download unter www.zobodat.at

Ursachen und Formen des Höhlenverfalls im Frankenjura.

Von **R. G. Spöcker** (Nürnberg).

Vorliegende Arbeit soll meine im Frankenjura gesammelten Beobachtungen über die Verfallserscheinungen der Höhlen zusammenfassen. Selbstverständlich kann in dem gedrängten Rahmen auf dieses umfangreiche Sondergebiet der Höhlenkunde nur in ganz großen Zügen eingegangen werden.

Wenn auch die sehr verschiedene Beschaffenheit des fränkischen Karstes eine vielseitige Formenwelt der Höhlen hervorbringt, so erschien es mir doch geboten, die Ableitungen nicht über den Jura hinaus zu erweitern und zu verallgemeinern. Der Weißjura hat zwar neben der völlig schichtungslosen, massigen Ausbildung jede Art von Schichtung, die ein Karstgestein haben kann (dünnplattige Schichtung, dicke Bankung, Übergußschichtung), doch fehlt ihm als Teil des Schichtstufenlandes die mannigfache Ausdrucksform der Tektonik, wie sie dem Faltengebirge eigen ist. Gerade die Tektonik ist aber im wahrsten Sinne des Wortes ein einschneidender Faktor für den Höhlenverfall. Unberücksichtigt würden bei einer Verallgemeinerung z. B. auch die Verfallserscheinungen im Gipskarst bleiben. Dagegen habe ich nicht verzichtet, Hinweise auf andere Gebiete zu bringen, soweit ihre Erscheinungen zu Vergleichsschlüssen berechtigen. Ein Teil der Untersuchungsergebnisse dürfte trotz des örtlich beschränkten Beobachtungsbereiches über diesen hinaus Allgemeingültigkeit haben.

* * *

Der Höhlenverfall (vgl. a. Kyrle) ist jener Vorgang, der die ursprünglich hydromorphen Formen einer Höhle ganz oder teilweise in dynamomorphe umwandelt, wobei die Veränderung von einem geringen Betrag bis zur völligen Zerstörung einer durch Wasser geschaffenen Ausgangsform schwanken kann. Er führt morphologisch genommen die Höhle in ein sekundäres Formenstadium über, ist eine unter jeder Voraussetzung früher oder später eintretende Nachfolgephase aus ihrem primären Formenbereich und von letzterem sogar in gewissem Grade abhängig. Der Verfall vermag jede Altersstufe in der Entwicklung einer Höhle nachhaltig zu beeinflussen und wird im Greisenstadium der vorherrschende Gestalter an ihrem Bilde. Dem Höhlenhydrologen bereitet er bei seinen Arbeiten oft erhebliche Schwierigkeiten.

download unter www.zobodat.at

Wenn den Verfall auch bestimmte Gesetze beherrschen, so wird eine Rekonstruktion des hydrographischen Urbildes doch vielfach um so unmöglicher, je weiter der Verfallsprozeß umformend eingewirkt hat.

Unter Verfall hat man sich die Auflösung der Höhlengrenzflächen in größere Gesteinsteile vorzustellen, die dann entweder am Ort ihrer Absonderung bzw. ihres Niederbruches liegenbleiben oder aber auf Schrägflächen des Höhlenbodens durch Rutschen oder durch Wasserwirkung verfrachtet werden können (O. Lehmann, S. 104). Einer solchen Verformung wird die Sohle, werden die Wände und im stärksten Ausmaße die Decke zum Opfer fallen.

Der Frankenjura ist von vorwiegend senkrechten Spalten und Klüften durchsetzt, die ihn in wechselnder Dichte netzartig durchschwärmen. Ihre Anordnung und ihr Verlauf im Gesteinskörper erscheint infolge eines gewissen Parallelismus oder sich wiederholender Schnittwinkel gesetzmäßig vorgeschrieben. Solche Spalten werden nach Daubrée eingeteilt in

Verwerfungs- oder Bruchspalten, an denen eine Bewegung stattgefunden hat (Paraklasen);

gemeine Klüfte ohne gegenseitige Verschiebung der Spaltflächen (Diaklasen) und

feinste Gesteinsspalten, Haarspalten (Leptoklasen). (Daubrée, 1880, S. 269 ff., 1881, S. 136.)

Die Entstehung von Para- und Diaklasen ist vorwiegend tektonischen Ursachen zuzuschreiben; sie sind die sichtbaren Ausdrucksflächen verborgener Kraftfelder im Gebirgskörper und haben regionale Verbreitung. Die Leptoklasen können hingegen oftmals örtlich sehr gebunden sein und vorwiegend metasomatischen Vorgängen, wie Dolomitisierung (Andrée, 1912) und sonstigen Kraftentfaltungen chemisch-physikalischer Natur ihr Dasein verdanken. Diese Spalten spielen eine bedeutende Rolle bei der Abwicklung des Verfalls in Höhlen. Damit hängt es auch zusammen, daß in Zonen starker Gesteinszerrüttung (Polyklasen) frühzeitig größere Massenschäden hervorgerufen werden, als innerhalb kompakter und tektonisch weniger gestörter Gesteinskomplexe.

Sind die Spalten und Klüfte dem Gestein gegenüber offensichtlich Fugen sekundärer Entstehung, so kommt in den Schichtflächen eine Art hinzu, die primär bereits durch die Ablagerungsweise der Jurasedimente festgelegt ist. Auch die Schichtfugen gehen je nach der Bankungsmächtigkeit des Gesteins in wechselnder Dichte mehr oder minder wagrecht und gleichlaufend zueinander und werden von den Spalten in bestimmten Winkeln gekreuzt.

