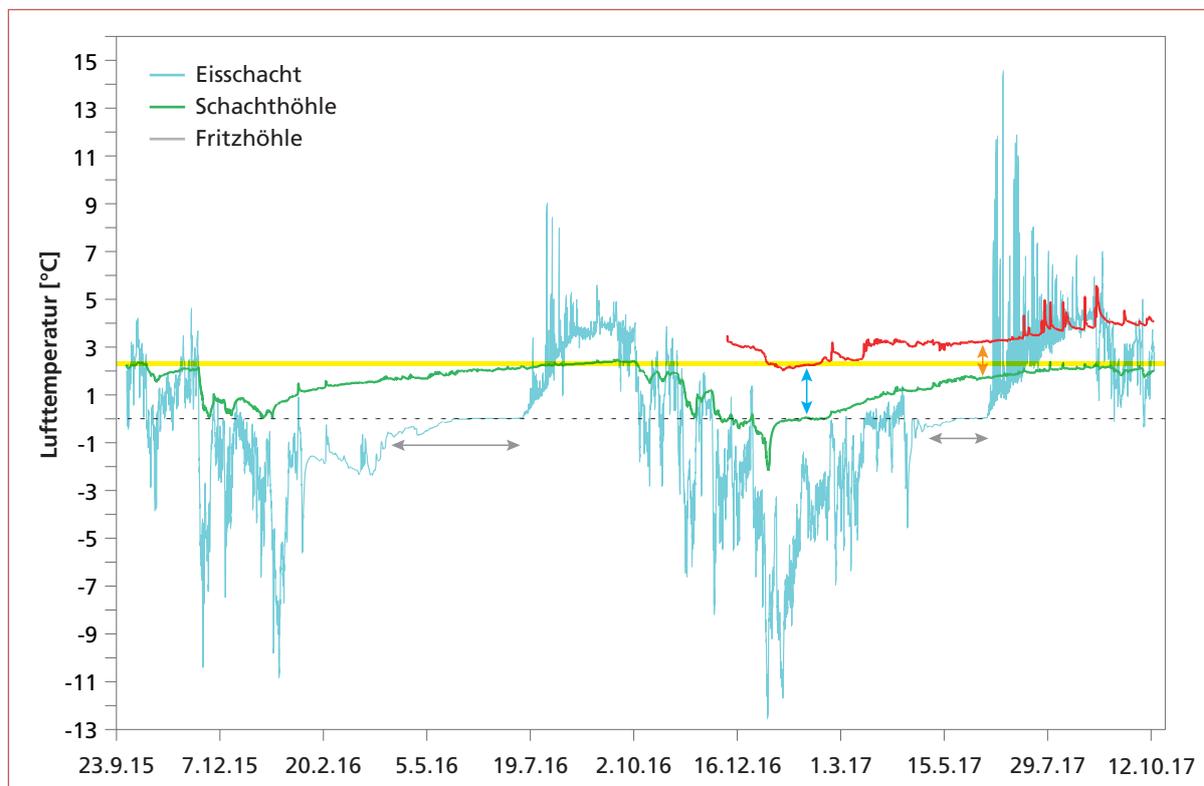


Abb. 10: Verlauf der Lufttemperatur in drei Höhlen am Guffert. Der C.-Schiffer-Dom in der Schachthöhle bei der Schmiedtquelle folgt stark gedämpft dem Temperaturverlauf des Guffert-Eisschachts im Herbst und Frühwinter und ist ab spätestens Mitte Jänner vom Wettergeschehen entkoppelt, da der Eingang mit Schnee verschlossen ist. Er erreicht im Herbst die für diese Seehöhe zu erwartende Jahresmitteltemperatur (hellgelbe Linie). Die rückwärtige Kammer in der Fritzhöhle zeigt einen ganz ähnlichen Temperaturverlauf; wobei der markante Temperaturunterschied zum C.-Schiffer-Dom der Schachthöhle von 1,5 °C im Sommer (oranjer Doppelpfeil) bis 2,2 °C im Winter (blauer Doppelpfeil) durch die unterschiedliche Geometrie der beiden Höhlenteile erklärt werden kann (Backofentyp vs. teilweise Kältefalle). Im Gegensatz dazu stellt der Guffert-Eisschacht ein im Winter gänzlich offenes System dar, während er im Sommer thermisch vom Außengeschehen abgekoppelt ist. Aufgrund der großen Öffnung kann die Sonnenstrahlung zur Mittagszeit zu anomal hohen Werten am Messgerät führen. Die beiden grauen horizontalen Doppelpfeile markieren Zeiten, in denen das Messgerät an der Felswand im Guffert-Eisschacht unter Schnee/Eis begraben lag. Die strichlierte schwarze Linie ist die Nullgradlinie.

