

Zur Bildung der kavernösen Wandformen an der Nagelflufstufe bei Urstein

Erich Stocker

Einführung

Die breite Talsohle der Salzach im Bereiche der Halleiner Weitung und der Beckenboden von Salzburg wird von einer Reihe inselartig aufsteigender Restberge aus Konglomeraten überragt; sie bilden ausgesprochene Landschaftsmarken, wie beispielsweise der Georgenberg bei Kuchl, der Hellbrunner Berg oder der Mönchsberg, da sie meist mit einem krassen Fußknick steil oder wandartig bis zu einer Höhe von 60 m aufsteigen und flache, sanft wellige Plateaus besitzen. Vom Talboden aus gesehen entsteht so der Eindruck von Tafelbergen. Daneben besitzen diese Konglomerate auch randlich des Salzachtals, wie beim Adnetter Riedel bizarre und von Höhlungen gegliederte Wände. Die Wandstufen, welche einen solchen Nagelflufrest bei Urstein nördlich von Puch begrenzen, heben sich durch einen besonderen Reichtum an löchrigen bis halbhöhlenartigen Verwitterungsformen hervor.

Beim Baumaterial dieser inselartigen Aufragungen handelt es sich um verfestigte Schotter, Kiese und Sande von großteils kalkalpiner, aber auch zentralalpiner Herkunft mit einer horizontalen bis schrägen Schichtung. Nach den Vorstellungen von PENCK (1910), STUMMER (1936), DELNEGRO (1949/50) und SEEFELDNER (1961) entstanden die Sedimente als Ergebnis von Deltaschüttungen in Seen, welche sich jeweils nach einer Eiszeit im Stammbeckenbereich des Salzachgletschers bildeten. Dabei ermöglicht die Deltaschichtung der Ablagerungen die genaue Bestimmung der Seespiegelhöhen und damit einen Hinweis auf das Alter. Jene Nagelfluf, die eine Seespiegelhöhe von 530 m erkennen läßt, wurde in die Interglazialzeit von Mindel-Riß eingestuft, jene mit einer rekonstruierbaren Seespiegelmarke von 490 m ins Riß-Würm Interglazial, wobei man sich die Entstehung nicht so sehr interglazial-warmzeitlich vorstellen muß, sondern unmittelbar nach Rückzug des jeweiligen Salzachgletschers, also eher spät-mindelzeitlich beziehungsweise spätrißzeitlich. Nach der Absenkung der Seespiegel kam es jeweils wieder zur teilweisen Ausräumung durch die Salzach. Auch die späteren Eiszeiten trugen noch zur Überformung dieser Akkumulationen bei.

Die Tatsache, daß die noch vorhandenen Restberge teils von halbhöhlenartig durchlöchernden Wänden umgeben sind, legt die Frage nach der Entstehung derartiger Wandformen nahe. PENCK (1894) weist schon auf den Kleinformenschatz dieser Nagelflufwände hin und erklärt diese Höhlungen durch Ausbröckeln wenig verfestigter Partien. Er bezeichnet sowohl wabenartige Formen als auch größere Kavernen nach ihrem klassischen Vorkommen im Granit auf Korsika nach der dortigen Lokalbezeichnung als „Tafoni“.

CZOERNIG-CZERNHAUSEN (1926) erklärt die nischenartigen, oft horizontal angeordneten Halbhöhlen bei Urstein in seiner Monographie über die Höhlen Salzburgs durch „Korrasion entlang ehemaliger Strandlinien“ der Salzach. An vielen Beispielen wird klar, daß sich die Kavernen selbst unabhängig von fluviatiler Seitenerosion entwickeln, doch muß man sich den Salzachfluß während einer eiszeitlichen Abschmelzung als ausgebreitetes Torrentenbett mit umfangreicher Tendenz zur Seitenerosion vorstellen. Während die eiszeitlichen Gletscher die Konglomeratrestberge eher zu Rundbuckeln abgeschliffen hatten (die welligen Plateauformen mit Moränenresten und Gletscherschliffen zeugen davon), ist die Steilhang- und Wandbildung der Restberge wohl primär auf Flußunterschneidung zurückzuführen. Erst diese Steilhangbildung, wie man sie etwa rezent aktiv an einem von der Taugl unterschrittenen Restberg bei Vigaun beobachten kann, war der Anlaß zu einer kavernösen Gestaltung. Obwohl bereits PENCK

(1894) diese Formen als „ungemein bezeichnend für die zu Nagelfluh verkitteten Terrassenschotter vieler Alpentäler“ hält, bestehen kaum nähere Untersuchungen zu deren Morphogenese, ganz im Gegensatz zur umfangreichen Literatur über die Tafoniprotektat im Mittelmeerraum.