Spalten, Klüfte und Schichtfugen sind Trennungsflächen — auch Ablösungsflächen oder Flächen geringerer Kohäsion — im Gestein, die den Höhlenverfall neben anderem vorzeichnen. Die Wirkung des Verfalls ist bei den tektonischen Spalten die gleiche wie bei den Schichtfugen, beide sind für

download unter www.zobodat.at

ihn morphologische Leitmomente. An ihnen üben die Sickerwässer ihre Tätigkeit aus, arbeitet das Temperaturgefälle, wie überhaupt alle zerstörenden Einflüsse der Atmosphärilien. Es wirken chemische Ausfällungen (Montmilch, Kalkspat) und schließlich arbeiten auch noch Organismen an der Lockerung des Gesteinsgefüges. Außerdem sind sie schon von vorneweg Schwächezonen, die gegenüber den Spannungen im Gebirgskörper nachgiebig sein können.

Tektonische Spalten sind in erster Linie für die Höhlenwände flächenführend, da sie im Jura eine größere Abweichung als 30° von der Senkrechten selten erreichen. Die Schichtfugen hingegen bestimmen oft Gestalt und Verlauf der Höhlendecke, solange die Bänke waagrecht oder leicht geneigt sind, können jedoch bei starker Schrägstellung auch als Begrenzung in den Wänden wieder zum Vorschein kommen. Die Winkel, in denen Spalten und Schichtfugen sich überschneiden, wiederholen sich in der Großform des Verbruchmaterials (Taf. XVI, Fig. 2 u. 7) und sind bisweilen auch in den Kleinformen ausgedrückt. Die Schichtfugen in Zusammenwirkung mit den Diaklasen, seltener im Jura mit Paraklasen, formen also den Verbruch zu symmetrischen Figuren von kubischer bis plattiger, manchmal auch rhombischer Gestalt. Im ungeschichteten Gestein wird dagegen der Verfall von anderen Formen beherrscht. Sie sind nicht mehr geradflächig und wurzeln im großen und ganzen auch in anderen mechanischen Verfallsvorgängen.

Die Verfallserscheinungen, so vielseitig sie sind, gehen doch nur aus zwei elementaren Kräfteeinflüssen hervor, aus der endogenen und aus der exogenen Dynamik (Kayser, 1921). Letztere haben wir als Sickerwässer, atmosphärische Einflüsse u. dgl. bereits kurz gestreift. Die endogenen Kräfte stellen sich als das Ergebnis mannigfacher Spannungen innerhalb des Gebirgskörpers dar, Spannungen, die eben auch jene eingangs erwähnte tektonische Zertrümmerung der äußersten Erdkruste hervorrufen. Diese können sehr verschiedenartig sein und sich im wesentlichen in Druck, Zug, Biegung, Drall oder Scherung äußern, wobei die Richtung sowohl tangential als auch radial angeordnet sein kann. Mit einer ständigen radialen Energie wird immer zu rechnen sein, da diese in der Schwerkraft bedingt ist, die den senkrechten Belastungsdruck des Gebirges hervorruft. Die jetzt allgemein gültige Annahme von tangentialen Kräfteeinflüssen auf breiter Front (Walther, S. 284, Quiring, S. 70, K. Lehmann) dürften für die Weißjuratafel seit Ausräumung des Triasbeckens nicht mehr so sehr in Frage kommen. Für die auf dem plastischen Ornatenton und Impressamergel ruhende starre Scholle fehlt die wichtigste Voraussetzung, ein zweites Widerlager, welches sie, die ohnedies durch tiefe Zertalung in viele Einzelschollen gegliedert ist, einspannt. Ich halte daher auch alle jüngeren und jüngsten Bewegungen der Malmtafel für epigenetisch, nur dem Untergrund nachfolgend

download unter www.zobodat.at

und in ihrer Auswirkung den von Kranz gemachten Darlegungen entsprechend (Kranz, 1922). Auch die von Heim (1905) eingehend beschriebene Auswirkung des senkrechten Belastungsdruckes kann für den Jura nicht ins Gewicht fallen, weil die Höhlen im Durchschnitt nur von 30 m mächtigen Gesteinsmassen überlagert werden. Die größte im Jura über einer Höhle festgestellte Bergmasse beträgt 80 m (Maximilianshöhle). Darnach können heute die Ausquetschungen und Auslaugungen der plastischen Mergel und der weniger widerstandsfähigen Doggersandsteine, die den Weißjura unterlagern, von weit größerem Einfluß auf rezente Spannungen im Gesteinskörper sein, als alle anderen endogenen Kraftquellen. Pfaff (1868, S. 389) hat schon die häufigen Lagerungsstörungen im Malm als Auslaugungserscheinungen gedeutet, wenn er den Wurzelbereich auch noch innerhalb der Kalk- und Dolomitzone und nicht in den Mergeln und Sandsteinen suchte. Dieses u. a. durch Quelladern hervorgerufene unregelmäßige Entziehen der Unterlage muß naturgemäß starke Spannungen in den hangenden Gesteinsschichten nach sich ziehen, die der Schwerkraft folgend bestrebt sind, sich dem Untergrund anzupassen.

Jede Spannung im Gestein erfährt dort eine „Entspannung", wo ihr dazu der geringste Widerstand entgegengesetzt wird und dieser Vorgang äußert sich im starren Material in einem Aufreißen oder „Bersten". Die Höhlen sind im Hinblick auf den Gebirgskörper als schadhafte Stellen aufzufassen, die für Entspannungsvorgänge besonders empfänglich sind. Ich habe an einer Reihe von Laboratoriumsversuchen mit verschiedenem Material und besonders mit Solenhofener Plattenkalk festgestellt, daß der Bruch stets dort eintritt, wo der Versuchskörper durchbohrt ist, gleichgültig, welcher Art dabei der mechanische Einfluß ist. Man wird wohl ohne Bedenken eine ähnliche Voraussetzung im großen auch auf die Höhlen übertragen können. Darnach darf es nicht verwundern, wenn in ihnen oft so ausgedehnte Verfallsgebiete anzutreffen sind und die Anschauung Lehmanns, der den Versturz auf vorwiegend endogene Kräfte zurückführt, erhält in diesem Lichte eine wesentliche Stütze (O. Lehmann, S. 114).

