

Verwitterungshöhlen in Gosau-Dolomitbrekzien bei Türrnitz (Niederösterreich)

ZUSAMMENFASSUNG

Nordwestlich von Türrnitz in den Kalk-Voralpen treten massige Dolomitbrekzien auf, die der kreidezeitlichen Gosau-Gruppe – vermutlich der Spitzenbach-Formation – zugordnet werden können. Dieses Gestein zeichnet sich durch bizarre Landschaftsformen mit gerundeten Felstürmen und Blöcken aus. Einzelne Gebilde erinnern an die Wollsack-Verwitterung der Granite in der Böhmisches Masse und eines, der Wackelstein, ist seit 1957 als Naturdenkmal geschützt.

Sechs Höhlen in diesen Gosaugesteinen werden erstmals dokumentiert. Die längste ist mit 92 m die Anthofgrotte, die sich entlang eines Bachlaufs ausgebildet hat. Bei der 56 m langen Felsenburg wird nur das unterste von drei Stockwerken vom Bach durchflossen. Ein erstaunliches Objekt ist die 11 m lange Felszahnfuge, die mehr als die Hälfte der Grundfläche einer knapp 25 m hohen abgeglittenen Felsformation unterlagert.

Aufgrund von Geländebeobachtungen, tektonischen Messungen und Gesteinsbeschreibungen werden die komplexen Entstehungsprozesse beschrieben, die zu den Höhlen und gerundeten Felsen geführt haben. Der bedeutendste Prozess ist das Abgleiten von Blöcken, das zur Überdeckung klammartiger Einschnitte entlang des Baches führt. Daneben spielt Frostverwitterung und gravitative Spaltbildung eine Rolle für die Ausbildung der Hohlräume. Exfoliation und Frostverwitterung scheint für die abgerundeten Gesteinsoberflächen der Blöcke ausschlaggebend zu sein. Verkarstung scheint nur eine untergeordnete Rolle zu spielen.

ABSTRACT

Weathering caves in Gosau dolomite breccias near Türrnitz (Lower Austria)

Massive dolomite breccias occur northwest of Türrnitz in the Calcareous Pre-Alps, which can be attributed to the Cretaceous Gosau Group, presumably the Spitzenbach Formation. This rock is characterised by bizarre landforms with rounded rock formations giving rise to towers and boulders. Some formations resemble woolsack (spheroidal) weathering of granite in the Bohemian Massif and one of them, the so-called Wackelstein, is a natural monument since 1957.

Within these rocks of the Gosau Group, six caves are documented for the first time. The longest is the 92 m-long Anthofgrotte, which formed along a small stream. At the 56 m-long Felsenburg only the lowest of three levels is crossed by the stream. An impressive cave is the 11 m-long Felszahnfuge, which underlies more than half of the base area of an almost 25 m-high rock formation, that slid down few metres.

Based on field observations, tectonic measurements and rock descriptions, the complex processes that led to the formation of the rounded rock surfaces and the caves are documented and discussed. The most important process is the sliding and creeping of boulders, leading to the covering of gorge-like cuts along the stream. In addition, frost weathering and gravitational crevices play an important role in the formation of the caves. Exfoliation and frost weathering seems to be essential for the rounded rock surfaces of the blocks. Karstification seems to be of minor importance.

Lukas Plan

Naturhistorisches Museum Wien,
Karst- und Höhlen-Arbeitsgruppe,
Museumsplatz 1/10, 1070 Wien
lukas@cave.at

Pauline Oberender

Naturhistorisches Museum Wien,
Karst- und Höhlen-Arbeitsgruppe,
Museumsplatz 1/10, 1070 Wien
pauline.oberender@nhm-wien.ac.at

Eva Kaminsky

Naturhistorisches Museum Wien,
Karst- und Höhlen-Arbeitsgruppe,
Museumsplatz 1/10, 1070 Wien
evaflorina.kaminsky@yahoo.de

Eingelangt: 6.6.2020
Angenommen: 7.7.2020

EINLEITUNG

Westlich von Türrnitz in den niederösterreichischen Voralpen sind kreidezeitliche Dolomitbrekzien der Gosau-Gruppe aufgeschlossen, in denen bizarre Landschaftsformen ausgebildet sind. In den Erläuterungen zur geologischen Karte erwähnte sie Spengler (1931: 72) folgendermaßen: „Die phantastischen Felstürme der Steinbachmauer westlich von Türrnitz bestehen aus Dolomitbreccien der Gosauschichten, welche dem Opponitzer Kalk aufgelagert sind.“ Einer der zahlreichen gerundeten Felsblöcke wurde zum Naturdenkmal erklärt und als „Wackelstein“ bezeichnet, fälschlicherweise aber als „Gesteinsaufschluss aus Jurakonglomeraten“ (Nummer: LF-061; BH-Lilienfeld, 1957). Die Verwitterungsformen erinnern frappant an markante Landschaftselemente in den Graniten der Böhmisches Masse. In diesen sind rund 160 Wollsackhöhlen und 60 Überdeckungshöhlen im Österreichischen Höhlenkataster verzeichnet. Die Entstehung dieser Granithöhlen wird vorwiegend der sogenannten Wollsackverwitterung zugeschrieben (Oberender & Plan, 2018; Plan & Oberender, 2016). Die Abgrenzung der Wollsackhöhlen zu den Überdeckungshöhlen beruht auf der zusätzlichen gravitativen Umlagerung der Blöcke

bzw. Wollsäcke. Die von einem Bach durchflossene und nur teilweise vermessene Obere (6845/127) und Untere (6845/128) Saubachlhöhle haben immerhin Längen von je einigen 100 m.

Eigenartigerweise blieben bisher zwei Mittelhöhlen in den Dolomitbrekzien bei Türrnitz unbeachtet, obwohl Teile der einen als Andachtsstätte fungieren und mit Wegweisern auf sie hingewiesen wird. Diese zwei Höhlen sind die entlang eines Bachlaufs entwickelte Anthofgrotte (1837/75) mit 92 m Länge und die stockwerkartig ausgebildete 57 m lange Felsenburg (1837/76). Weitere drei Kleinhöhlen wurden in diesem Bereich aufgenommen. Vom 200 m westlich gelegenen und seit den 1920er Jahren bekannten, 11 m langen Fuchsloch (1837/6) wurde bisher nicht erwähnt, dass es in Dolomitbrekzien entwickelt ist (Körner, 1980). Knapp unterhalb wurde eine neue Kleinhöhle dokumentiert.

Im Folgenden sollen diese außergewöhnlichen durch Verwitterung und Erosion entstandenen Höhlen beschrieben werden sowie Beobachtungen und Überlegungen zu ihrer Entstehung, an der mehrere Prozesse beteiligt sind, erläutert werden.

UNTERSUCHUNGSGEBIET

Der Ort Türrnitz liegt im Traisental in 466 m Höhe, wobei der unmittelbar südwestlich gelegene Eibl knapp über 1000 m Höhe erreicht. Ihm gegenüber (nördlich) zweigt das Steinbachtal nach Nordwesten Richtung Schwarzenbacher Gscheid, einem Sattel ins Pielachtal, ab. Der von Spengler (1931) als *Steinbachmauer* bezeichnete Steilhang mit einzelnen Felswänden und -türmen liegt nördlich bzw. nordöstlich dieser Abzweigung und erstreckt sich Richtung Osten (bzw. Türrnitz) bis zur Anthofsiedlung (Abb. 1). Der Name *Steinbachmauer* ist heute nicht mehr gebräuchlich, allerdings wird sie von der Bevölkerung uneinheitlich als *Kreuzmauer*, *Jägermauer* bzw. *-stein* oder *Gams(mauer)* bezeichnet oder diese Namen bezeichnen nur Teile des

Steilhangs. Deswegen wird hier die Bezeichnung Spenglers beibehalten. Im Westen der Steinbachmauer liegen die altbekannte Paulinenhöhle (1837/11) – eine ehemalige Schauhöhle mit 242 m Länge – und zwei weitere Karsthöhlen sowie eine Spalthöhle. Von der Anthofsiedlung zieht ein Tälchen mit einem kleinen Gerinne empor, in dem fünf der neu bearbeiteten Höhlen liegen. Östlich davon wird das Gelände sanfter. Die deutlich untergliederte Steinbachmauer ist bis 150 m hoch und steigt gegen Westen bis zu einer lokalen Erhebung mit Kote 733 an (diese wird auf neuen Ausgaben der ÖK 1:50.000 als Paulinenhöhe bezeichnet, was ein Irrtum ist, denn auf früheren Ausgaben galt derselbe Schriftzug der Paulinenhöhle).