Fig. 10: Course of the air temperature in three caves on the Guffert. The C.-Schiffer-Dom in the Schachthöhle bei der Schmiedtquelle follows the temperature course of the Guffert-Eisschacht in autumn and early winter in a strongly damped manner and is decoupled from the weather from mid-January at the latest, as the entrance is closed with snow. In autumn it reaches the annual mean temperature expected for this altitude (light yellow line). The rear chamber in the Fritzhöhle shows a very similar temperature curve; the striking temperature difference to the C.-Schiffer-Dom of the Schachthöhle of 1.5 °C in summer (orange double arrow) to 2.2 °C in winter (blue double arrow) can be explained by the different geometry of the two cave parts (baking oven type vs. partial cold trap). In contrast, the Guffert-Eisschacht is a completely open system in winter, while the cave is thermally isolated from the outside in summer. Due to the large opening solar radiation at midday can lead to anomalously high values on the measuring device. The two grey horizontal double arrows mark times when the measuring device was buried under snow/ice on the rock face in the ice shaft. The dashed black line is the zero degree line.

vordere Teil der Höhle fungiert aufgrund der abfallenden Geometrie hingegen als Kältefalle, wie Eisstalagmiten und -stalaktiten sowie Kammeis am Lehm-boden bereits Anfang Dezember 2016 belegt. Zu diesem Zeitpunkt hatte es in der westlichsten Kammer noch 3 °C (Abb. 10). Interessanterweise wurden überwinterte Zackeneulen und Höhlenspanner selbst wenige Zentimeter neben dem saisonalen Eis gefunden.

In der Schachthöhle bei der Schmiedtquelle wurde im *C.-Schiffer-Dom* über etwa 2 Jahre die Lufttemperatur aufgezeichnet. Der Logger hing seitlich an einem großen Versturzbloch. Nicht überraschend fungiert diese Halle im Winter als Kältefalle. Es werden Temperaturen um den Gefrierpunkt erreicht. Dies konnte bei einer Befahrung Anfang Dezember 2016 belegt werden; damals war der 10-m-Abbruch vereist und Felsen am Boden des Doms waren mit einer dünnen Eisglasur überzogen. Interessant ist, dass die Wintertemperatur, von einer kurzen Phase um den 7.1.2017 abgesehen, die Nullgradgrenze nicht unterschreitet. Der Grund ist naheliegend: Sobald der enge Eingang der Höhle zugeschneit ist, kann kaum mehr kalte Winterluft einsinken. Am 7.1.2017 dürfte der Eingang kurze Zeit offen gewesen sein und die einfließende Kaltluft führte zu -2,2 °C im *C.-Schiffer-Dom* (Abb. 10). Dieses Ereignis wurde auch im Guffert-Eisschacht am gleichen Tag aufgezeichnet (s.u.). Ansonsten zeigen die Daten, dass spätestens ab Mitte Jänner eine stabile Schneedecke über dem Eingang der Schachthöhle liegt. Der *C.-Schiffer-Dom* erwärmt sich in diesen Monaten langsam hin zu dem für diese Seehöhe zu erwartenden Wert von knapp über +2 °C (Abb. 10). Sommerliche Warmluft kann in diese Halle nicht eindringen; anders

formuliert: Die Messdaten belegen, dass es keinen zweiten (tieferen) Eingang gibt. Mit den ersten kalten Tagen in der ersten Oktoberhälfte endet die thermisch stabile Luftschichtung in diesem Dom und das spätherbstliche bis frühwinterliche Bewetterungsregime setzt ein.