Biese (1926) hat erstmals den Beobachtungen Heims im Tunnelbau folgend auf den Zusammenhang zwischen Profilen in den Dachsteinhöhlen und dem Gebirgsdruck hingewiesen. Seine Betrachtungen galten dabei weniger den eigentlichen tektonischen Spannungen, als vielmehr dem Belastungsdruck durch das Gebirge, unter dem in größerer Tiefe der Kalkkörper als latent-plastische Masse angenommen wird, und der durch Kraft $\times$ Zeit ein „Zuwachsen" der Hohlräume bedingt. Im Hinblick auf die Versuche Adams (1912) und die rechnerische Auswertung von King (1912) wird man das Kreisprofil der Höhle jedoch kaum als Zwischenform des Zuwachsens infolge versteckter Plastizität aufzufassen haben. Sie beginnt nach diesen

download unter www.zobodat.at

Autoren erst in 24 km Tiefe und das Vorhandensein von Hohlräumen bis zu 38 km Tiefe wird von ihnen noch für möglich gehalten. Auch Biese (1930) berichtigt ja diese seine Anschauung in gewisser Hinsicht in einer späteren Arbeit. Wie erwähnt treffen derartige Erwägungen für den Jura überhaupt nicht zu, da die verkarstungsfähige Malmscholle von Anbeginn kaum 300 m Mächtigkeit hatte und die nachher darübergelagerte Kreide ebenfalls keine ausschlaggebende Belastungsmehrung hervorrief. Was jedoch auch hier zu finden ist, sind Kreis- und Ellipsenprofile, die nicht als hydromorphe Formen angesprochen werden können. Dies scheint mir auch das Wesentliche an den beachtenswerten Ausführungen Bieses zu sein, die übrigens bei nicht zu abstrakter Auffassung bisherige höhlenhydrologische Theorien keineswegs so sehr ins Wanken bringen, als man glaubt.

In der Technik sind Formen bekannt, die als „statische oder Gleichgewichtsformen“ bei Brückenbau, Kanalbau usw. angewandt werden. Als solche gelten das Parabelprofil, das Eiprofil, das Froschmaulprofil und das gewöhnliche Gewölbeprofil. Es ist durchaus kein Zufall, daß gerade diese Profile in Höhlen immer wieder vorkommen und sich um so klarer finden, je gleichartiger das Gestein, je weniger es von tektonischen Klüften und Spalten und vor allem auch von Schichtfugen durchsetzt ist. Wie in der Technik darnach gestrebt wird, für alle Belastungsmöglichkeiten das günstigste Profil anzuwenden, so arbeitet umgekehrt die Natur auf ein Profil hin, das den mannigfachen Kräfteeinflüssen gewachsen ist. Erst bei Erreichung des Idealprofils tritt äußerliche Ruhe ein, vorher werden Teile des Hohlraumes, die nicht zu dem Gleichgewichtsprofil gehören, abgestoßen (Pollack, 1917), weil hier die Bruchspannung des Gesteins überschritten wird, und die Grenzflächen werden durch die Spannungen gewissermaßen „retuschiert“. Bei Druckeinwirkungen ist es beispielsweise so, daß die kleinere Krümmungslinie im Hohlraumprofil weniger druckempfindlich ist als die größere (Heim, 1908; Eckardt, 1913, S. 354), woraus sich wiederum die Notwendigkeit ergibt, daß erst ein Gleichgewichtsverhältnis zwischen Krümmung und Druck eintreten muß, um relative Ruhe zu schaffen. Der Gleichgewichtszustand kann natürlich durch den äußeren Faktor Verwitterung wieder gestört werden, was jedoch die inneren Kräfte nicht abhält, weiteren Ausgleich anzustreben. Als ein solches Gleichgewichtsprofil ist z. B. die immer wieder erscheinende Dom- oder Glockenform (Parabel) in hohen Einsturzhallen anzusehen (Kranz, S. 183), wovon im Jura ein ausgeprägter Vertreter das Windloch bei Großmeinfeld ist. Putik hat schon 1889 diese Zusammenhänge erkannt und auf sie hingewiesen, als er gelegentlich einer Beschreibung der Vrana jama äußerte: „Die Natur beobachtete hier schon lange vor aller menschlichen Kunst das Gleichgewicht des Bogendruckes“ (Putik, 1889, S. 70).