GEOLOGIE

Im Talniveau und teilweise bis hinauf zum Fuß der Steinbachmauer treten Lunzer Sandsteine auf. Die unteren Teile der Wand werden aus geschichtetem Opponitzer Kalk aufgebaut. Der stratigraphisch etwas jüngere Hauptdolomit ist nördlich aufgeschlossen. Über diesen Gesteinen lagern diskordant die deutlich jüngeren, kreidezeitlichen Gosaugesteine. Die Dolo-

mitbrekzie bildet die oberen Bereiche des östlichen Teils der Steinbachmauer, die Felsformationen beiderseits des Tälchens sowie isolierte Felsformationen oberhalb des westlichen Teils der Wand inklusive der Gipfelkuppe mit der Kote 733 (Abb. 1). Aus verschiedenen Gesteinsarten bestehende Konglomerate und karbonatreiche rote Sandsteine wurden nur als Lese-

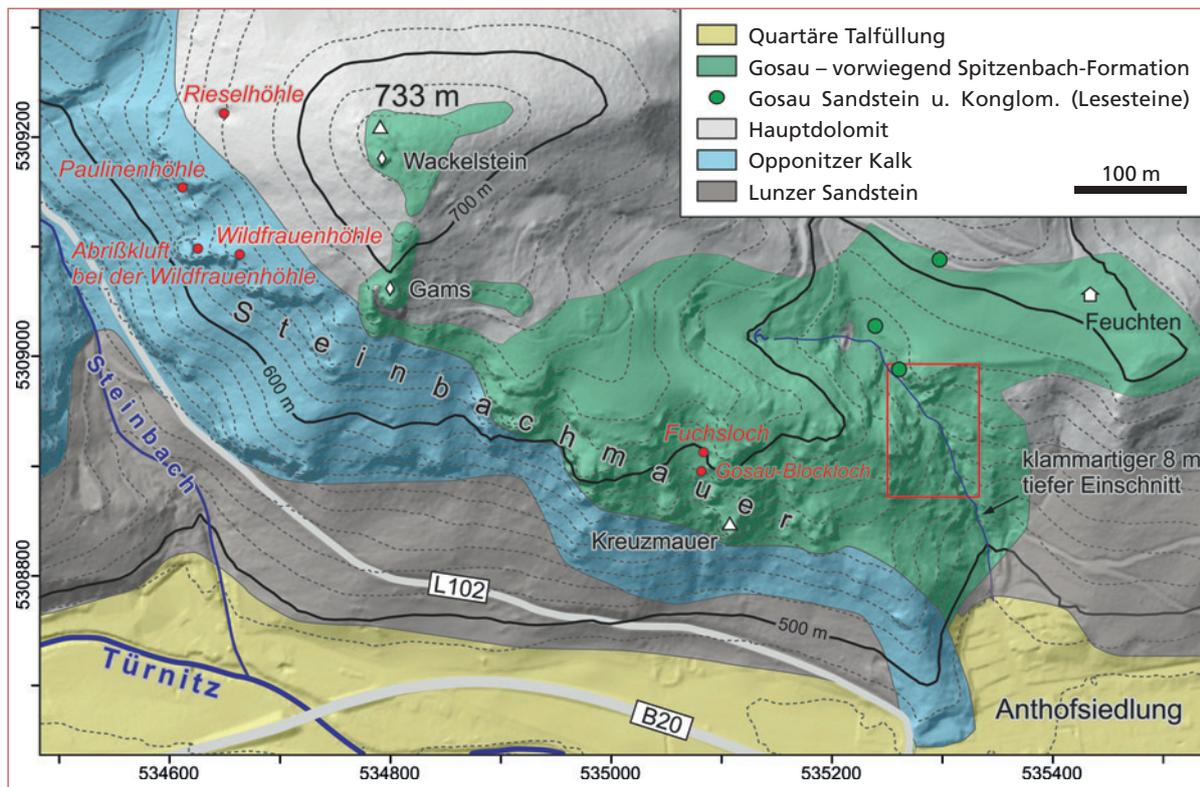


Abb. 1: Geologisch-morphologische Karte des Untersuchungsgebietes nach Ampferer & Spengler (1931), Hölzel & Plan (1999) sowie eigenen Aufnahmen. Das rote Rechteck markiert den Ausschnitt von Abb. 5. UTM-Koordinaten; Hintergrund: schattiertes Höhenmodell des Landes NÖ.

Fig. 1: Geological-morphological map of the study area modified after Ampferer & Spengler (1931), Hölzel & Plan (1999), and own observations. The red rectangle marks the detailed map in Fig. 5. UTM-coordinates; background: shaded elevation model of Lower Austria.

steine westlich des Gehöfts *Feuchten* gefunden und sind der Kreuzgraben-Formation (ebenfalls Gosau-Gruppe) zuzurechnen.

Die Zugehörigkeit dieser Gesteine zu tektonischen Decken ist unklar. Laut Ampferer & Spengler (1931) verläuft die Grenze zwischen der nördlichen Lunzer Decke (Bajuvarikum) und der Reisalpen-Decke (Tirolikum) ca. 0,5 km nördlich des Untersuchungsgebietes, was auch in die Geologischen Karte von Niederösterreich (Schnabel, 2002) übernommen wurde. Wessely

(2006: 145) beschreibt allerdings die „*bajuvarische Gosau-Gruppe*“, die von Gießhübl im Osten über die Ramsau bei Hainfeld, bis zur Reisalpe und nach Lilienfeld reicht. Das kleine Vorkommen nordwestlich von Türnitz wird nicht erwähnt. Es stellt allerdings vermutlich die Fortsetzung dieses unterbrochenen Zuges am Südrand der bajuvarischen Lunzer Decke dar. Auch ein kleines Gosau-Vorkommen nordöstlich von Türnitz stellt Wessely (2006) in seiner Abbildung 198 in die Lunzer Decke.

BESCHREIBUNG DER DOLOMITBREKZIEN

Das Gestein, in dem sich die Felsformationen und Höhlen ausgebildet haben, ist eine Dolomitbrekzie, die an frischen Bruchflächen und angewitterten Oberflächen gut zu erkennen ist (Abb. 2). Es ist massig und es sind weder Schichtung noch Gradierung erkennbar. Die Mächtigkeit beträgt zumindest 30 m.

Die markanten Verwitterungsstrukturen reichen von deutlich abgerundeten Felstürmen bis hin zu isolierten runden Blöcken mit mehreren Metern Durchmes-

ser wie z.B. dem Naturdenkmal „Wackelstein“. Oft findet man auch Gebilde, die auf den ersten Blick aussehen wie isolierte Blöcke, die aber bei genauer Betrachtung mit dem darunterliegenden Gestein verbunden sind, oder nur durch eine parallele Fuge oder Störung getrennt in ihrer ursprünglichen Position lagern (z.B. das Felsgebilde „Gams“; Abb. 3). Viele dieser gut gerundeten blockartigen Felsgebilde lagern, von maximal dezimeter-großen Spalten abgesehen, soweit erkenn-



Abb. 2: Angewitterte Oberfläche der Dolomitzbrekzie (12 cm langer DistoX als Maßstab).