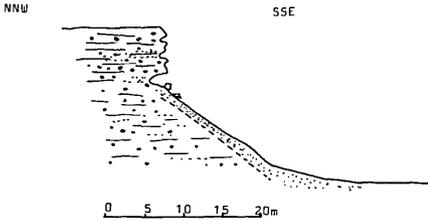


Fig. 1: Profil durch den Südrand der Nagelfluhstufe bei Schloß Urstein

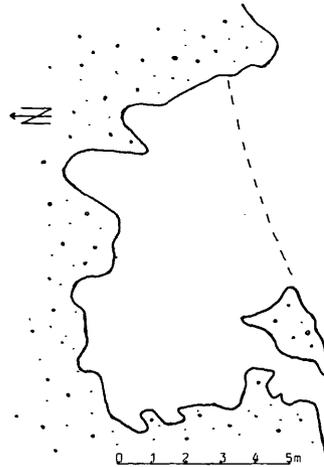


Fig. 2: Kavernengrundriß an der Wandstufe südlich Schloß Urstein. Die sackartige Form wird durch zahlreiche sekundäre Einbuchtungen zerlappt.

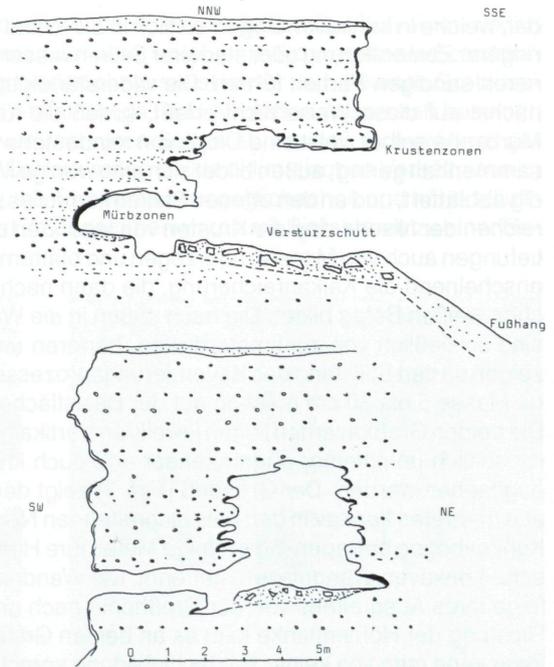
Kavernierungen an den Nagelfluhwänden bei Urstein

Südlich und westlich von Schloß Urstein befinden sich die Kanten einer insgesamt etwa 20 m hohen Nagelfluhplatte, deren Oberfläche infolge Eisüberformung leicht wellig nach N und E in den Talboden übergeht. Es handelt sich nach PIPPAN (1963) um Riß-Würm-interglaziale, von der Salzach abgelagerte, zementierte Kiese mit sandigen Einschaltungen, welche typische fluviale Kreuzschichtungen zeigen. Neben dem kalkalpinen Material ist ein beträchtlicher Teil der Komponenten zentralalpiner Herkunft.

Die etwa 400 m langen, 10 bis 20 m hohen Wandabfälle zur Salzach hin (WSW) sind fast zur Gänze von schichtgebundenen Wandnischen eingenommen, es gibt jedoch auch eine große Kaverne (vgl. CZOERNIG-CZERNHAUSEN 1926), welche anthropogen verändert wurde. Ansonsten scheinen nur wenige größere Kavernen auf, löchrige Formen sind jedoch weit verbreitet. Am Wandfuß lagern an einigen Stellen abgebrochene Wandpartien, zum Teil kommt es auch zu einer geringfügigen Verhüllung mit Lockermaterial.

Der SSE-exponierte Steilrand von ca. 200 m Länge (Bild 1) zeigt jedoch eine Fülle unterschiedlichster Kavernierungsformen, welche bis über 5 m tief in die Wand eingreifen. Die Wandstufe mit ihrer scharfen Oberkante (Fig. 1) fällt etwa 5 bis 10 m ab; ihr ist ein konkaver Fußhang vorgelagert, der wiederum auf der spätglazialen Hammerauterrasse (PIPPAN, 1960, 1969) aufsitzt. Zwei große Kavernen setzen nahe dem Wandfuß an und dringen mit leicht ansteigenden Böden sackartig mehrere Meter tief in die Nagelfluhwände ein (Fig. 2, 3). Die Außenbereiche der einige Meter hohen Kavernendecken erscheinen infolge Versinterung gehärtet, während an den sackartigen Enden der Höhlungen die Wandpartien stark aufgemürbt und feucht sind und teilweise grünliche Algenüberzüge besitzen. Von diesen Mürbzonen der Wände erfolgt offensichtlich rasches Abbröckeln und Absanden, da hier die Kavernenböden mit einer oft mächtigen Lockermateriallage bedeckt sind, welche aus den Konglomeratkomponenten und der zu pulvrigen Material umgewandelten Matrix besteht. Vergleicht man die Anlage der Kavernen mit dem Schichtbau, so kann hier nur teilweise eine Übereinstimmung mit der Lage der weniger resi-