Besondere Aufmerksamkeit habe ich bei meinen Untersuchungen im Jura

download unter www.zobodat.at

den „Kreisprofilen“ der Höhlen gewidmet, an denen fast durchwegs ein blätterförmiges Abstoßen der Grenzflächen zu beobachten ist. Hiezu muß jedoch bemerkt werden, daß es Kreisprofile im engeren Sinne in Höhlen überhaupt nicht gibt, es sind immer mehr oder minder verdrückte Ellipsen, die nur augenscheinliche, aber keine geometrischen Kreise darstellen. Diese elliptischen Verfallsprofile (Taf. XVI, Fig. 6) treten vorwiegend im relativ homogenen Dolomit auf, gehören meist sehr alten, greisenhaften Höhlensystemen an und dürften unter dem Einfluß von Gebirgsspannungen entstanden sein, die weit energischer als die heutigen waren. Ich habe lange Zeit die blätterförmige Ablösung von den Höhlengrenzflächen bei solchen Profilen an den Höhleneingängen ausschließlich für Frostwirkung gehalten, ohne dabei allerdings einen hinreichenden Beweis für den dynamischen Vorgang zu haben. Mit zunehmendem Beobachtungsmaterial hat sich dann aber immer mehr gezeigt, daß der Frost bei dieser Verfallsform nur eine mittelbare Rolle spielt. Die Bruchflächen sind meist schon im Gestein vorgezeichnet und zu erkennen, sie schmiegen sich vollkommen dem Verlauf der Höhlendecke und der Höhlenwände an. Es kann ein Höhlenraum in seinen Grenzflächen aus Lagen von zehn und mehr Schichtblättern mit je 2 bis 4 cm Stärke bestehen, die bogenförmig an verschiedenen Seiten des Profils und diesem parallel angeordnet sind. Bezeichnend für so einen Verfallsmodus ist, daß er an den Felsen der Oberfläche als Verwitterungsform des Gesteins nicht vorkommt und völlig an Höhlen gebunden zu sein scheint. Man wird die Blatt-Textur daher wohl kaum anders auffassen können, als den Ausdruck statischer Ausgleichsbestrebungen um einen Hohlraum im oben dargelegten Sinne. Das ideale Gleichgewichtsprofil als letztes Ergebnis spricht ja auch für eine solche Auslegung. Es fragt sich nur noch, weshalb die Verfallsform vorwiegend an den Höhleneingängen sichtbar wird. Da scheint mir nun in erster Linie der Spaltenfrost die Ursache zu sein, der die Gesteinsblätter an vorgezeichneten Ablösungsflächen gewaltsam aus ihrem Gefüge reißt. Überhaupt unterstützt das starke Temperaturgefälle am Eingang die Spannungen im Gestein in ihrem Bestreben, die äußersten Raumbegrenzungen schalenförmig abzustoßen.

Heim (1905, S. 11) empfiehlt für den Tunnelbau in größeren Tiefen als vorteilhaftes Profil Kreisform. Das geschieht eben im Hinblick auf die nachteilige Tatsache, daß mit unbekannten Kraftrichtungen zu rechnen ist, die zu einem Profil zwingen, das allseits gleichstarke, gleichgerichtete und gleichsinnige Spannungen voraussetzt, selbst wenn es nicht als statisches Idealprofil angesehen werden kann. Im übrigen sind die Erfahrungen aus dem künstlichen Tunnel- oder Bergbau auf die natürlichen Höhlen nur bedingt anzuwenden, da der Faktor Zeit eine große Rolle bei ihrer Gestaltung spielt. Unter ihrem Einfluß wird auch die Elastizitätsgrenze eine andere, als sie z. B. auf experimentellem Wege ermittelt werden kann (Gillmann, 1912).

download unter www.zobodat.at

Als Ausdruck unmittelbarer endogener Kraftentfaltung beim Höhlenverfall ist schließlich die auf Taf. XVI, Fig. 8 gegebene Form noch festzuhalten. Sie ist unzweifelhaft eine Art des bekannten „Abbrennens" von Platten (Sprengschalen) an einer Hohlform, die den Belastungsansprüchen nicht gewachsen ist oder war. Diese Art des Höhlenverfalls findet man im Jura weniger häufig, und wo sie auftritt, ist in der Nähe ein größerer Verwerfungsbereich. Sie kommt z. B. in der Maximilianshöhle bei Krottensee vor (Spöcker, 1926), wo sie in Deckengewölben auftritt, und in der Distlergrotte, wo ich sie auf der Höhlensohle feststellte (Spöcker, 1929). Beide Höhlen liegen inmitten eines tektonisch stark beeinflußten Gebietes. Diese ausschließlich endogene Verfallserscheinung wird man wohl den letzten akuten Schollenbewegungen zuzuschreiben haben, die mit ihrer ungeheuren Kraftentfaltung in der Maximilianshöhle eine Verbruchwirrnis hinterließen, die für unsere Juraverhältnisse bedeutend zu nennen ist. Der parabolische Plattenabbruch (Taf. XIII a) schneidet die ehedem gegliederte Höhlendecke glatt durch, unbekümmert um Nischen und Felssporne, und schafft so ein ruhiges, gleichmäßiges Gewölbe. Auch in diesem Falle handelt es sich um schichtungsloses, homogenes Gestein. Als besonders auffällig muß bemerkt werden, daß bei allen Profilen mit blätterförmigem Abbruch und parabolischem Plattenbruch die sonst meist vorhandene tektonische Längsspalte im First und überhaupt eine Zertrümmerung des Gesteins fehlt. Sie treten also dort auf, wo sich die Spannungen im Gebirge nicht an anderen Entlastungsflächen Luft machen konnten (vgl. Heim, 1908, S. 34; Pollack, S. 142; Biese, 1930, S. 115). Dieser Höhlenverfall ist sonach nicht nur abhängig von der Bergfestigkeit, sondern in seiner letzten Auswirkung von der Bruchfestigkeit des Gesteins. Die Erscheinungen innerer Kräfte beim Höhlenverfall und die dabei entwickelte Zielstrebigkeit zu statischen Formen ist augenfällig. Neben Gewölbeprofilen kommen am häufigsten die Parabelprofile vor, die sehr oft in Beschreibungen als „kirchenschifförmig" oder „Spitzbogenprofil" (Pollack, S. 145) erwähnt werden. Die Verdrückung der Verfallsprofile nach der einen oder anderen Seite hin ist das Ergebnis der jeweiligen Kraftrichtung oder der Resultierenden aus verschiedenen Kräften. Die Richtungen der Kraftfelder im gegebenen Sonderfalle zu ermitteln, ist deshalb besonders schwierig, weil immer ein Teil der Profile, und oft sogar der größere, mit Einlagerungen erfüllt sein wird, wodurch die Figur nicht vollkommen beurteilt werden kann. Daß die Kraftlinien im Laufe geologischer Zeiträume Änderungen erfahren können, ist als sicher anzunehmen, da die Weißjuratafel durch Abtragung oder Aufschüttung, durch Auslaugung oder regionale tektonische Bewegung des Untergrundes auch wechselnden Gleichgewichtsverschiebungen unterworfen wurde und fortgesetzt noch unterworfen wird. Das muß gleichzeitig das Bestreben nach Formänderung in den Höhlenprofilen und ein Aufleben des Verfalls nach sich ziehen.