Über ebenfalls zwei Jahre zeichnete ein Logger an der westlichen Felswand knapp über dem Schnee-/Firn-/Eiskegel des Guffert-Eisschachts die dortige Lufttemperatur auf. Erwartungsgemäß zeigen die Daten eine klare Zweiteilung des Jahres in ein offenes System zwischen Anfang/Mitte Oktober und etwa März und eine stabile Kaltluftschichtung zwischen etwa Juni und Ende September. In der Zeit dazwischen dürfte der Logger zumindest großteils unter Schnee und/oder Eis gelegen sein, denn die Lufttemperatur weist auffallend geringe Schwankungen auf. Sie lag vom 22.5. bis 13.7.2016 und vom 19.5. bis 16.6.2017 bei  $0,0 \pm 0,1$  °C. Das ist ein Hinweis, dass Schnee und/oder Eis rund um den Logger zu tauen begann (Abb. 10). Im Gegensatz zum *C.-Schiffer-Dom* in der Schachthöhle kann die Kaltluft im Winter ungehindert in den Guffert-Eisschacht absinken und dort die Wände abkühlen. Bei dem Ereignis am 7.1.2017, das zu einer Abkühlung am Grund des *C.-Schiffer-Doms* auf -2,2 °C führte, wurde im Guffert-Eisschacht der deutlich niedrigere Wert von -12,6 °C gemessen (Abb. 10). Interessant sind auch die kurzen positiven Temperaturspitzen im Sommer, die immer wieder Werte von knapp über +10 °C erreichten. Solche Lufttemperaturen sind für eine Eishöhle deutlich zu hoch. Tatsächlich handelt es sich dabei um Tage, an denen die Sonnenstrahlung zu Mittag den Logger erreichte und diesen kurzfristig erwärmte.

## HÖHLENEIS

Eine Besonderheit dieses kleinen Karstgebietes ist das Vorkommen von zwei Schachthöhlen mit perennierendem Höhleneis. Im Fall des Guffert-Eisschachtes liegt ein rund 25 m mächtiger Schnee-/Firn-/Eiskörper vor; im Fall des Herbert-Kuntscher-Eisschachts ist dieser etwa 34 m mächtig. Im Rahmen eines seit 2019 laufenden und vom Wissenschaftsfonds finanzierten Forschungsprojektes finden an beiden Höhlen Untersuchungen einerseits zur Altersstruktur des Eises, andererseits zur Mikrometeorologie und zum Eishaushalt statt. Zu diesem Zweck wurden sowohl in den beiden Höhlen als auch außerhalb Messstationen aufgebaut, die seit Herbst 2019 (Guffert-Eisschacht) bzw. Herbst 2020 (Herbert-Kuntscher-Eisschacht) in Betrieb sind.

Das Alter des Eises wird anhand von Radiokarbon-Messungen an pflanzlichen Resten bestimmt bzw. eingegrenzt. Während über das Alter des Eises im Herbert-Kuntscher-Eisschacht aufgrund der Seltenheit an organischen Resten bislang noch keine Informationen vorliegen, sprechen die Daten aus dem Guffert-Eisschacht dafür, dass der allergrößte Teil des Eiskörpers etwa zwischen dem 11. und 17. Jahrhundert entstanden ist und somit im Wesentlichen in den Klimaabschnitt der sogenannten „Kleinen Eiszeit“ fällt. Der unterste Teil des Eiskörpers, der deutlich reicher an organischen Einschlüssen und offensichtlich kondensiert ist, ist deutlich älter (römerzeitlich). Über die Ergebnisse dieser laufenden Forschungen der Universität Innsbruck wird an anderer Stelle berichtet werden.