Fig. 3: Längs- und Querprofil durch eine Kaverne an der Wandstufe südlich Schloß Urstein. Trotz Schichtgebundenheit der Detailformen durchbrechen die Großkavernen auch die stärker verfestigten Nagelfluhschichten.



stentesten Schichten festgestellt werden, vor allem am Eingangsbereich. Ab einer gewissen Kavernentiefe scheint sich jedoch eine Eigendynamik der Entwicklung abzuzeichnen, die nicht mehr mit dem Schichtbau der Konglomerate in Einklang steht. Daneben existieren Zusammenhänge mit Vertikalbrüchen; diese Unstetigkeitsflächen, die das Eindringen von Sickerwässern begünstigen, erzeugen prädestinierte Ausgangssituationen für das Wachstum von größeren Kavernen. Das raschere Umsichgreifen der Kavernierungen im Umkreis solcher Fugen und Schichtbänke führte hier auch zur Bildung von fensterartigen Durchgangsöffnungen zwischen größeren Hohlräumen. Aktivzonen der Kavernierung stellen die bereits erwähnten Mürbzonen



Bild 1: Nagelfluh-Wandstufe bei Schloß Urstein mit schichtangepaßten Wandnischen und einer Großkaverne.

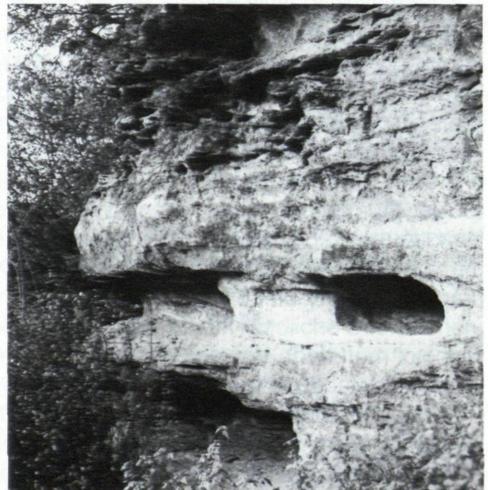


Bild 2: Basale Wandnischen mit Breitenentwicklung und Anlehnung an die weniger resistenten Schichtbänke; im höheren Wandbereich Krustenbildung und Alveolen.

dar, welche in konkaven Bögen seitlich in die Wand vordringen und dabei entweder infolge geringerer Zementierung oder stärkerer Sickerwasserführung bevorzugt zur Ausräumung der feineren sandigen Partien führen. Die widerständigeren Deck- und Basisschichten werden zunächst auf diese Weise nicht erfaßt, sodaß die für Tafoni typischen Baldachine fehlen. Die Mürbzone selbst weist eine Dicke von mindestens 10 cm auf. Das Material ist feucht, der Zusammenhalt gering; außen bildet sich eine wenige Millimeter dicke lockere Kruste, welche ständig abblättert, und an den offenen Stellen kommt es zum Absanden. An den weniger aktiven Bereichen der Nische sind die Krusten von lebenden oder abgestorbenen Grünalgen und in Vertiefungen auch von Moosen überzogen und blättern seltener ab; diese Grünalgen begünstigen anscheinend die Kalkanreicherung, die dann nach dem Absterben der Algen einen einheitlichen weißen Belag bildet. Die nach außen in die Wand übergehenden Seiten der Hohlformen sind schließlich von zentimeterdicken, härteren und schalenartigen Krusten überzogen und zeigen so den Stillstand des Kavernierungsprozesses an. Der Detritus lagert als lockere, sandige Masse 5 bis 30 cm mächtig auf der Basisfläche.

Die beiden Großkavernen liegen jeweils an Vertikalbrüchen und können als das Produkt mehrerer seitlich unmittelbar angrenzender und auch knapp übereinanderliegender Wandnischen angesehen werden. Der Grundriß (Fig. 2) zeigt deutlich die Zusammengesetztheit der Form aus mehreren konkav in den Fels eingreifenden Nischen mit Mürbzonen; die Durchmesser der Konkavbögen betragen meist einige Meter, ihre Höhen meist einige Dezimeter; sie werden von spitz-konkaven Wandpfeilern getrennt. Die Wandnischen liegen auch häufig übereinander. Infolge ihres Ausgreifens von der Großhöhle nach der Seite und von den Außenwänden her in Richtung der Höhlenflanke kam es an beiden Großkavernen zu fensterartigen Durchgängen. Zwar kann man von keiner Baldachinbildung sprechen, doch wölbt sich die Decke im Zentrum tonnenförmig. Ansonsten wird sie von mehr oder weniger horizontalen, härteren Schichtlagen gebildet, welche kaum Kalkabsonderungen und Algenüberzüge besitzen; es kommt hier zum Abbrechen von ganzen Plattenteilen. Die Böden fallen im Inneren generell leicht nach außen ab, der Eingangsbereich ist vielfach so stark verschüttet (Lockermaterialbedeckung von über 50 cm Mächtigkeit), daß sich hier ein ebener bis leicht nach innen geneigter Boden gebildet hat.