Fig. 2: Weathered rock surface of dolomite breccia (12 cm-long DistoX for scale).

Foto: Lukas Plan

bar in situ. Sie werden im Folgenden möglichst wertfrei als *Blockfelsen* bezeichnet. Gesteinsmassen, die erkennbarerweise vom Gesteinsverband getrennt sind, werden hingegen als *Blöcke* bezeichnet.

Da es im Gelände oft schwer ist, die Brekzie von zerbrochenem Dolomit zu unterscheiden, wurden sieben Proben genommen, geschnitten und teilweise geschliffen (Abb. 4). Das Gefüge ist korngestützt und die Komponenten sind schlecht sortiert. Es dominieren kantige Klasten mit Durchmessern von Sub-Millimetern bis meist wenigen Zentimetern. An wenigen Aufschlüssen finden sich vereinzelt deutlich größere Klasten mit bis zu 70 cm Länge. Die Komponenten bestehen fast ausschließlich aus unterschiedlich gefärbten, oft geklüfteten Dolomitgesteinen. Sie zeigen mehrere Generationen von kalzitisch verheilten Bruchflächen. Die Korngrenzen sind durch Drucklösung überprägt und weisen oft einen hellen kalzitischen Saum auf. Trotz Suche wurden nur wenige kleine Kalkkomponenten gefunden. Die Matrix ist hell und fallweise rötlich und reagiert nur mäßig mit 10%iger Salzsäure. Die primäre Porosität scheint gering zu sein. Entlang von Brüchen zeigen sich nahe der Oberfläche lösungsbedingte Hohlräume.

STÖRUNGEN

Um den Bachlauf NNE der Anthofsiedlung – überwiegend in der Anthofgrotte und Felsenburg – konnten etliche Störungen an vermutlich in situ lagernden Blockfelsen aufgenommen werden (Abb. 5). Es dominieren relativ steil nach SW und untergeordnet flach nach Süd

Eine der Proben (#1) aus einem Block weist ausschließlich ähnliche, dunkle Komponenten auf und einen deutlich größeren Anteil (10 %) an einer hellen Matrix. Hierbei könnte es sich um einen Dolomitzkalksit (Störungsbrekzie aus Dolomit) handeln. Dagegen spricht, dass eine wenige Dezimeter daneben genommenen Probe den zuvor beschriebenen Dolomitzbrekzien entspricht.

Wagreich (2013) beschrieb bis zu 50 m mächtige Dolomitzbrekzien aus der Lilienfelder Gosau und korrelierte sie mit der Spitzenbach-Formation der Weyerer Bögen (Faupl, 1984). Er beschrieb ebenfalls ein *blockartiges verwittern* der massigen Brekzien *die ein eigenständliches Landschaftsbild ergeben* (Wagreich, 2013). Aus der stratigraphischen Position zwischen der Nierental-Formation im liegenden und der Gießhübl-Formation ergab sich höchstes Ober-Campanium als Alter (72 Mio. Jahre). Die Dolomitzbrekzien werden als Rutschungen an einem untermeerischen Hang interpretiert (Wagreich, 2013). Aufgrund der Mächtigkeit von mindestens 30 m und der äquivalenten Gesteinsausbildung scheint eine Zugehörigkeit der hier beschriebenen Dolomitzbrekzien zur Spitzenbach-Formation wahrscheinlich.

bzw. SW einfallende Störungen (Abb. 6). Die Lineationen zeigen Seitenverschiebungen und Schrägauf- oder -abschiebung. Dies ist vor allem für die flach einfallenden Harnischflächen ungewöhnlich und lässt eine Reaktivierung oder Rotation dieser Störungen annehmen.



Abb. 3: Gut abgerundeter Blockfelsen („Gams“), der mit einer dünnen Fuge (Störung?) mit dem darunterliegenden Gesteinssockel verbunden ist.

Fig. 3: Well rounded boulder-like rock („Gams“) which is connected to the underlying rock by a thin fissure – probably a fault.
Foto: Lukas Plan



Abb. 4: Geschliffenes Handstück der Gosau-Dolomitlekzie (Probe #7; Steinbach-Formation). Gut zu erkennen sind die eckigen, verschiedenfarbigen und schlecht sortierten Dolomitlekzien.
Breite: 8 cm.

Fig. 4: Polished hand specimen of the Gosau dolomite breccia (sample #7; Steinbach Formation). Angular, varicoloured and poorly sorted dolomite clasts are visible.
Width: 8 cm.

Foto: Eva Kaminsky



Abb. 6: Flach nach SW einfallende Störung (Harnischfläche mit Lineation) an der Decke des Eingangs c der Felsenburg.
Fig. 6: Low-angle SW dipping fault (slickenside with lineation) at the roof of entrance c of the Felsenburg. Foto: Eva Kaminsky

BACHLAUF

Fünf der neubeschriebenen Höhlen liegen entlang oder nahe dem Bächlein oberhalb der Anthofsiedlung (Abb. 1 und 5). Das Gerinne hat eine durchschnittliche Schüttung im Sekundenliter-Bereich (im relativ trockenen April 2020 lag sie bei deutlich unter 1 l/s). Die Maxima liegen vermutlich bei einigen 10 l/s. Nahe der

Quelle wurden am 24.4.2020 eine elektrische Leitfähigkeit von 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen. Bis zur Jacuzzirotte nahm sie kontinuierlich auf 475 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ab. Diese Abnahme und geringmächtige Tuff- bzw. Sinterbildungen sowie versinterte Schneckenhäuser zeigen, dass das Wasser kalzitübersättigt ist.

BESCHREIBUNG DER HÖHLEN

Die fünf Höhlen entlang des Bächleins waren durch einen Steig mit kleiner Brücke gut erschlossen (Abb. 5). Im Frühjahr 2020 wurde dieser allerdings durch das Eschensterben sowie Windwurf streckenweise zerstört vorgefunden und umherliegende Bäume und Äste erschwerten die Begehung. Zwei weitere Kleinhöhlen liegen etwa 200 m westlich in den Steinbachmäuern.

Fuchsloch 1837/6 a, b

Länge 11 m, Höhenunterschied 4 m, Horizontalerstreckung 8 m, UTM-Koord: 535.086 / 5.308.911 (± 5 m), Seehöhe 600 m

Die Höhle liegt im steilen Hang der Steinbachmauer in den bis über 10 m aus dem Hang herausragenden zerklüfteten gut gerundeten Blöcken und Blockfelsen.

Ein schiefend befahrbarer und ein schachtartiger Einstieg leiten in eine bis 3 m hohe und an der Basis bis 1,5 m breite Spalte. Sie ist hauptsächlich durch das Abgleiten der talseitigen Blöcke entstanden. Diese unscheinbare und relativ unbedeutende Höhle wurde schon in Göttinger (1926) und Müllner (1927) erwähnt, nachdem sie von Müllner 1921 vermessen wurde. Körner (1980) führte eine Nachvermessung durch.



Abb. 7: Im Vordergrund ist der unterste Eingang (b) in die Anthofgrotte mit der Andachtsstätte. Der Haupteingang (a) liegt links oberhalb der Bildmitte.
Fig. 7: The lowest entrance (b) of Anthofgrotte and the place of worship is in the foreground. The main entrance (a) is visible left and above the centre.