## HYDROGEOLOGIE

Keine der bislang bekannten Höhlen ist hydrologisch aktiv. Der einzige Quellaustritt im Karstgebiet, die Schmiedtquelle, ist ein Rinnsal, das schichtparallel austritt. Das Kalkmassiv des Guffert entwässert primär Richtung Süden, kontrolliert durch das generelle Südeinfallen des Wettersteinkalks und das Vorkommen der kaum wasserdurchlässigen Gesteine der Nordalpinen Raibler Schichten, die strukturell bedingt nördlich des Guffert in meist überkippter Lagerung höher liegen als südlich davon. Abgesehen von zwei Quellen bei der Unteren und Oberen Bergalm am Westfuß des Guffert, Quellen bei der Issalm nördlich des Guffert und Quellen beim Obinger Moos, ist der Hauptwasseraustritt jener der Pulverermühlquelle. Diese auf 1053 m gelegene, gefasste Hangschuttquelle wird zur Trinkwasserversorgung der Gemeinde Steinberg am Rofan genutzt. Die Pulverermühlquelle ist seit 1999 als Messstelle ausgebaut und wird vom Hydrographischen Dienst Tirol betreut. Das Messwehr des Quellbachs befindet sich rund 100 m unterhalb des künstlich gefassten Quellaustritts. Der Basisabfluss beträgt rund 30 l/s im Spät-

herbst und Frühwinter und steigt Ende Mai schneeschmelzbedingt auf bis zu etwa 150 l/s an (Abb. 11). Während dieser Phase zeigt die Schüttung in manchen Jahren ausgeprägte Tageszyklen (Abb. 12), wobei das Schüttungsmaximum zwischen etwa 18:00 und 22:00 auftritt. Diese Tageszyklen finden sich analog in der elektrischen Leitfähigkeit. Die Verzögerung zwischen Maximum der tageszeitlichen Quellschüttung und Minimum der Leitfähigkeit beträgt nur wenige Stunden, was für eine entsprechend geringe Verweildauer des Wassers im Untergrund zur Zeit des höchsten jahreszeitlichen Wassereintrags spricht.

Schüttungsspitzen im Sommer und Herbst korrelieren mit Regenfällen, wobei die zeitliche Verzögerung zwischen Niederschlagsmaximum (gemessen in Steinberg) und Schüttungsmaximum meist zwischen etwa 12 und 24 Stunden beträgt (Abb. 12). Die Verzögerung zwischen letzterem und dem entsprechenden Minimum der Leitfähigkeit variiert zwischen etwa 2 und 8 Stunden und ist tendenziell etwas größer als die analoge Verzögerung während der Schneeschmelze.