L ^a	F ^a	L ^m	F ^m	L ⁱ	F ⁱ
5/12° (33%)	7/18° (40—45%)	5° (40%)	2/4° (55—60%)	4° (55%)	2/3° (55—60%)
3/4° (34—38%)	15/20° (42%)	3/4° (45%)	1/3° (48%)	3/4° (54%)	1/3° (58%)
—5° (43—45%)	—4° (48—50%)	—3/—4° (50—55%)	0/1° (58—60%)	—3° (60%)	1° (65%)
—10,5° (40%)	—5,5° (48%)	—9° (44%)	—2,5° (48%—62%)	—6,5° (46%)	—0,5° (50—66%)
24°	18/27°	20°	8/14°	18°	8°
21° (27—30%)	21/32° (31%)	20° (30—31%)	11/13° (30—38%)	17° (38—40%)	9/13° (45—50%)

Tab. 1: Messungen der Lufttemperaturen und der relativen Luftfeuchtigkeit an einer Kaverne bei Urstein. Luft außen (L^a), Fels außen (F^a), Luft Kavernenmitte (L^m), Fels Kavernenmitte (F^m), Luft Kaverneninnerstes (Lⁱ), Fels Kavernentaschen (Fⁱ). Die Messungen erfolgten in der Reihenfolge nach am 4. 2. 86, 14.15 Uhr, 5. 2. 86, 14.30 Uhr, 5.2. 86, 8.00 Uhr, 9. 2. 86, 9.00 Uhr, 8. 4. 86, 15.00 Uhr, 9. 4. 86, 14.00 Uhr.

Das Zusammenwirken mehrerer Wandnischen bei der Entstehung von Großkavernen erklärt auch die Tatsache, daß diese größeren Formen sich über unterschiedlich resistente Schichtlagen hinwegsetzen; die für die Raumbildung hinderlichen, meist härter verbackenen Grobkieslagen werden nicht durch den eigentlichen Absandungs- und Ablätterungsprozeß beseitigt, sondern brechen infolge Unterminierung von mehreren Seiten ab, so daß sich größere geschlossene Hohlräume entwickeln können. Dabei werden die kleinklimatischen Verhältnisse im hintersten Kavernenbereich immer mehr durch Temperaturousgeglichenheit und höhere Luftfeuchtigkeit abgewandelt (Tab. 1). Dies führt im Zusammenwirken mit Biofaktoren zu einer Begünstigung des Kavernenwachstums.



Bild 3: Ausgang einer mit Kalkkrusten ausgestatteten Wandnische. Auch die Außenwände sind von abblätternden Krusten überzogen.



Bild 4: Die Anhäufung löchriger, wabenartiger Verwitterungsformen, welche von dünnen Krusten überzogen sind, führt zu verstärkten mikro-klimatischen Gegensätzen zwischen dem Inneren der Hohlformen und der Außenwand und wird so zum Ausgangspunkt einer Nischenbildung.

Eine zweite Formengruppe ist durch die starke Anlehnung der Hohlräume an Lagen mit scheinbar geringerem Verkittungsgrad gekennzeichnet (Bild 2). Die etwas kleineren Formen zeigen eine auffallende Breitenentwicklung, können aber auch einige Meter tief eindringen, wobei Übergangsstadien zum ersten Kavernentyp auftreten. Ihre Verbreitung ist auf die ganze Wand verteilt, zwischen den Lagen mit stärkerer Kavernierung treten verhärtete Felsleisten gesimseartig hervor. Trotz dieser augenscheinlichen Anpassung an den Schichtbau sind die Hohlräume meist rundlich begrenzt, zeigen innen wieder eine ähnlich Wachstumszone mit Aufmürbung der taschenartigen Wandbegrenzungen und außen eine auffallende Verhärtungszone mit Krustenbildungen, aber auch Abschuppungen der Kruste, welche sich nicht an die Schichtlagen, sondern genau an die Wandungen der Hohlräume anpassen (Bild 3). Die dünnen Kalkkrusten überziehen auch geschützte Außenwandbereiche und erzeugen glatte, rundliche Oberflächen. Auch an trockenen, S-exponierten Außenwänden kommt es infolge von Ablättern lockerer Krusten, die von weißen Kalkeffloreszenzen durchzogen sind, zu einem Materialabbau, welcher insgesamt Glättungen der Wände hervorruft. Daneben bewirkt ein Abplattieren zentimeterstarker Schalen eine raschere Wandrückverlegung. An besonders anfälligen, meist feinsandigen Wandpartien treten entweder netzartig löchrige Verwitterungsformen auf, die außen wiederum von millimeterdicken lockeren Krusten überzogen werden. Sie sind meist unregelmäßig verteilt, zeigen aber auch stellenweise Ansätze zu Mustern der Wabenverwitterung. Oft kommen sie auch vergesellschaftet mit taschenartigen Alveolen vor, die schon Eintiefungen von mehreren Dezimetern erreicht haben (Bild 4).