Foto: Lukas Plan

Anthofgrotte 1837/75 a-e

L: 92 m, H: 19 (+14, -5) m, He: 49 m, UTM-Koord: 535.310 / 5.308.910 (± 4 m), Sh: 540 m

Die Höhle hat 20 Eingänge, es wurden aber nur die fünf bedeutendsten nummeriert. Der Haupteingang ist 4 m breit, etwa ebenso hoch und durch einen Steig erschlossen (Abb. 7). Er führt in einen 12 m langen Höhlenraum, der mit einer zweigeteilten 9 m hohen Wasserfallstufe mit Sinterüberzug abschließt (Abb. 8). Steine und zwei Wasserlacken bilden den Boden. Nur bei wenig Wasser kann man durch einen kleinräumigen 2-m-Schacht trocken in einen unterlagernden Raum abklettern. Von hier führt eine Schlufstrecke mit Deckenfenstern zu einem breiten Portal mit einer Art Andachtsstätte sowie Tisch und Bank. Hier, am tiefsten Punkt, verlässt das Bächlein die Höhle (Abb. 7).

Im Hauptraum kann am Beginn links über Blöcke zu einem großen Deckenfenster hinaufgeklettert werden, an dem nördlich ein bis 2,5 m hoher kurzer Gang ansetzt. Befahrbar und unbefahrbar Spalten bzw. Blockzwischenräume brechen in den Hauptraum ab. Der Gang leitet zu einem breiteren Blocklabyrinth mit etlichen Deckenfenstern. Teile werden vom hier zweigeteilten Gerinne durchflossen und man gelangt auch von oben zum Wasserfallabbruch in den Hauptraum. Gegen Osten steigt der aus Steinen und Laub gebildete Boden an und in einem der zahlreichen Deckenfenster befindet sich der höchste Punkt der Höhle (Eingang e). Im daran anschließenden nördlichsten Teil leiten zwei parallele Schlüfe zum Block, unter dem der Bach in die Höhle eintritt (Eingang d).

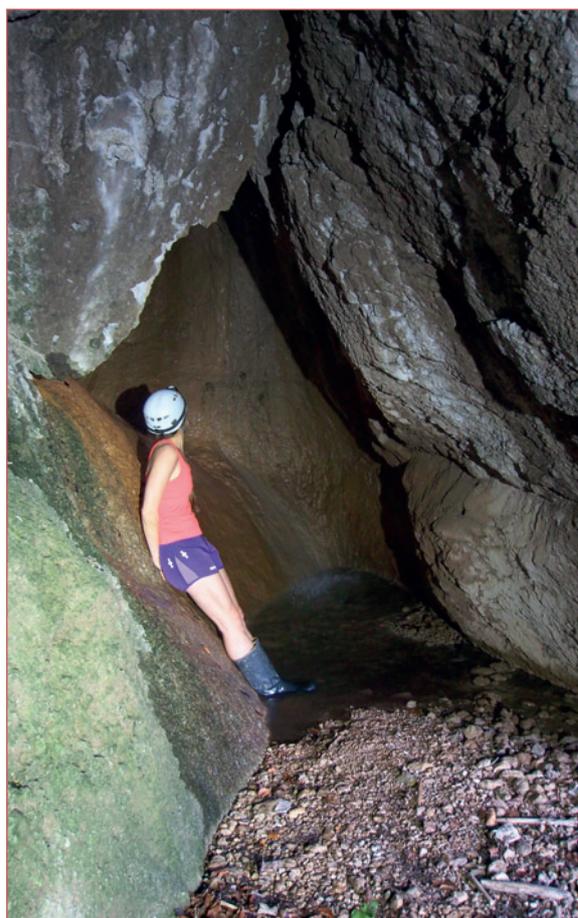


Abb. 8: Hauptraum der Anthofgrotte mit kleinem Wasserfall im Endabschnitt. Die rechte Wand ist anstehend und bis zu 3 m überhängend.

Fig. 8: Main chamber of Anthofgrotte with a small waterfall at the end. The right wall is bedrock that forms a 3 m-high overhang.

Foto: Lukas Plan



Abb. 9: Blöcke (Vordergrund) und Blockfelsen (Hintergrund), in denen die Felsenburg (Eingänge a–e) und der Bachdurchgang (77a) entwickelt sind.

Fig. 9: Boulders (front) and boulder-like rocks (back) in which the Felsenburg (entrance a–e) and Bachdurchgang (77a) are developed. Foto: Lukas Plan

In einem Querprofil durch den Hauptraum (Abb. 5), wo das anstehende Gestein der Seitenwände und die Blöcke differenziert sind, erkennt man, dass dieser Abschnitt durch einen schluchtartigen Einschnitt mit bis zu 3 m überhängenden Wänden gebildet wird, der mit Blöcken überdeckt ist. Der größte Block liegt beim Haupteingang und ist etwa 10 m lang, 4 m breit und 5 m hoch. Die Seitenwände und die Blöcke bestehen aus Dolomitlekzie und mit großer Wahrscheinlichkeit auch die sinterüberzogene Wasserfallwand. Beim oberen und unteren Höhlenabschnitt ist der Bacheinschnitt deutlich breiter. Beim oberen ist an der westlichen Begrenzung eine Felsstufe entlang einer Störung ausgebildet, gegen die die Blöcke angelagert sind. Im unteren wird die östliche Seite von einer Wand im Anstehenden und Blöcken gebildet. Hier ist im Gegensatz zum oberen Abschnitt die Felssohle sedimentbedeckt und nicht aufgeschlossen.

Felsenburg 1837/76 a-e

L: 56 m, H: +12 m, He: 33 m, UTM-Koord: 535.287 / 5.308.956 (±4 m), Sh: 561 m

Nördlich der Anthofgrotte befinden sich auf der orographisch linken Seite knapp 30 m hohe Blockfelsen, in denen die Felsenburg in mehreren Etagen ausgebildet ist (Abb. 9).

Die unterste Etage betritt man durch einen südschauenden Eingang, dem ein kurzer Durchgang folgt. Die rechte, nordöstliche Wand ist ein über 10 m durchmessender, bis zu 4 m überhängender Blockfelsen. 2,5 m über dem Sedimentboden weist er eine anfangs 0,4 m hohe sich verjüngende Fuge auf (Abb. 10). Sie hat

kleine Säulen und zieht 3,5 m leicht ansteigend in den Blockfelsen. Die linke Seite des Durchgangs wird von einem 8 m durchmessenden Block gebildet, der an mehreren Stellen aufliegt bzw. von kleinen Blöcken unterlagert wird. Im SW fließt das Bächlein durch teilweise unbefahrbar niedere Schlüfe. Der Durchgang führt in einen kleinen Felskessel. Bergseitig ziehen einige bald unbefahrbar schmale Spalten in die Blockfelsen, von denen eine deutlich bewettert ist und mit dem unten beschriebene *Fuchsbauspalt* in Verbindung steht. Gegenüber fällt der sumpfige Boden leicht zum Bächlein ab. Ein bachaufwärts ziehender schmaler Durchgang zwischen Blöcken wäre befahrbar, wenn man eine Durchnässung in Kauf nimmt. Einfacher erreicht man die Eintrittsstelle des Baches, an die unmittelbar der Bachdurchgang (s.u.) anschließt, wenn man die Blöcke überklettert.

Von hier gelangt man nach rechts durch einen ansteigenden Einschnitt zum Eingang c in die mittlere Etage der Felsenburg. Anfangs muss ein eckiger Block überklettert werden, der sich entlang einer Harnischfläche von der Decke abgelöst hat (Abb. 6). Eine kleine Stufe leitet zu zwei Fugen hinauf: Während eine in die entgegengesetzte Richtung 45° ansteigend in die obere Etage leitet, führt die andere leicht abfallend zum *Fuchsbauspalt*, einer vertikalen Abrissklufft. Am Beginn besteht die schachtartige unbefahrbare Verbindung zur unteren Etage. Bergwärts leitet ein schmaler Durchstieg zu einem L-förmigen Profil: unten ist die horizontale Fuge auf rund 2 m Breite erweitert. Sie endet mit Feinsediment und Sinter verfüllt bzw. in zwei unbefahrbaren Röhren, wo ein Tier, vermutlich ein Fuchs, angetroffen wurde. Nach oben zieht eine



Abb. 10: Blockfelsen beim unteren Eingang (a; links der Person) der Felsenburg. Die markante Fuge über der Person ist bis zu 3,5 m tief, geht aber auf der Rückseite in eine nur millimeterweit geöffnete Störung(?) über.