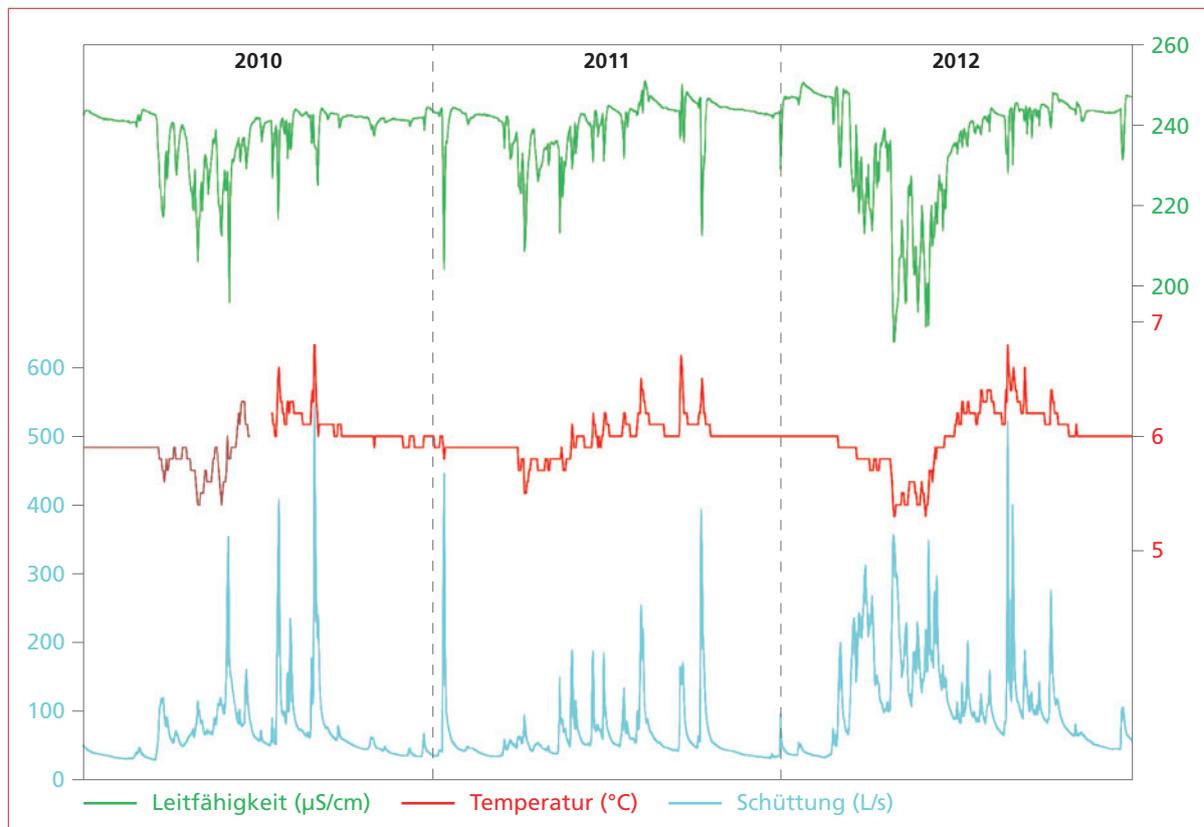


Abb. 11: Ganglinien von Schüttung, Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit an der Messstelle der Pulverermühlquelle im Zeitraum 2010 bis 2012.

Fig. 11: Hydrographs of discharge, temperature and electrical conductivity at the Pulverermühlquelle monitoring site from 2010 to 2012.

Schüttungsspitzen erreichen etwa  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , im Extremfall  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Werte über etwa  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  sind mit Vorsicht zu betrachten, da der Quellfluss dann Wildbachcharakter aufweist und die Wasserstandsaufzeichnung entsprechend unruhig ist (schriftl. Mitt. G. Mair, Amt der Tiroler Landesregierung, Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie).

Die Wassertemperatur zeigt jahreszeitliche Zyklen mit einer Amplitude von etwa  $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Das Minimum während der Schneeschmelze wird gefolgt von einem graduellen Anstieg, auf dem einzelne Spitzen sitzen, die mit regenbedingten Schüttungsmaxima korrelieren (Abb. 12). Im Spätherbst und Winter weist die Quelle eine stabile Temperatur von  $6,0 \text{ }^\circ\text{C}$  auf. Im Zeitraum 2009-2020 änderte sich dieser Wert nicht.

Die elektrische Leitfähigkeit zeigt einen recht stabilen und hohen Grundwert von rund  $240 \text{ } \mu\text{S}/\text{cm}$ . Jedes größere Niederschlagsereignis im Einzugsgebiet, das zu

einem Schüttungsanstieg führt, verursacht zwar eine kurzzeitige Abnahme der Leitfähigkeit (Abb. 12). Doch selbst während der Hauptphase der Schneeschmelze sinkt dieser Wert meist nur um etwa 15 % ab, im Extremfall um etwa 25 % (Abb. 11). Dieser geringe Schwankungsbereich ist untypisch für alpine Karstquellen. Der Schüttungskoeffizient (das Verhältnis von maximaler zu minimaler Schüttung, auch als Schwankungsziffer bezeichnet) beträgt  $20 \pm 9$  (Spannbreite 8 bis 42; ermittelt jahresweise aus den Daten 2000 bis 2020). Je höher diese Zahl, desto höher die Schüttungsdynamik einer Quelle. Typische Karstquellen haben wesentlich höhere Werte, z.B. die Kläfferquellen (Hochschwab N-Rand) weisen einen Wert von 106 auf oder der Waldbach-Ursprung (Dachstein N-Rand) gar einen von 2108 (Benischke et al., 2016). Bezüglich der Schüttungsdynamik besitzt die Pulverermühlquelle somit keinen ausgeprägten Karstaquifer-Charakter.