download unter www.zobodat.at

Wenn ich in Übereinstimmung mit anderen Forschern den endogenen Kräften beim Höhlenverfall auch ein weites Feld einräume, so möchte ich doch damit die Bedeutung der exogenen Kräfte nicht allzusehr in den Hintergrund gedrängt haben. Gerade letztere sind für uns meist augenfälliger, da sie sich besonders in den vorderen Teilen der Höhlen äußern, die zugänglicher sind als die vielfach durch Verbruch, Verlehmung und Versinterung abgeriegelten bergwärtigen Räume. Unter den mannigfaltigen zerstörenden Einflüssen ist es in erster Linie das Sickerwasser, welches das Gesteinsgefüge auflockert und für den Verfall vorbereitet. Das Maß der Kraftentfaltung lösungsfähiger Sickerwässer ist bestimmt durch ihren Gehalt an aggressiven Säuren, durch die Geschwindigkeit ihrer Durchsickerung und durch ihre Temperatur. Schließlich ist auch die Lösungsfähigkeit des Gesteins selbst ausschlaggebend (Ramann, 1921). Die Lösungskraft erlahmt mit der Strecke der vom Wasser durchronnenen Gesteinsmasse, wie es an aggressiven Säuren dabei einbüßt. Im allgemeinen darf man annehmen, daß die Lösungsfähigkeit unmittelbar an und unter der Erdoberfläche am größten ist, was neben statischen Momenten und tektonischer Vorbereitung ein wesentlicher Grund für den stärkeren Verfall in Oberflächennähe ist. Der Vorgang spielt sich dabei so ab, daß die angriffsfähigen Tagewässer in die Spalten eindringen und diese durch Lösung erweitern, wobei in erster Linie die Diaklasen, später auch die Leptoklasen angegriffen werden. Auf diese Weise erfolgt ein allmähliches Zerschneiden des Gesteinsverbandes und schließlich das Auseinanderfallen der so gelockerten Einzelteile, das durch innere Kräfte noch unterstützt werden kann. Bei größeren Gesteinsblöcken ist es nicht nötig, daß sie allseits vom Sickerwasser abgetrennt werden, es genügt oft nur die Lösung an einer Schichtfuge und Spalte. Der Block reißt durch die eigene Schwere ab, er wird in dem Augenblick plötzlich getrennt, da die Bruchfestigkeit überschritten ist. Im homogenen Material kann man dann vielfach wieder die Parabel als statische Linie beobachten (Taf. XVI, Fig. 1); aus heterogenem Gestein hingegen wird der weitverbreitete „polyedrische Verbruch“ hervorgehen. Die Abrißflächen sind dabei gänzlich anders geartet, als bei einer Abtrennung durch Lösungswässer; sie bestehen aus dichtgefügten, scharfkantigen Erhebungen und Vertiefungen, die man sofort als Zerreißungstextur erkennt.

Die Sickerwässer finden ihren Weg aber nicht nur in den drei eingangs dieser Arbeit erwähnten Arten von Spalten und Klüften, sondern auch in den Poren des Gesteins selbst. Es fällt bei diesbezüglichen Beobachtungen auf, daß das Gestein an den Eingängen und örtlich auch in bergwärtigen Räumen der Höhlen mit jahres- oder tageszeitlichen Wärmeschwankungen andere „Verwitterungsformen“ annimmt, als in stets gleichtemperierten Räumen. Diese Erscheinung buchte ich bisher unter der Sammelbezeichnung „Tageinflüsse“ oder „atmosphärische Einwirkungen“.

download unter www.zobodat.at

Die Gesteinsporen im Frankendolomit sind an sich so hochkapillare Hohlräume, daß eine Bewegung der Sickerwässer in ihnen und ein damit verknüpftes Erneuern ihrer Angriffsfähigkeit praktisch eigentlich nicht in Erscheinung treten sollte. Das Wasser wird in ihnen aufgenommen und offenbar festgehalten, da das bekannte Aufwärtsfließen nicht möglich ist, denn der Porenwert nimmt im Gestein mit der Entfernung vom Höhlenraum ab, was meine später noch zu erwähnenden Untersuchungen zeigten. Diese haben auch ergeben, daß in den Gesteinsporen etwas vorgeht, das man als „Atmen" bezeichnen könnte und mit dem Temperaturgefälle zusammenhängt; die Erscheinung macht sich schon bei geringen Wärmeunterschieden eben infolge der Feinheit der Poren bemerkbar. Der Vorgang ist so, daß sich das Wasser in den Gesteinsporen bei jeder Erwärmung ausdehnt, der Überschuß herausgepreßt, und umgekehrt bei Abkühlung wieder ein frischer, angriffsfähiger Betrag mit angesaugt wird. Dieser Vorgang wird dadurch noch verstärkt, daß sich das Porenvolumen mit zunehmender Erwärmung durch Schließen der Poren verringert, und umgekehrt bei Abkühlung wieder vermehrt. Es treten also in dem Verhältnis zwischen Poren und Porenwasser entgegengesetzte physikalische Bestrebungen auf, die sich in ihrer Wirkung summieren. Beim Ausstoßen des Porenwassers wird immer gelöstes und auch mechanisch verarbeitetes Gesteinsmaterial in festen Teilchen mit herausgespült und die Poren selbst erweitert. Das Ergebnis dieses Vorganges ist ein Teil dessen, was als Verwitterungsstaub an den Höhlengrenzflächen haftet.