Fig. 10: A boulder-like rock at the lower entrance (a, left of the person) of Felsenburg. The prominent joint above the person is up to 3.5 m deep and merges into a millimetre-wide fault(?) at the backside of the formation.

Foto: Lukas Plan

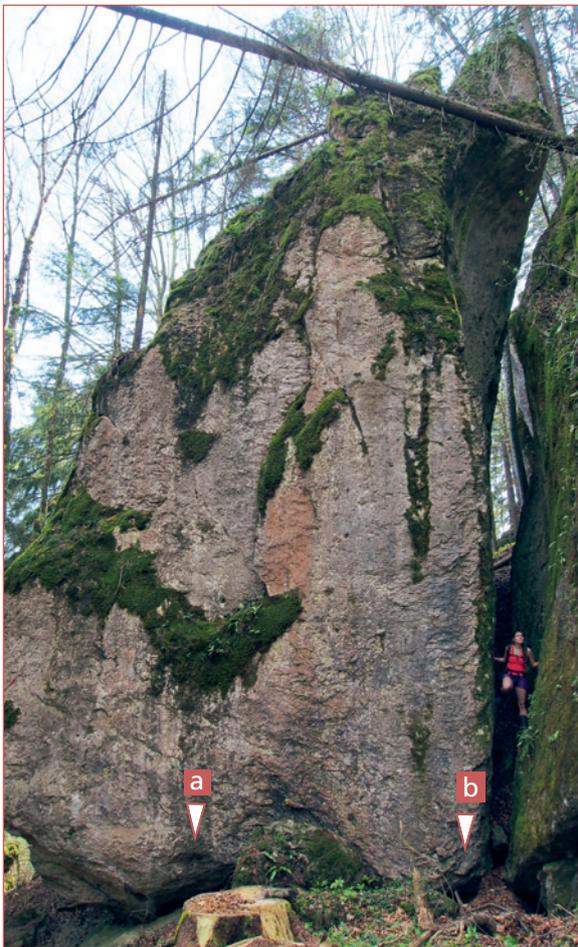


Abb. 11: Knapp 25 m hohe Felsformation, an deren Basis sich die Felszahnfuge befindet (Pfeile markieren die Eingänge). Ein Person klettert in der Abrisspalte.

Fig. 11: Almost 25 m high rock formation with Felszahnfuge at the base (arrows mark the entrances). A person is climbing in the crevice.

Foto: Lukas Plan



Abb. 12: An dieser Felssäule zwischen den Tagöffnungen der Felszahnfuge ist erkennbar, dass das Gestein ohne Fuge von der Sohle in die Decke bzw. Felsformation übergeht (Größenvergleich DistoX).

Fig. 12: Rock pillar between the entrance of the Felszahnfuge showing that the rock continues without cracks or joints from its base into the rock formation above (DistoX for scale).

Foto: Lukas Plan

Spalte, die verstürzt bzw. unbefahrbar schmal endet, wobei von oben Wurzeln eindringen. Im *Fuchsbau-spalt* finden sich bescheidene Sinterröhrchen, -überzüge und Bergmilchbildungen.

Am Ende der ansteigenden Fuge verengen mehrere durch Blöcke gebildete Pfeiler den Ausstieg in einen nach Osten ziehenden breiten Überhang unter großen Blockfelsen. Die 45° steile Fuge wird teilweise von einer horizontalen Fuge überlagert, die durch Blockberührungspunkte untergliedert ist. Durch beide Fugen erreicht man einen Durchstieg in den Westteil des Überhangs. Diesem ist bergseitig eine weitere 0,5 m hohe breite Kammer mit Feinsedimentboden angelagert. Das Westende bildet ein 4 m tiefer und 8 m

breiter Überhang, dessen Sohle teilweise durch eine Harnischfläche gebildet wird.

Zwischen Felsenburg und Anthofgrotte liegt im Bachbett eine kleine Höhle die durch einen Block (4 x 7 x 3 m) über anstehender Felssohle gebildet wird, aber nicht in den Kataster aufgenommen wurde.

Bachdurchgang 1837/77 a,b

L: 5 m, H: +2 m, He: 8 m, UTM-Koord: 535.270 / 5.308.967 (±4 m), Sh: 562 m

Der Bachdurchgang stellt die orographisch erste bzw. NNW Höhle dar. Die bizarren Formen der aus Dolomitbrekzien gebildeten Wände und Blöcke enden nördlich. Diese Höhle wird aus einem großen Block (8 x 5 x 9 m) gebildet, der an einem an der Basis unterhöhlten, mehrere Zehnermeter langen Blockfelsen lehnt. Der Boden besteht aus Steinen und organischem Material und wird vom Bächlein durchflossen.

Felszahnfuge 1837/78

L: 11 m, H: -1 m, He: 14 m, UTM-Koord: 535.284 / 5.308.913 (±4 m), Sh: 555 m

Die Höhle liegt 20 m westlich vom Bächlein bzw. der Anthofgrotte. Sie ist an der Basis einer knapp 25 m hohen, rund 12 m durchmessenden Felsformation ausgebildet, die durch eine rund 1 m breite Spalte von der hangseitigen Felswand abgetrennt ist (Abb. 11). Der eigentliche Eingang in die Fuge ist durch einen 1,5 m durchmessenden Block und eine Sedimentanhäufung unterteilt. Nach Osten setzt sich ein Überhang weiter fort. Die Fuge ist durchschnittlich knapp 0,5 m hoch und der Boden besteht aus kleinen Steinen. Im Osten weist sie eine weitere unbefahrbare Tagöffnung auf. Hier ist die anstehende Felssohle aufgeschlossen, die in der Säule seitlich davon ohne Fuge in den Felszahn übergeht (Abb. 12). Der sichtbare Teil der Fuge unterlagert etwa die Hälfte der Grundfläche der Felsformation. Vermutlich ist die Ausdehnung der Fuge noch größer, aber mit Sediment verfüllt. Im nordwestlichen Teil, jenseits der Spalte und somit im anstehenden Gestein, tritt etwas Sickerwasser ein. Entlang dieser Wand ist die hier unbefahrbare Fuge noch rund 10 m als unbefahrbarer Spalt verfolgbar.

Jacuzzigrotte 1837/79 a,b

L: 12 m, H: +4 m, He: 13 m, UTM-Koord: 535.324 / 5.308.873 (±4 m), Sh: 525 m

Die Höhle ist bis zu 7 m breit und meist 1 bis 2 m hoch. Sie wird teils entlang einer Störung vom Bächlein

durchflossen, das in die Sohle aus anstehender Dolomitbrekzie drei kleine Wasserbecken und drei bis zu 1,5 m hohe Stufen modelliert hat (Abb. 13). Nur in Nischen ist die Felssohle von Geröll bedeckt. Die südwestliche Begrenzungswand ist entlang einer Fuge stark verwittert und hängt bis zu 2 m über. Abgesehen von diesem Überhang wird die Decke der Höhle aus zwei großen, gut abgerundeten Blöcken gebildet, wobei der größere mit rund 9 x 6 x 5 m annähernd in situ lagert, wie die fast nahtlose, mehrere Quadratmeter große Fuge zwischen ihm und dem Anstehenden zeigt. Die nordöstliche Begrenzung bzw. Säule wird aus einem 3,5 m hohen Riegel aus anstehender Brekzie gebildet, der möglicherweise zwischen einem alten und neuen Bachverlauf stehen blieb.