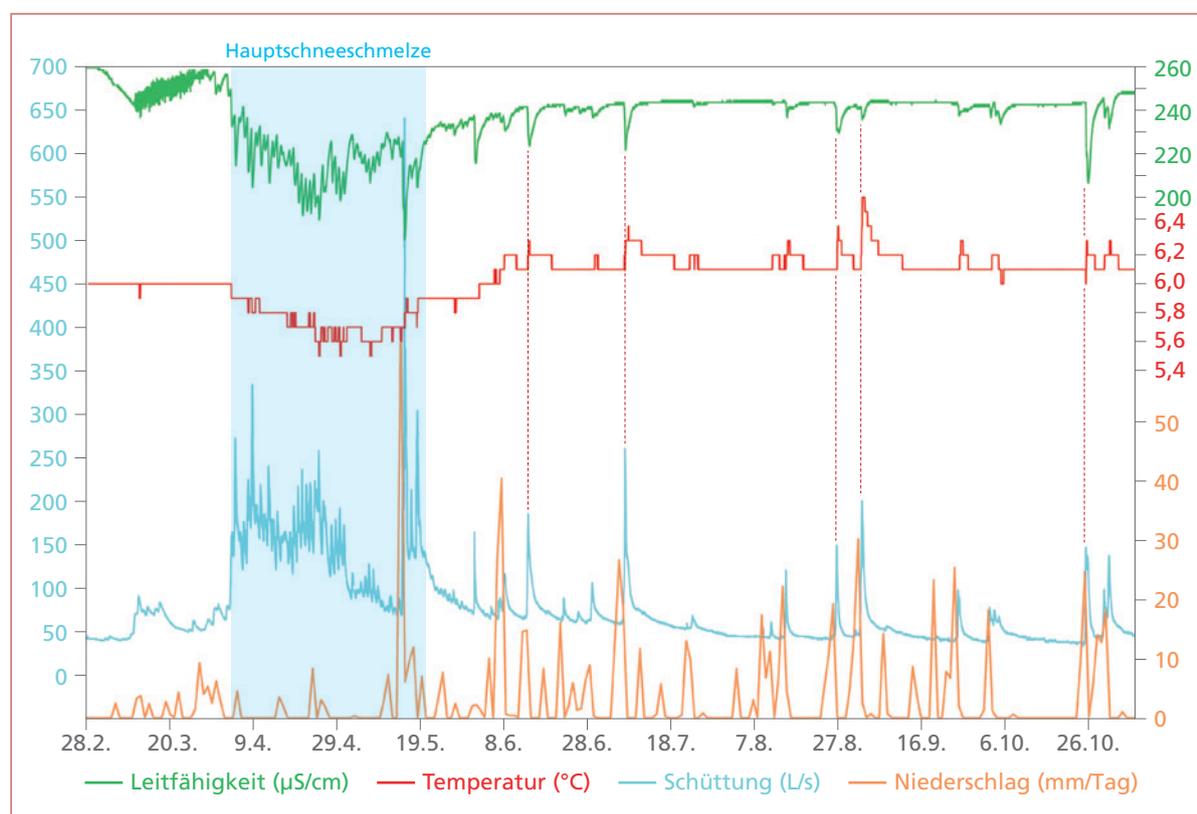


Abb. 12: Ganglinien der Pulverermühlquelle für den Zeitabschnitt Frühjahr bis Spätherbst des Jahres 2018 im Vergleich zum Niederschlag an der Messstation in Steinberg. Nach dem Schüttungsmaximum im April und Anfang Mai, das im Wesentlichen auf die Schneeschmelze im Einzugsgebiet zurückzuführen ist, treten im Sommer und Herbst Schüttungsmaxima immer als leicht verzögerte Folge von Niederschlagsereignissen auf. Die damit verbundenen Abnahmen der Leitfähigkeit und der geringfügige Anstieg der Wassertemperatur sind annähernd synchron mit den Schüttungsspitzen. Einige solche Ereignisse sind mit rot punktierten vertikalen Linien hervorgehoben.