Mit dem Aspirationspsychrometer habe ich, über Jahre ausgedehnt, in vielen Jurahöhlen etwa 500 Temperaturmessungen vorgenommen, die zeigten, daß bei statischen Wetterhöhlen in bergwärtigen Räumen mit Oberflächennähe jährliche Wärmeunterschiede von 6^0 C vorkommen können, und zwar von $+ 4$ bis $+ 10^0$ C. (Ausdehnungskoeffizient für Wasser 0.000000 bis 0.0000351.) Dieses Temperaturgefälle genügt durchaus, um die dort örtlich geänderte Verwitterungsform als Erklärung im vorstehenden Sinne mit herbeizuziehen. Um so mehr muß sich der Vorgang in den Eingangspartien auswirken, die schon die tageszeitlichen Wärmeschwankungen je nach der Größe der Höhlenquerschnitte mehr oder weniger mitmachen. Die Erscheinung und vor allem das Maß ihrer Auswirkung ist natürlich vollkommen abhängig von den meteorologischen Eigenschaften einer Höhle, also von der Lage ihres Einganges, den Bewaldungsverhältnissen an ihm, Verbindungen mit dem Tag, dem Oberflächenabstand überhaupt und dem aufsteigenden oder absteigenden Verlauf der Gänge.

Die vorgenommenen Temperaturbeobachtungen dienten gleichzeitig dazu, den Wirkungsbereich des Spaltenfrostes zu erfassen. Dieser ist in unseren Breitengraden und in der relativ geringen Meereshöhe, in der sich die Jurahöhlen befinden (400 bis 500 m ü. NN.), nicht groß. Bei Horizontalhöhlen

download unter www.zobodat.at

beschränkt er sich nur auf die vordersten Eingangsteile und dort vorwiegend auf die unteren Wandflächen, da an der Decke meist ausströmende Warmluft eine Unterkühlung nicht aufkommen läßt. Ein größeres Wirkungsfeld gewinnt der Spaltenfrost in kürzeren Durchgangshöhlen, in großlumigen Vorhöhlen und in weiten Schächten. In diesen tritt er oft sogar sehr lebhaft in Erscheinung, wenn sie nicht allzu tief sind. Dort steigen die Sommermaxima meist nicht über + 5° C, während sonst die von jahreszeitlichen Einflüssen unberührt bleibende Innentemperatur der Jurahöhlen + 8° C beträgt und nur in äußerst seltenen Fällen darüber hinausgeht (Spöcker, 1931). Die Unterkühlung kann daher in Schächten während des Winters durch einfallende Kaltluftmassen früher, stärker und nachhaltiger erfolgen als in Horizontalhöhlen.

Die mechanische Wirkung des Frostbruches ist einfach: das in den Gesteinsfugen vorhandene Sickerwasser kommt bei Minustemperaturen zum Gefrieren; in diesem relativ starren Aggregatzustand als Eis erfährt es eine Volumenzunahme von fast 9% und ist während seiner Entstehung fähig, auf die umschließenden Gesteinsmassen einen ganz erheblichen Wachstumsdruck auszuüben (Andrée, S. 13), der sich nach der Seite hin in Bewegung umsetzt, von der ihm der geringste Widerstand entgegentritt. Dadurch werden Teile der Höhlenbegrenzung in den Raum hereingedrückt, die sich, wenn auch nicht beim ersten Angriff, so doch im Laufe der Zeit völlig aus dem Gesteinsverband lösen. Wie jede mechanische Ursache im Höhlenverfall, so bringt auch der Frostbruch nur scharfkantige Formen hervor.

Alle angeführten Ursachen sind als Hauptfaktoren des durch exogene Kräfte hervorgerufenen Höhlenverfalls anzusehen, denen gegenüber andere Einflüsse, wie diejenigen der Organismen, der Kondenswässer usw. ganz erheblich zurücktreten. Als Ausnahme, die an selten vorkommende Bedingungen geknüpft ist, wäre noch der Höhlenverfall zu erwähnen, der infolge längerer Rauchentwicklung durch Lagerfeuer entsteht und von Schlosser beschrieben wurde (Schlosser, 1910, S. 392 u. 399). Der genannte Autor nimmt an, daß den Sickerwässern mit dem Rauch Kohlensäure (wohl aber auch schwefelige Säuren?) zugeführt wird, was die Angriffsfähigkeit auf das Gestein naturgemäß erhöht.

Was im Einzelfalle den Verbruch einer Höhle oder von Teilen derselben einleitet oder abschließt, wird nicht immer sicher zu entscheiden sein, denn es können außer den auf die Eingänge beschränkten alle Kräfte an ihrem Gesamtbau rütteln.

Der Höhlenverfall ist also der sichtbare Ausdruck einer Anzahl Kräfte, die sowohl einzeln, als auch vergesellschaftet und in ihrer Gesamtheit einzuwirken vermögen. Sein morphologisches Ergebnis läßt sich in zwei Formengruppen unterbringen, u. zw. in der Großform und in der Kleinform. Die Großform ist an die Diaklasen (Paraklasen) (Knebel, S. 46) sowie an

download unter www.zobodat.at

die Sedimentationsflächen oder aber im gut geschlossenen Gestein an eine reine statische Figur gebunden und wird häufig durch endogene Kräfte infolge Überbeanspruchung der Gesteinsfestigkeit hervorgerufen. Das Verfallsprodukt ist grobklastisches Felstrümmerwerk, das von den Trennungsflächen im Gestein oder von statischen Linien gestaltet wird und scharfe Kanten zeigt, soweit es nach Abbruch von einer weiteren Verwitterung noch nicht beeinträchtigt wurde. Diese ständig sich wiederholenden Vorbedingungen ergeben die auf Tafel XVI dargestellten Elementarformen.

Die Häufigkeit der einzelnen Grundformen im Jura anzugeben ist nur näherungsweise möglich. Es kommt bei Fazieswechsel im Gestein nicht selten vor, daß sich auch der Verfallstypus innerhalb eines Höhlensystemes wiederholt ändert. Die Darstellung der Figuren 3, 4 und 5 findet sich etwa in 80% aller bekannten und befahrbaren Jurahöhlen; diejenige der Figur 2 in 10%, während sich alle anderen auf die restlichen 10% verteilen.