Gosau-Blockloch 1837/80 a,b

L: 6 m, H: +4 m, He: 5 m, UTM-Koord: 535.081 / 5.308.833 (±8 m), Sh: 580 m

Durch den 2 m breiten Haupteingang gelangt man in einen von Blöcken aus Gosaubrekzie begrenzten 5 m langen Höhlenraum mit Laubboden, der am Ende Versturzacharakter aufweist. Zwischen den Blöcken an der Decke ist ein weiterer kleiner Eingang. Dieser liegt direkt neben einem schmalen Steig, der sich um die Felsen des Berghanges windet.



Abb. 13: Pools in der Jacuzzigrotte.
Fig. 13: Pools in the Jacuzzigrotte.

Foto: Lukas Plan

DISKUSSION ZUR ENTSTEHUNG DER FORMEN UND HÖHLEN

Bei der Betrachtung der Höhlen und Landschaftsformen in den Dolomitbrekzien fallen unterschiedliche Formen auf. Im Folgenden soll diskutiert werden, welche Prozesse an deren Entstehung beteiligt sind.

Vertikale Spalten

Das instruktivste Beispiel ist der knapp 25 m hohe Felspfeiler über der Felszahnfuge. Die leicht geschwungenen Wandflächen sind annähernd parallel mit Öffnungsweiten von etwas über 1 m im oberen Bereich und unter 0,5 m auf Höhe der Felszahnfuge. Augenscheinlich ist diese Spalte auf schwerkraftbedingtes Abreißen und Abgleiten zurückzuführen, wobei die leichte V-Form der Öffnung auch eine Verkippung zeigt. Dieser Prozess scheint auf den ersten Blick auch für die Ausbildung der horizontalen Felszahnfuge verantwortlich zu sein. Dass die Fuge aber nicht auf das Verkippen zurückzuführen ist, zeigt der nahtlose Gesteinsübergang von der Felssohle zur Decke an der Säule links vom Eingang (Abb. 12). Die Gleitfläche des Felszahns liegt demnach tiefer und ist von Sediment bedeckt.

Am Gegenüberhang der Felsenburg findet sich ein hangparallel 2 m abgeglittener Block (20 x 5 x 2–4 m), der mehrfach zerbrochen ist (Abb. 5). Zumindest an der talseitigen Wand erkennt man eine Lineation, die auf eine Störung hindeutet, entlang der das Gestein abgerissen ist.

Obwohl diese gravitativen Zerrspalten in der Landschaft mehrfach zu beobachten sind, spielten sie für die Hohlrumbaueung nur eine untergeordnete Rolle. Der *Fuchsbauspalt* in der Felsenburg scheint auf gravitatives Abgleiten von Felsmassen zurückzuführen zu sein und stellt somit einen Spalthöhleenteil dar (Oberender & Plan, 2018).

Bildung der Fugen

Subhorizontale Fugen sind häufig in den Felsformationen. Die einzige auf mehr als 5 m Länge befahrbare ist die Felszahnfuge. In der Felswand rechts davon setzt sie sich als rasch verjüngende, meist nur einige Dezimeter tiefe Fuge fort. Eine weitere zumindest ansatzweise befahrbare Fuge liegt neben dem südlichen Eingang der Felsenburg (Abb. 10). Hier ist die bergwärts leicht ansteigende Felssohle fast durchgehend aufgeschlossen. Die Fortsetzung der Fuge nach links ist unzugänglich, aber nach rechts, um den Blockfelsen herum, kann sie ebenfalls als dezimetertiefe Fuge weiterverfolgt werden, bis sie in eine nur milli-

meterweit geöffnete Störung(?) mit leicht gestuftem Verlauf übergeht.

Das Bodensediment in der Felszahnfuge besteht aus zentimetergroßen autochthonen Dolomitkomponenten der Brekzie; ein fluviatiler Transport in die Höhle ist unwahrscheinlich. Insofern scheint Frostverwitterung entlang der Brekzienmatrix die bedeutendste Rolle bei der Ausbildung der Fugen zu spielen. In den geschnittenen Handstücken sind Lösungshohlräume entlang von Brüchen erkennbar, welche die Frostverwitterung begünstigen. Weiters wurde am Nordende der Felszahnfuge trotz längerer Trockenheit ein Sickerwassereintritt beobachtet, der potentiell Wasser für die Frostverwitterung bereitstellt.

Die Genese der Gesteinsinhomogenitäten, entlang derer die Fugen erweitert wurden, ist unklar. Unsere Feldbeobachtungen legen nahe, dass unterschiedliche Prozesse für deren Bildung verantwortlich sind. An vielen Stellen, wie z.B. in der Felsenburg, sind flach einfallende Störungen erkennbar. Das Einfallen der Fuge oberhalb des südlichsten Eingangs in die Felsenburg ist diesem Störungstrend ähnlich. Allerdings treten sowohl hier als auch im Eingangsbereich der Felszahnfuge Pfeiler auf, ohne dass eine Kluft oder eine Störung erkennbar sind (Abb. 12). Hier könnten inkompetentere (z.B. sandigere) Lagen im Gestein ausschlaggebend sein.

Befahrbare Fugen stellen neben den zwei hier erwähnten einige Teile der mittleren und oberen Etage in der Felsenburg dar. Da vermutlich Frostverwitterung und Erosion des Materials durch Frostkriechen auf den geneigten Flächen die wichtigsten Prozesse darstellen, sind diese Höhlen als Auswitterungshöhlen(teile) anzusprechen (Oberender & Plan, 2015).

Schluchtartige Einschnitte entlang des Bachs

Der markanteste Einschnitt liegt wenige Zehnermeter unterhalb der Jacuzzirotte und ist bis zu 8 m tief und oben teils nur 2 m breit, aber nicht überdeckt. Am Querprofil durch die Anthofgrotte ist zu erkennen, dass auch hier ein schluchtartiger Einschnitt in die anstehende Dolomitbrekzie ausgebildet ist (Abb. 5). Er ist 10 m tief und oben ebenso breit und das Einschneiden führt auch zur Ausbildung von Überhängen. In geringerem Maß kann dies auch bei der Jacuzzirotte der Fall sein. Hier ist gut zu erkennen, dass der Einschnitt entlang einer steilen Störung verläuft. Für die zwei davor genannten ist dies ebenfalls wahrscheinlich. Ob das heutige Bächlein die erforderlich Erosionsleistung in der relativ kompetenten Brekzie aufbringen



Abb. 14: Durch Lösung erweiterte Fuge in einer knapp 4 m hohen Wand.

Fig. 14: Joint widened by dissolution in an almost 4 m-high wall.

Foto: Lukas Plan

kann um diese Schluchten auszubilden, ist aufgrund der geringen Schüttung fraglich. Auch chemische Lösung scheint aufgrund der Anzeichen für Kalzitübersättigung keine Rolle zu spielen. Es ist aber anzunehmen, dass die Matrix der Brekzie verwitterungsanfällig ist und die meist wenige zentimetergroßen Komponenten auch von den geringen Wassermengen abtransportiert werden können.