Die Detailmorphologie der Stufe ist insgesamt durch eine Vielfalt von lochartigen bis halbhöhlenartigen Verwitterungsformen gekennzeichnet, welche von Zentimeter- bis nahe Dekameterdimensionen reichen. Nimmt man nach der Größenordnung der Formen eine Typisierung vor, so heben sich drei Gruppen von Hohlformen hervor:

- metergroße, sackartige Gebilde, meist mit Verzweigungen,
- breite, stark schichtgebundene Wandnischen im dm- bis m-Bereich,
- löchrige bis alveolenartige Kleinformen im cm-Bereich.

Zur Genese der kavernösen Wandformen

Die Initialgenese der Steilböschungen der Nagelfluh geht in den meisten Fällen wohl auf fluviale Zerschneidung der alten Schotterplatten zurück. Mit dieser Zerschneidung ist auch primär eine Unterschneidung der Schotter anzunehmen. Daß sich aber dennoch keine Begradigung etwa in Form einer Terrassenböschung durchsetzen konnte, muß mit den spezifischen Verwitterungsprozessen an verfestigten Schottern zusammenhängen. Dabei entsteht eine Tendenz zur Erhaltung bzw. Verschärfung der Wandformen, da auch jene Wände, welche bereits über einer höheren Terrasse aufsteigen und daher schon längere Zeit nicht mehr durch aktive Unterschneidung steilgehalten werden konnten, keine Abschrägung zeigen. Allerdings können vor allem am SE-Fuß der Nagelfluhplatte von Urstein flachere Fußhänge beobachtet werden, die auf ein gewisses Zurückschreiten der Felswand hindeuten. Die kavernöse Formung der Wände scheint dabei eine wesentliche Rolle zu spielen, da eine Steilhaltung oder Verschärfung von Böschungen nur durch aktive Unterminierung möglich ist.

Formen der kavernösen Verwitterung scheinen in der Literatur teils unter der Bezeichnung „Tafoni“ (PENCK, 1894; JENNINGS, 1968) auf, teils wird der Terminus „Bröckellöcher“ (WILHELMY, 1981) verwendet. Da es bis heute keine einhelligen Vorstellungen über den Prozeß der Bildung dieser Hohlformen gibt, kommt vielfach die rein morphographische Bezeichnung der „kavernösen Verwitterungsformen“ zur Anwendung (CALKIN & CAILLEUX, 1962; DRAGOVICH, 1969; HÖLLERMANN, 1975).

Zwar ist bekannt, daß diese Formen in allen geographischen Breiten vorkommen, am besten sind sie jedoch im subtropischen bis wechselfeuchttropischen Raum ausgeprägt, also in Gebieten mit starken saisonalen oder täglichen Temperatur-Schwankungen und einer beträchtlichen Einstrahlung (MARTINI, 1978). Im wesentlichen wurden immer wieder drei Typen von Tafoni unterschieden: Basistafoni, Seitentafoni und Formen der Wabenverwitterung (WILHELMY, 1958; JENNINGS, 1968). WILHELMY (1958) betont jedoch den grundsätzlichen genetischen Unterschied zwischen Tafoni, welche seiner Meinung nach Ergebnisse einer chemischen Verwitterung unter Hartrinden sind, und Bröckellöchern (wozu auch die Wabenstrukturen zu zählen sind), die in allen Klimaten vorkommen und Aushöhlungen zwischen härteren, zelligen Inkrustationen darstellen, deren Oberfläche jedoch nicht gepanzert ist.

Da die Hohlraumbildung an den untersuchten Wänden bei Urstein nicht durch einfaches Herausbröckeln lockerer Bestandteile zwischen gehärteten Krustengittern erklärt werden kann, sind diese Formen trotz gewisser Schichtgebundenheit **keine** Bröckellöcher im Sinne von WILHELMY (1981). Sie können aber auch seinem Tafonibegriff nicht zugeordnet werden, da keine Hohlraumbildung infolge Kernverwitterung unter Hartrinden vorliegt; Krusten und Schalen werden hier primär an den Innenseiten der Hohlräume ausgebildet und tragen daher eher zur Fossilisierung der Kavernen bei.