Die einstige fluviomorphe Gestalt einer Höhle oder Höhlenstrecke kann aber auch trotz des eingetretenen Verfalls in der Großform noch vorhanden sein. Im homogenen, ungeschichteten Gestein ist es möglich, daß über die ganzen Grenzflächen verteilt immer nur kleine Gesteinsstücke ausbrechen, wobei das Höhlenprofil durch den Verfall zwar erweitert wird, aber die Urform beibehält (Spöcker, 1924 *a*, S. 50).

Damit sind die Kleinformen im Höhlenverfall gestreift, die durch Ablösung kleiner Einzelteile an den Leptoklasen hervorgebracht werden. Die Kleinform verläuft im Rahmen der Großform, an der sie sich früher oder später zwangsläufig einstellen muß. Das Verbruchmaterial besteht hinsichtlich seiner Form, je nach Verlauf der Ablösungsflächen, der jeweiligen Ursache des Abbruches und dem Grad der Verwitterung, aus polyedrischen, blättrigen, kantigen oder kantengerundeten Gesteinsstücken und erweist sich als chemisch beeinflußt. Als allgemeine Ursache der Kleinformen im Höhlenverfall sind überwiegend die exogenen Kräfte verantwortlich zu machen, was besonders an den Höhleneingängen bemerkt werden kann. Dort ist die häufig zu beobachtende bedeutende Erweiterung der Querschnitte und das kleine Verbruchmaterial auf Rechnung der vermehrten und gesteigerten äußeren Verfallseinflüsse zu setzen (Kyrle, S. 57). Vorbedingung für die Lumenerweiterung ist allerdings steil geneigtes Gehänge, damit der Verbruch abwandern kann. Eine über dem Höhlenportal vorhandene Steilwand schützt den Eingang vor der Zulegung, die bei mäßigen Böschungswinkeln leicht eintreten kann.

Zu den Kleinformen gehört auch die Abrißtextur. Sie kann von verhältnismäßig feingliedrigen Unebenheiten bis zu basaltsäulenförmigen gröberen Formen gehen, die durch starke Pressung hervorgerufen werden.

Die Kleinform findet sich normalerweise an Gesteinsstücken, bei denen die mechanische Spaltbarkeit durch natürliche Vorgänge haltmacht. Der

download unter www.zobodat.at

Kleinverbruch verwittert in der Regel durch Auflösung, z. B. beim Dolomit durch Entzug des Kalkspates, womit ein Wachsen des Porenvolumens Hand in Hand geht, bis das Material nur noch aus einem morschen Gerüst von Dolomitkristallen besteht, das leicht in eine mehlige Masse zerfällt. Um den Zusammenhang zwischen dem Porenvolumen und der Art des Verbruchs sowie das Problem der Kantenrundung etwas kritischer beurteilen zu können, ermittelte ich an 60 verschiedenen Gesteinsproben aus Höhlen den Porenquotienten auf experimentellem Wege. Nachstehend ein Auszug aus diesen Untersuchungen.

		Spezifisches Gewicht	Porenquotient %
Material I:	Kalkiger Dolomit, von Wandteilen der Höhlen abgeschlagen, die vom Verfall noch nicht ergriffen sind und hydromorphe Formen bewahrt haben:		
	a) scharfkantig	2·63	2·38
	b) leicht kantengerundet	2·53	5·72
Material II:	Scharfkantiger Verbruch aus Höhlensohlen, durch mechanische Zertrümmerung verursacht; dichtes Gefüge. Hierunter z. B. auch Plattenverbruch nach Taf. XVI, Fig. 8	2·79	2·20
		2·77	0·66
		2·28	3·33
		2·74	1·92
Material III:	Mehr oder weniger kantengerundeter, kalkiger Dolomit, leicht bis stärker verwittert. Teilweise war das Material aus tagwärtigem Einflußbereich	2·76	5·30
		2·64	4·50
		2·59	6·27
		2·59	8·33
		2·57	7·51
		2·45	7·08
		2·50	7·47
		2·53	4·85
		2·71	4·00
		2·44	8·43
		2·63	7·45
		2·48	5·38
		2·54	6·57
Material IV:	Kalkiger Dolomit mit weichen Formen, kantengerundet, sehr stark verwittert; manche Proben beginnen bereits zu Mehl zu zerfallen	2·36	14·31
		2·34	11·02
		2·29	11·89
		2·41	13·20
		2·45	11·23
		2·34	10·00
Material V:	Kalkiger Dolomit; diluvialer Flußschotter aus der Petershöhle bei Velden. Kanten vollkommen abgerundet . .	2·68	5·27
		2·68	5·28
		2·39	6·54

download unter www.zobodat.at

	Spezifisches Gewicht	Porenquotient %
Material VI: Kalkiger Dolomit aus Tiefbohrungen bei Ranna a. Pegnitz. 30 bis 60 m Tiefe unter der Vorflut:		
a) aus festem Gebirge	2·84	3·9
	2·68	1·9
	2·70	2·8
	2·78	1·5
b) aus Höhlen, die durch Bohrungen angefahren wurden oder aus deren unmittelbarer Nähe	2·64	7·5
	2·88	9·8
	2·80	6·0
	2·86	7·1

Wenn auch das Ergebnis dieser Untersuchungen nicht zur Annahme durchaus starrer Zusammenhänge zwischen Porenvolumen und Verfallsform in jedem Einzelfalle berechtigt, so zeigt es doch in großen Zügen die Steigerung des Porenquotienten bei fortschreitender Verwitterung. Die Kleinformen werden davon am stärksten betroffen, indem sich ihre ehedem scharfen Kanten mehr und mehr abschleifen. Dabei ist es so, daß die Poren nach der Oberfläche eines Gesteinsstückes zunehmen, wodurch es außen empfindlicher wird und weichere Formen erhält. Aber auch der allgemeine Porenwert des Gesteins wächst in der Nähe der Höhle, wie Beispiele vom Versuch VI zeigen.