Fig. 12: Hydrographs of the Pulverermühlquelle for the period from spring to late autumn of 2018 compared to precipitation at the station in Steinberg. After the maximum discharge in April and early May, which is mainly due to snowmelt in the catchment area, maximum discharge in summer and autumn always occurs as a slightly delayed consequence of precipitation events. The associated decrease in conductivity and the slight increase in water temperature occur almost synchronously with the peak discharge. Some events of this kind are highlighted with red dotted vertical lines.

Sauerstoffisotopenmessungen zeigen für den Zeitraum Oktober 2015 bis Oktober 2016 eine Jahresamplitude von 1,5 ‰, ähnlich wie auch die Quellen bei der Unteren und Oberen Bergalm, mit einem Minimum während der fröhsommerlichen Schneeschmelze und einem Maximum im Spätherbst (Flatscher, 2017).

## DANK

Der Gemeinde Steinberg und den ÖBF sei für die freundliche Genehmigung der Arbeiten am Guffert gedankt. Gerald Mair (Amt der Tiroler Landesregierung, Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie) stellte

Insgesamt ergibt sich das Bild eines vermutlich schichtgebundenen Karbonataquifers mit einer recht hohen Speicherfähigkeit, da sonst Temperatur und elektrische Leitfähigkeit stärker schwanken müssten. Die Lage der Pulverermühlquelle und die der Quellen im Obinger Moos dürfte mit Partnachsichten im Untergrund zusammenhängen (siehe Abb. 2).

hydrologische Daten zur Verfügung, F. Obleitner und M. Wind sei für Mitarbeit und Diskussion und R. Benischke und A. Wolf für die kritische Durchsicht des Manuskripts gedankt.