Lösungsformen

Verkarstung dürfte nur eine untergeordnete Rolle spielen. Lediglich im anstehenden Gestein oberhalb des abgeglittene Blocks gegenüber der Felsenburg kann ein nach unten endender Spalt als 0,5 m tiefe Karre interpretiert werden (Abb. 14). Sonst finden sich nur auf wenigen geneigten Flächen vermutlich unter Bewuchs entstandene, einige Zentimeter tiefe Lösungsformen. Weiters zeigt die leicht überhängende Wand eines Blocks beim Haupteingang der Anthofgrotte mehrere Dezimeter durchmessende Nischen. Diese gehen vermutlich auf Lösung unter einer Bodenbedeckung zurück. Es konnten keine befahrbaren Hohlräume gefun-

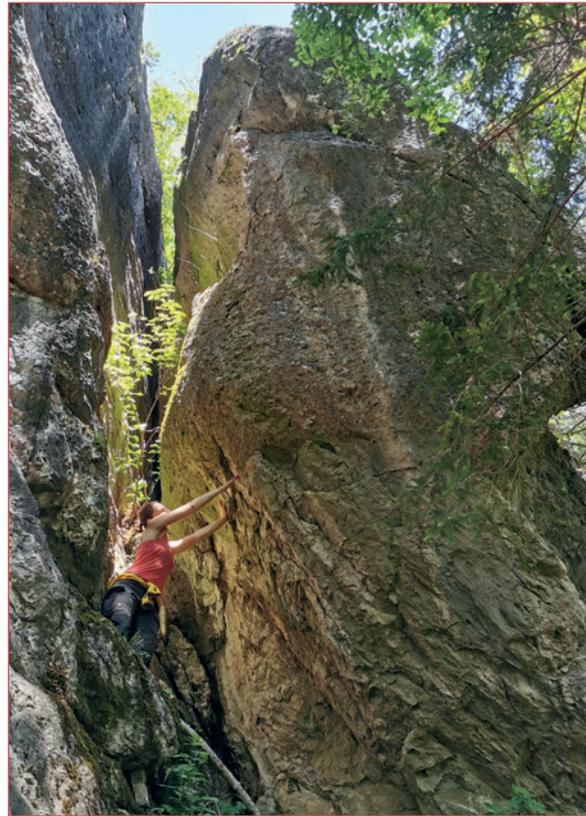


Abb. 15: Grenze vom Hauptdolomit zur Dolomitbrekzie südlich unterhalb der "Gams" (die Hände zeigen zur Schichtgrenze). Der Dolomit zerbricht kantig entlang vieler kleiner Trennflächen und die massive Brekzie verwittert zu gut gerundeten Oberflächen.

Fig. 15: Boundary between the Hauptdolomit and the dolomite breccia south below the "Gams" (hands pointing to the boundary). The dolomite form angular fragments along many small joints and the weathering of the massive breccia leads to well-rounded surfaces.

Foto: Lukas Plan

den werden, bei deren Entstehung Lösungsprozesse eine bedeutende Rolle gespielt haben.

In einigen Blöcken (z.B. im oberen Abschnitt der Anthofgrotte und am orographisch linken Hang darüber) finden sich mehrere dezimeterbreite Rinnen bis hohlkehlenartige Strukturen. Sie sind vermutlich vor der Umlagerung der Blöcke entstanden und können nicht in ihrer heutigen Position erklärt werden. Es ist unklar, ob sie vorwiegend durch Lösung oder Erosion entstanden sind.

Blockbildung

Wie auch schon aus der Bezeichnung des Naturdenkmals als „Wackelstein“ hervorgeht, ähneln die Felsbildungen frappant diesen vor allem in den Graniten der Böhmisches Masse verbreiteten Formen. Hier wurde die Bildung meist der Wollsackverwitterung zu-



Abb. 16: Wandparallele Trennflächen (z.B. rechts der Bildmitte) in der Felsformation oberhalb der Felszahnfuge (Eingang im Vordergrund).

Fig. 16: Wall-parallel joints (e.g. to the right of the centre) in the rock formation above the Felszahnfuge (entrance in the foreground).
Foto: Lukas Plan

geschrieben (z.B. Wessely, 2006). Miller (1925) differenzierte zwischen Exfoliation (Schalenbildung) aufgrund primär mechanischer Prozesse und Wollsackverwitterung als Resultat chemischer Prozesse. Ollier (1971) stellte heraus, dass diese Unterscheidung nur schwer möglich ist und differenzierte stattdessen nach dem Ort, wo die Verwitterung stattfindet. Er ging davon aus, dass sich die runden Formen nur bildeten, wenn die Prozesse von allen Seiten auf das Gestein wirken konnten, d.h. im Untergrund unter einer mächtigen Boden- oder Verwitterungsdecke. Wollsackverwitterung wird primär in Magmatiten beschrieben, jedoch mit verschiedenen Prozessen verbunden (z.B. Hydratation, Tonmineralneubildung etc.), die zu einer Volumenzunahme innerhalb des Gesteinsverbands und zur Ausbildung von Schalen führen (z.B. Fletcher et al., 2006; Barkov et al., 2015; Hirata et al., 2017).

Die beobachteten runden Blöcke und Blockfelsen scheinen nicht das Resultat einer tiefreichenden Verwitterung zu sein. Die relativ steilen Talflanken mit Reliefunterschieden von knapp 250 m sind geologisch

gesehen junge Landoberflächen und sprechen dagegen, dass hier alte Verwitterungsformen erhalten wurden. Ein Aufschluss des Übergangs vom Hauptdolomit zur Spitzenbach-Formation zeigt deutlich, dass die runden Verwitterungsformen eine Eigenheit dieser Dolomitlekzie sind (Abb. 15).

Generell kann davon ausgegangen werden, dass mehrere Verwitterungs- und Erosionsprozesse zur Ausbildung der runden Felsformationen und der Hohlräume geführt haben. Folgendes Szenario scheint wahrscheinlich: Das massige bzw. homogene und kompetente Gestein bricht entlang weniger Störungen und Klüfte. Gravitatives Abgleiten führt teilweise zum Öffnen der Spalten. An einigen Stellen (z.B. oberhalb der Felszahnfuge) gibt es Trennflächen, die parallel wenige Dezimeter unter der Felsoberfläche verlaufen, was als Exfoliation interpretiert werden kann (Abb. 16). Exfoliation definierte Ahnert (2003) als Druckentlastung, die zur Bildung konzentrischer Klüfte (etwa senkrecht zur Oberfläche bzw. Entlastungsrichtung) führt. Die Klüfte treten in Scharen auf, was zur Ausbildung zwiebelschalenartiger Strukturen meist im Zentimeter- bis Dezimetermaßstab führt. Frostverwitterung erweitert die Klüfte und löst Gesteinsschuppen ab.

Weiters wurde in geschnittenen Handstücken beobachtet, dass durch Lösung der kalzitischen Matrix eine Dolomitklasten-gestützte Verwitterungsschicht entstand. Dies begünstigt ebenfalls die Rundung der Blockfelsen. Innerhalb der Verwitterungsschicht können Tonminerale (die während der Brekziendiagenese durch Drucklösung angereichert wurden) zur weiteren Lockerung des Gesteinsverbandes und zur Ablösung führen (Fletcher et al., 2006; Sumner et al., 2009). Außerdem können Tonminerale die Verfügbarkeit von Wasser verlängern und dadurch die Wirksamkeit der Frostverwitterung erhöhen. Zusätzlich zur Verwitterung der Matrix spielt auch die Klüftigkeit der Dolomitklasten eine Rolle, die der Frostverwitterung weitere wasserwegsame Trennflächen bietet. Diese Verwitterungsprozesse führen zu den runden Verwitterungsformen und verstärken teilweise den Eindruck, dass es sich um isolierte Blöcke handelt, auch wenn oft eine Verbindung zum unterlagernden Gestein gegeben ist. Die teils isolierten Blöcke können durch langsames Gleiten an ihre Position gekommen sein. Spuren von Blockschlag wie Brüche, die bei höheren Geschwindigkeiten zwischen den Blöcken zu erwarten sind, wurden nicht gefunden. Es finden sich aber auch Blöcke in Positionen, wo ein weiter Transport ausgeschlossen ist, wie im oberen Bereich etlicher Felsformationen und Erhebungen, bis hinauf zur Gipfelkuppe (Kote 733). Einige Blöcke sind auch annähernd in situ wie der bei der Jacuzzihöhle beschriebene.