Die Formen lassen sich jedoch unter einer weiteren Fassung des Tafonibegriffs (RONDEAU, 1961; JENNINGS, 1968; DRAGOVICH, 1969; MARTINI, 1978) einordnen. So betonen etwa DRAGOVICH (1969) und MARTINI (1978) die Bedeutung der differentiellen Verwitterung, also die infolge unterschiedlicher mikroklimatischer Verhältnisse bedingte größere Effektivität der Verwitterung an der Felsinnenseite. Selbstverständlich muß für die beschriebenen Formen eingeschränkt werden, daß eine starke strukturgerichtete Ausdehnung erfolgt. Diese Strukturen

spielen jedoch weder bei den Kleinstformen der Wabenverwitterung morphologisch eine Rolle, noch sind sie bei den Großformen entscheidend. Außerdem ist es kaum vorstellbar, daß bei Fehlen der für die Kavernierung ungünstigen, fester verbackenen Groblagen, der Aushöhlungsprozeß zum Stillstand käme.

Flache Schichtlagerung unterschiedlich resistenter Gesteinspakete bewirkt zunächst einen Impuls für die Initialgenese von Lochbildungen, welche bei längerer Entwicklung in der Summe eine Wandeinbuchtung ergeben und ab diesem Zeitpunkt die mikroklimatischen Gegensätze zwischen Außenwand und Hohlraum verstärken. Die Nischenbildung kann deswegen nicht allein auf Gesteinsheterogenitäten der einzelnen Schichten zurückgeführt werden. Ein und dieselbe Schicht erscheint am Kavernenausgang oder an der Außenwand gehärtet, während sie im Innenbereich der Kavernen als mürbe Masse stetiger Absandung unterliegt.

DRAGOVICH (1969) mißt dem Mechanismus der Verwitterung an der Bodenoberfläche eine entscheidene Bedeutung zu; auch die Kavernierungen an der untersuchten Schichtstufe setzen zum Großteil an der Wandbasis an. Dabei spielt offensichtlich der Kontakt zwischen Felswandstufe und Boden eine wesentliche Rolle, da die Kavernierungen grundsätzlich von dieser Basis leicht ansteigend nach innen wachsen und die Felsleiste mit wachsender Entfernung von immer mächtiger werdenden Detrituslagen bedeckt wird. Die Unterminierung der Felswandstufe an der Basis bringt immer wieder auch den Absturz von Wandteilen mit sich, so daß die Wandbasis durch dieses anfallende Material erhöht wird. Die größeren Kavernen sind daher an ihrem Ausgang durch herabgestürztes Material so stark verschüttet, daß nicht nur die basale Felsleiste, sondern auch teilweise die Decke der Initialhöhlung fossilisiert wurde.

Die Tendenz zur Kavernierung der Felswandstufe wird neben den beobachteten mikroklimatischen Gegensätzen und der dadurch verursachten differentiell wirksamen Verwitterung und Abtragung auch noch durch Krusten- und Rindenbildung verstärkt. Die Krustenbildung geht in diesem Fall nicht gesteinsintern, also das Netz der Bröckellöcher vorbereitend vor sich, sondern entwickelt sich erst im Laufe des Wachstums an den Kaverneninnenwänden. Dabei sind verschiedene Stadien feststellbar. Im Bereiche der Wachstumszonen der Kavernennischen bilden sich über den Mürbzonen ständig abblätternde, dünne und lockere Krusten; in einiger Entfernung davon werden die Krusten resistenter und sind entweder von lebenden oder von abgestorbenen Grünalgen überzogen; um diese kommt es zu einer reichlichen Kalkablagerung. Schließlich folgen an den trockeneren von der Felswand angeschnittenen Kavernenteilen dicke Kalkkrusten von sinterartiger Zusammensetzung, welche die alten, ursprünglich aktiven Hohlkehlen fossilisieren.

Die Abfolge von lockeren zu immer härteren und dickeren Krusten, von der Aktivzone der Hohlkehlen bis zum Kavernenausgang, geht Hand in Hand mit einer Verfestigung und Stabilisierung der am weitesten überhängenden Kavernenbereiche; hier findet vermindertes Absanden, Abbröckeln oder Abschuppen und wahrscheinlich auch Abbrechen von Deckenteilen statt. Bei den echten Tafoni hingegen liegt die Hartkruste außerhalb der Hohlformen an den sonnenbeschienenen Gesteinsoberflächen, das Tafoniinnere weitet sich vor allem im Decken- und Nischenbereich durch Abblättern und Abgrusen ständig aus. Dabei ist eine Begünstigung durch die Einwirkung von Salzen aus der Luft oder aus dem Boden unumstritten (FRENZEL, 1965; KLAER & WASCHBISCH, 1981); insgesamt kommt es zu kleinklimatischen und morphodynamischen Kontrasten zwischen Tafonihöhlung und Außenwand. Die hier untersuchten Kavernen sind dagegen durch morphodynamische Gegensätze innerhalb der Kaverne gekennzeichnet, nämlich durch intensive Verwitterung an den Mürbzonen der inneren Taschen und Krustenkonservierung im äußeren Hohlformenabschnitt, ein Mechanismus, der schließlich zu ihrer Vergrößerung führt.