## LITERATUR

- Ampferer, O. (1907): Über Gehängebrekzien der Nördlichen Kalkalpen. – Jb. Geol. Reichsanstalt, 57: 727–752.
- Benischke, R., Stadler, H. & Völkl, G. (2016): Karstquellen. – In: Spötl, C., Plan, L. & Christian, E. (Hrsg.): Höhlen und Karst in Österreich. – Linz (Oberösterreichisches Landesmuseum): 73–96.
- Flatscher, S. (2017): Hydrogeologie des Guffert Massivs (Brandenberger Alpen, Tirol). – Unveröff. Masterarbeit Univ. Innsbruck, 157 S.
- Frisch, W., Kuhlemann, J., Dunkl, I., Székely, B., Vennemann, T. & Rettenbacher, A. (2002): Dachstein-Altfläche, Augenstein-Formation und Höhlenentwicklung – die Geschichte der letzten 35 Millionen Jahre in den zentralen Nördlichen Kalkalpen. – Die Höhle, 53: 1–37.
- Goldberger, J. (1955): Die Augensteinablagerungen am Hochkönig. – Verh. Geol. Bundesanstalt, 1955: 144–154.
- Gruber, A. & Brandner, R. (2012): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50000 Blatt 88 Achenkirch. – Wien (Geol. Bundesanstalt).
- Kuntscher, H. (2002): Schachthöhlen im Karwendel, Rofan und Wilden Kaiser. – Höhlenkundl. Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde Tirol, 54: 27–35.
- Langenscheidt, E. (1992): Höhlen und ihre Sedimente in den Berchtesgadener Alpen. – Nationalpark Berchtesgaden Forschungsbericht, 10: 1–95.
- Leuchs, K. (1924): Augensteinschotter im Kaisergebirge (Nordtirol). – Verh. Geol. Reichsanstalt, 1924: 201–204.
- Mester, T. & Haserodt, K. (1994): Augensteinvorkommen im Steinernen Meer und im Hagengebirge (Berchtesgadener Alpen). – Beitr. u. Materialien zur Regionalen Geogr., 7: 159–204.
- Miehlich, S., Schuller, A., Miehle, M. & Ronge, G. (2018): Höhlenforschung im Rofangebirge (Tirol). – Die Höhle, 69: 38–48.
- Mutschlechner, G. (1953): Bohnerz und Augensteine auf dem Kaisergebirge (Tirol). – Verh. Geol. Bundesanstalt, 1953: 226–233.
- Mutschlechner, G. (1962): Zur Geologie der Saile bei Innsbruck. – Veröff. Museum Ferdinandeum, 41: 37–47.
- Mutschlechner, G. (1983): Über Augensteine und Bohnerz in Tirol. – Höhlenkundl. Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde Tirol, Jg. 21, Folge 34: 8–9.
- Mutschlechner, G. (1992): Eine Höhle mit Augensteinen in den Kalkkögeln. – Höhlenkundl. Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde Tirol, Jg. 31, Folge 44: 3–5.
- Pichler, H. (1962): Bohnerz-Augenstein-Breccien auf dem Plateau des Zahmen Kaisers (Kaisergebirge, Tirol) – Verh. Geol. Bundesanstalt, 1962: 386–389.
- Seemann, R. (1979): Die sedimentären Eisenvererzungen der Karstgebiete der Nördlichen Kalkalpen. – Ann. Naturhist. Mus. Wien, 82: 209–289.
- Spötl, C. (2016a): Nordtiroler Kalkalpen. – In: Spötl, C., Plan, L. & Christian, E. (Hrsg.): Höhlen und Karst in Österreich. – Linz (Oberösterreichisches Landesmuseum): 477–488.
- Spötl, C. (2016b): Die Nordeck-Klufthöhle in den Kalkkögeln. – Höhlenkundl. Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde Tirol, Jg. 54, Folge 68: 10–14.
- Spötl, C. & Racine, T. (2021): Herbert Kuntscher Eisschacht am Guffert. – Höhlenkundl. Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde Tirol, J. 59, Folge 73: 38–41.
- Spötl, C. & Pavuza, R. (2016): Höhlenatmosphäre. – In: Spötl, C., Plan, L. & Christian, E. (Hrsg.): Höhlen und Karst in Österreich. – Linz (Oberösterreichisches Landesmuseum): 123–138.
- Stingl, V. (1990): Erste Augensteinfunde in den Leoganger Steinbergen. – Mitt. österr. geol. Ges., 82: 79–89.
- van Husen, D. (1987): Die Ostalpen und ihr Vorland in der letzten Eiszeit (Würm). – Karte 1: 500.000, Wien (Geol. Bundesanstalt).
- Wisshak, M. & Jantschke, H. (2010): Im Höhlenruinenniveau der Reiteralm (Berchtesgadener Alpen)? Beibelkareishöhle (1337/42) und Prünzlkopfhöhle (1337/57). – Die Höhle, 61: 39–47.
- Zerbes, D.H. (2001): Sedimentäre Anlage und tektonische Formung des Kaisergebirges. – Diss. TU München, München (Hieronymus).

## ZUSÄTZLICHE ELEKTRONISCHE DATEN



Unter dem Link [http://hoehle.org/?!=ed/2021\\_GF](http://hoehle.org/?!=ed/2021_GF) ist zusätzliches Material zu diesem Beitrag vorhanden: Die Pläne der folgenden Höhlen am Guffert: Fritzhöhle, Guffert-Eisschacht, Schachthöhle bei der Schmiedtquelle, Herbert-Kuntscher-Eisschacht.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 2021

Band/Volume: [72](#)

Autor(en)/Author(s): Spötl Christoph, Gruber Alfred, Racine Tanguy, Scholz Denis, Honiat Charlotte

Artikel/Article: [Karst und Höhlen am Guffert \(Nordtirol, Teilgruppe 1262\) 92-107](#)