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Die Morphologie der hier vorgestellten Höhlen ist durch die charakteristischen runden Blöcke und in situ lagernden Blockfelsen der Gosaubrekzie geprägt. Die Blöcke wurden durch verschiedene Verwitterungsprozesse gerundet und gravitativ umgelagert. Teils sind die Blöcke nur wenig bewegt worden; einige scheinen sich durch Eingleiten oder Sturzbewegungen im Bacheinschnitt angehäuft zu haben. Wo das Gerinne zu einem klammartigen Einschnitt – eventuell mit Unterhöhlung der Seitenwände – geführt hat, haben die Räume einen ausgeprägteren Höhlencharakter bzw. sind weniger Blöcke zur Überdeckung nötig. Das Gerinne bewirkt weiters, dass die Hohlräume unter den Blöcken nicht mit Sediment verfüllt bzw. dass Verwitterungsprodukte erodiert werden. Weitere beobachtete Prozesse zur Hohlraumbildung sind die Spaltbildung aufgrund gravitativen Abgleitens, Frostverwitterung und Erosion, die zur Ausbildung subhorizontaler Fugen führen. Lösung bzw. Verkarstung hat, wenn überhaupt, nur eine untergeordnete Rolle gespielt.

Betrachtet man den dominanten hohlraumbildenden Prozess, können die Höhlen entlang des Bachlaufes

(Anthofrotte, Jacuzzihöhle, Bachdurchgang und die bachnahen Teile der Felsenburg) als Blocküberdeckungshöhlen klassifiziert werden. Die Felszahnfuge und Teile der Felsenburg sind als Auswitterungshöhlen anzusprechen. Nur wenige Teile der Felsenburg sind Spalthöhlen.

Weitere Höhlen in Gosaubrekzien

Die Hornek-Reith-Kluft (1866/178) bei Lilienfeld liegt in dem von Wagreich (2013) beschriebenen Gelände mit den Verwitterungsformen der Spitzenbach-Formation. Laut Körner & Körner (1991) handelt es sich um eine Abrisskluft bzw. Spalthöhle.

Die Teufelskirche (1647/1) bei St. Gallen liegt zwar in einer markanten Felsformation nahe der Typlokalität der Spitzenbach-Formation (Faupl, 1984), dürfte aber den Beschreibungen von Rosenberger (1958) und Saar (1960) zufolge im Hauptdolomit ausgebildet sein. Da sich aber gezeigt hat, dass im Gelände eine Unterscheidung von Dolomitbrekzie und Dolomitekataklastit kaum möglich ist, sollte dem nochmals nachgegangen werden.

DANK

Stefanie Koppensteiner wirkte bei der Vermessung mit. Iris Feichtinger half beim Schneiden und Schleifen der Gesteine. An der Diskussion waren Rudolf Pavuza und

Michael Wagreich beteiligt. Christian Bauer und Thomas Striebel gaben wertvolle Hinweise im Zuge der Begutachtung.

LITERATUR

- Ahnert, F. (2003): Einführung in die Geomorphologie. – Stuttgart (Eugen Ulmer).
- Ampferer, O. & Spengler, E. (1931): Geologische Spezialkarte der Republik Österreich: Blatt Schneeberg - St. Ägyd. – Wien (Geol. B.-A.).
- Barkov, A., Nikiforov, A.A., & Martin, R.F. (2015): A novel mechanism of spheroidal weathering: a case study from Monchepluton layered complex, Kola Peninsula, Russia. – Bull. Geol. Soc. Finland, 87: 79–85.
- BH-Lilienfeld (1957): IK-58/5-1957. Türritz, Anthofrotte, Wackelstein, Erklärung zum Naturdenkmal. – Bescheid der Bezirkshauptmannschaft Lilienfeld (abgerufen 1.5.2020).
- Götzinger, G. (1926): Die Phosphate in Österreich. – Mitt. Geogr. Ges., 69: 126–156.
- Faupl, P. (1984): Die Flyschfazies in der Gosau der Weyerer Bögen (Oberkreide, Nördliche Kalkalpen, Österreich). – Jb. Geol. B.-A., 126: 219–244.
- Fletcher, R.C., Buss, H.L. & Brantley & S.L. (2006): A spheroidal weathering model coupling porewater chemistry to soil thicknesses during steady-state denudation. – Earth and Planetary Science Letters, 244: 444–457.
- Hirata, Y., Chigira, M., & Chen, Y. (2017): Spheroidal weathering of granite porphyry with well-developed columnar joints by oxidation, iron precipitation, and rindlet exfoliation. – Earth Surface Processes and Landforms, 42: 657–669.
- Hölzel, M. & Plan, L. (1999): Bericht über die geologische Kartierung nördlich von Türritz (NÖ). – Unveröff. Bericht, Univ. Wien.
- Körner, M. (1980): Arbeiten am Höhlenkataster der Teilgruppe 1837. – Höhlenkundl. Mitt., Wien, 36: 162–163.
- Körner, B. & Körner, M. (1991): Die Hornek-Reith-Kluft (1866/178) bei Lilienfeld. – Höhlenkundl. Mitt., Wien, 47: 107.
- Müllner, M. (1927): Karsterscheinungen in den Traisentaler Kalkalpen. – Blätter f. Naturkunde u. Naturschutz, 14: 2–6.
- Miller, W.J. (1925): An Introduction to Physical Geography. – New York (Van Nostrand).
- Oberender, P. & Plan, L. (2015): Cave development by frost weathering. – Geomorphology, 229: 73–84.
- Oberender, P. & Plan L. (2018): A genetic classification of caves and its application in eastern Austria. – Geological Society, London, Special Publications, 466: 121–136.

- Ollier, C.D. (1971): Causes of spheroidal weathering. – *Earth-Science Reviews*, 7: 127–141.
- Plan, L. & Oberender, P. (2016): Nicht-Karsthöhlen. – In: Spötl, C., Plan, L. & Christian, E. (Hrsg.): *Höhlen und Karst in Österreich*. – Linz (Oberösterreichisches Landesmuseum): 61–72.
- Rosenberger, G. (1958): Die Teufelskirche bei St. Gallen. – *Verhandlungen Geol. B.-A.*, 1958: 90–95.
- Saar, R. (1960): Die „Teufelskirche“ bei St. Gallen (Steiermark). – *Die Höhle*, 11: 46–51.
- Schnabel, W. (2002): *Geologische Karte von Niederösterreich 1:200.000*. – Wien (Geol. B.-A.).
- Spengler, E. (1931): *Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der Republik Österreich: Blatt Schneeberg - St. Ägyd.* – Wien (Geol. B.-A.).
- Sumner, P.D., Hall, K.J., van Rooy, J.L., Meiklejohn, K.I. (2009): Rock weathering on the eastern mountains of southern Africa: Review and insights from case studies. – *Journal of African Earth Sciences*, 55: 236–244.
- Wagreich, M. (2013): *Stratigrafie und Lithofazies der Branderfleck-Formation und der Gosau-Gruppe (Oberkreide) von Lilienfeld (ÖK 56 St. Pölten)*. – Arbeitstagung der Geol. Bundesanstalt Melk. – Wien (Geol. B.-A.).
- Wessely, G. (2006): *Geologie der Österreichischen Bundesländer, Niederösterreich*. – Wien (Geol. B.-A.).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 2020

Band/Volume: [71](#)

Autor(en)/Author(s): Plan Lukas, Oberender Pauline, Kaminsky Eva

Artikel/Article: [Verwitterungshöhlen in Gosau-Dolomit - brekzien bei Türnitz \(Niederösterreich\) 89-104](#)