Die Außenwände, die noch nicht von Höhlungen angegriffen sind, werden nur von dünnen, lockeren Krusten überzogen, welche allerdings Anlaß zu löchriger Verwitterung geben, da die entstandenen mikroklimatischen Differenzierungen das Herausbröckeln von Einzelpartikeln fördern. An Stellen, wo sich löchrige Kleinformen zu wabenartigen Gebilden anhäufen, wird

schließlich die Entstehung größerer Alveolen verursacht (Bild 4). Die weitere Entwicklung der Hohlformen dürfte aufgrund des Selbstverstärkungseffektes der mikroklimatischen Gegensätze beschleunigt vor sich gehen. Es ist ferner anzunehmen, daß dem Sickerwasserstrom sowohl für die Bildung kleinklimatischer Differenzierungen (Feuchtigkeitszufuhr), als auch für die Kalkkrustenbildung eine größere Bedeutung zukommt. An den Stellen größter Luftfeuchtigkeit und konstanter Temperaturen können die kalkhaltigen Sickerwässer zu keiner Krustenbildung, sondern nur zur Zermürbung führen. Auch wenn insgesamt die Mechanismen der Krustenbildung hier in anderer Relation zur Hohlraumbildung stehen als bei den klassischen Tafoni, bewirken sie doch eine zu den Tafoni konvergente Formenentwicklung.

Zusammenfassung

Nördlich von Golling wird das breite Sohlental der Salzach von einer Reihe oft inselförmiger Restberge aus „interglazialer Nagelfluh“ überragt. Die meisten besitzen Wandabfälle mit auffallenden löchrigen bis kavernenösen Verwitterungsformen. An der Konglomeratstufe bei Urstein kommen neben kleineren Alveolen auch schichtgebundene Wandnischen und mehrere Meter große, mit Verzweigungen und Durchgängen ausgestattete Kavernen vor. Die innersten Nischen sind von aufgemürbten Wandzonen begrenzt und erweitern sich unter ausgeglichenen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit durch Absanden am raschesten. Nach außen werden die Kavernenwände immer häufiger von krustenbildenden Kalkabsonderungen überzogen, welche einen Wachstumsstopp in der Ausweitung bewirken. Die große Aktivität von Absandungs- und Abbröckelungsvorgängen im Kaverneninneren führt auch zum Nachstürzen resistenterer Schichtbänke, so daß die Hohlraumentwicklung bei den großen Kavernen nun eigendynamisch und nur mehr sekundär strukturangepaßt vor sich geht. Ausgangspunkt für die Bildung der Formen ist der sich verstärkende Effekt mikroklimatischer Differenzierungen in inhomogenen Konglomeratlagen. Da die Krustenbildung entscheidend an der Formung der Hohlräume beteiligt ist, kann man von Konvergenzformen zu den echten Tafoni sprechen. Für die Bildung von Mürbzonen einerseits und Krusten andererseits dürften kalkhaltige Sickerwasserströme aber auch Algenbildungen maßgebend sein, welche die Kalkabscheidungen begünstigen.

Literatur

- CALKIN, P. und CAILLEUX, A., 1962: A quantitative study of cavernous weathering (taffonis) and its application to glacial chronology in Victoria Valley, Antarctica. — *Z. Geomorph.* 6, 317—324.
- CZOERNIG-CZERNHAUSEN, W., 1926: Die Höhlen des Landes Salzburg und seiner Grenzgebiete. *Spelaeol. Monogr. X.*, 36—66.
- DEL NEGRO, W., 1949/50: Geologie von Salzburg, Innsbruck, 348 S.
- DEL NEGRO, W. 1979: Erläuterungen zur geologischen Karte der Umgebung der Stadt Salzburg 1:50.000. — *Geol. Bundesanst. Wien*, 41 S.
- DRAGOVICH, D., 1969: Die Entstehung kavernöser Oberflächen in granitischen Gesteinen (Tafoni) in Südastralien. — *Z. Geomorph.* 13, 163—181.
- FRENZEL, G., 1965: Studien an mediterranen Tafoni. — *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* 122/3, 313—323.
- HÖLLERMANN, P., 1975: Formen kavernöser Verwitterung („Tafoni“) auf Teneriffa. — *Catena* 2, 285—410.
- JENNINGS, J. N., 1968: Tafoni. — *The Encyclopedia of Geomorphology*, Ed.: R. W. Fairbridge, 1103—1104.
- KLAER, W. und WASCHBISCH, R., 1981: Neue Erkenntnisse über den Prozeß der Tafoniverwitterung. *Aachener Geogr. Arb.* 14, *Festschr. f. Felix Monheim zum 65. Geburtst.*, 67—80.
- MARTINI, I. P., 1978: Tafoni weathering, with examples from Tuscany, Italy. — *Z. Geomorph.* 22, 44—67.
- PENCK, A., 1894: *Morphologie der Erdoberfläche.* — Stuttgart 696 S.
- PENCK, A., 1910: Die interglazialen Seen von Salzburg. — *Zschr. f. Gletscherkunde* IV, 81—95.
- PIPPAN, Th., 1958—65: Berichte über geologische Aufnahmen auf den Blättern Salzburg, 63/4, Untersberg, 93/2, Hallein, 94/1, 1:25.000 und auf dem Stadtplan Salzburg 1:10.000. — *Verh. Geol. Bundesanst.* 1958—65.

- PIPPAN, Th., 1960: Geologische Kartierung im Salzachtal zwischen Kuchl und Grödig.— Mitt. d. naturwiss. Arb.-Gem. 11, 19—34.
- PIPPAN, Th., 1969: Anteil Salzachtal der Geologischen Karte der Umgebung der Stadt Salzburg. — Geol. Bundesanst., Zusammenstellung S. Prey.
- RONDEAU, A., 1958: Les „Boules“ du granite. — Z. Geomorph. 2, 211—229.
- SEEFELDNER, E., 1961: Salzburg und seine Landschaften. — Salzburg, 573 S.
- STUMMER, E., 1936: Die interglazialen Seen von Salzburg. — Verh. Geol. Bundesanst. Wien 1936, 101—107.
- WILELMY, H., 1981: Klimamorphologie der Massengesteine. — Braunschweig, 254 S.

Anschrift des Verfassers:
Univ.-Doz. Dr. Erich STOCKER
Institut für Geographie
Universität Salzburg
Hellbrunner Straße 34
A-5020 Salzburg

Jb. Haus der Natur, 10: 143—149; Salzburg 1987

Wissenschaftliche Karst- und Höhlenforschung in Salzburg

Harald Haseke-Knapczyk

1. Haus der Natur und Karstforschung

Das naturwissenschaftliche Museum der Stadt Salzburg und der Verein für Höhlenkunde in Salzburg haben schon seit jeher eng und fruchtbar zusammengearbeitet. Diese Kooperation, die in der umfangreichen höhlenkundlichen Abteilung des Museums ihren sichtbaren Ausdruck fand, wurde unter Eberhard STÜBER weiter intensiviert. Prof. STÜBER betätigte sich selbst mehrfach als Höhlenkundler, zum Beispiel bei Forschungsfahrten im Steinernen Meer oder zuletzt durch aktive Mithilfe bei der Suche nach dem verunglückten Höhlentouristen in der Fürstenbrunner Höhle (1981/82). 1976 wurde die gesamte, dem Landesverein für Höhlenkunde gehörende karstkundliche Sammlung dem Haus der Natur übereignet, als Dank und Anerkennung für die Unterstützung, die der Karstforschung seitens des Jubilars immer entgegengebracht wurde und wird. Momentan wird die höhlenkundliche Schauabteilung grundlegend umgestaltet und modernisiert.

Berührungspunkte ergeben sich mit Professor Eberhard STÜBER nicht nur als Leiter eines der fortschrittlichsten und interessantesten Museen Europas, sondern auch mit seiner ehrenvollen und schwierigen Funktion als Umweltschützer des Landes Salzburg. Den Karstforschern, die sich einem der empfindlichsten und labilsten Ökosysteme unserer Breiten widmen, ist der Ernst unserer Umweltsituation nur allzu bewußt. Umso wichtiger ist die Arbeit von E. STÜBER einzuschätzen, und der Umweltschützer und das Institut für Ökologie können sicher sein, im Konfliktfall mit der fachlichen Unterstützung der Karst- und Höhlenexperten rechnen zu dürfen.

2. Höhlen- und karstkundliche Forschung in Salzburg

Es gibt kaum einen zweiten Landschaftstypus, bei dem Bio- und Geosphäre derart vernetzt in Erscheinung treten wie im verkarsteten Relief. Höhlen- und Karstkunde ist daher von jeher als interdisziplinäre Wissenschaft verstanden worden, oder, um den trendgerechteren Ausdruck zu strapazieren, als ökologische Wissenschaft.

Tatsächlich hat aber die Ökologie, als problemorientiertes Herangehen an die untrennbaren Zusammenhänge innerhalb unseres Lebensraumes verstanden, in den letzten zehn Jahren ei-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen aus dem Haus der Natur Salzburg](#)

Jahr/Year: 1987

Band/Volume: [10](#)

Autor(en)/Author(s): Stocker Erich

Artikel/Article: [Zur Bildung der kavernösen Wandformen an der Nagelfluhstufe bei Urstein. - In: GEISER Elisabeth, Salzburg \(1987\), Naturwissenschaftliche Forschung in Salzburg. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. Mag. Eberhard Stüber, Direktor des Hauses der Natur und Landesumweltanwalt. Berichte aus dem Haus der Natur in Salzburg X. Folge Teil A. 135-143](#)