Die Feststellung des Porenwertes ist nicht zuletzt ein sehr gutes Hilfsmittel, um in Zweifelsfällen alte Flußschotter von Verbruch zu unterscheiden, dessen Kantenrundung durch Verwitterung entstand. Voraussetzung ist dabei allerdings, daß das Material geschützt gelagert war, etwa unter Sinter oder sonst an trockenen Stellen. Wenn die Kantenrundung oder gar „Rollung" nämlich mit einem niederen Porenwert zusammenfällt, wie z. B. das Material von Versuch V, das bei völliger Rundung nur 5 bis 6% zeigt, dann ist mit Sicherheit anzunehmen, daß es sich um Flußschotter handelt. Ein kantengerundetes Material von mehr als 10% Porenvolumen ist mechanischen Einflüssen gegenüber, wie z. B. Verfrachtung, äußerst empfindlich und würde sehr rasch vollkommen aufgearbeitet sein. Anderseits kann ein Gesteinsstück mit niederem Porenvolumen in Höhlen nur m e c h a n i s c h gerundete Kanten haben und kein Verwitterungsmaterial sein. Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß das Verbruchmaterial in seiner Form und Art überhaupt mit dem Gestein des Raumes übereinstimmen muß, in dem es angehäuft wurde, andernfalls eine ortsfremde Herkunft anzunehmen ist. Die Tatsache wird leicht übersehen, daß zwischen Abrißgebiet und Ablagerungsgebiet nicht nur die Sturzbahn, sondern auch ein Verfrachtungsweg liegen kann. Dieser fällt vor allem bei Fluß- und Schachthöhlen ins Gewicht und gewinnt für die Entwicklungsgeschichte einer Höhle Bedeutung.

Die Formenwelt des Höhlenverfalls ist, wie die vorstehende morphogenetische Untersuchung zeigt, trotz ihrer Reichhaltigkeit bestimmten Gesetzen

download unter www.zobodat.at

unterworfen. Bei der zeichnerischen Wiedergabe spiegeln sich Verfallsformen besonders in den Querschnitten, aber auch in den Längs- und Grundrissen ab. In dieser Hinsicht liegt ja heute aus vielen Karstgebieten reichhaltiges Studien- und Vergleichsmaterial vor (Czoernig, 1926; Bertarelli usw., 1926; Spöcker, 1930).

Wie sehr sich die Gebundenheit des Höhlenverfalls an tektonische Linien auch im Grundriß äußern kann, habe ich auf Taf. XV mit einer graphischen Darstellung zu zeigen versucht. Es handelt sich um ein durchaus greisenhaftes Objekt mit ausschließlichen Verbruchformen, und zwar um die Voithöhle bei Pegnitz, deren Grundriß innerhalb der Kluftrose schraffiert wiedergegeben ist. Das Diagramm bringt die an der Oberfläche im Umkreis von etwa 500 m aufgenommenen Spalten und ist aus Richtung und Häufigkeit konstruiert. Es tritt darauf die oft zu beobachtende Erscheinung hervor, daß die jüngere Gestalt der Höhle auch jüngeren tektonischen Linien folgt. Die alte Höhle ist 350° v. N. ausgerichtet, dagegen haben neue Klüfte und der seitlich vorrückende Verfall das Bestreben, den beiden jüngeren Spitzenwerten von 310° und 10° v. N. und den um sie gescharten Nebenwerten zu folgen. Dadurch wird eine unruhige seitliche Gliederung der ganzen Anlage hervorgerufen und es entsteht ein etwas ungewohntes Höhlenbild, das bei oberflächlicher Betrachtung organische Zusammenhänge vermissen läßt. Erst die Aufnahme aller Spalten und Klüfte an der Oberfläche und das hieraus gewonnene Diagramm erschloß einen Überblick über diese Verfallswirrnis. Das Verfahren hat mir übrigens bei manchen Höhlen und besonders bei Neuerschließungen schon gute Dienste geleistet.

Nun erübrigt sich noch, auf das Tempo des Höhlenverfalls einzugehen, d. h. auf die Zeit, in der sich eine bestimmte Menge Verfallsprodukt von den Höhlengrenzflächen ablöst. Darüber herrscht im Schrifttum keine einmütige Ansicht; während die Meinung vom langsamen Verfall ihre Vertreter hat, gibt es auch Anhänger gegenteiliger Auffassung. Nach meinen bisherigen Beobachtungen kann das Tempo des Verfalls im einzelnen sehr langsam, aber auch sehr rasch sein und ist so verschieden, wie die Ursachen vielseitig sind.

Die Höhle, die sich in einem Gesteinskomplex mit geringer Gebirgsfestigkeit befindet, wird rascher verfallen als diejenige im Gestein mit hoher Gebirgsfestigkeit (Kraus, S. 111; Biese, 1926, S. 8). Zu der zusammenfassenden Bezeichnung „Gebirgsfestigkeit“ gehören die weiter oben erörterten Faktoren tektonischer Zustand und Schichtung. Neischl hat schon mit dem von ihm aufgestellten Typus der „Zerklüftungshöhlen“ darauf hingewiesen, daß sich diese an „einem förmlichen Netz feiner Risse“ und damit in einer stark zerrütteten Gesteinsmasse befinden (Neischl, S. 10); es handelt sich bei seinen angeführten Beispielen in der Tat um Höhlen mit ausgedehnten Verbruchzonen. Großräumige Höhlen werden unter sonst gleichen Einflüssen

download unter www.zobodat.at

ebenfalls rascher verfallen als kleinräumige und Spaltenhöhlen können standfester gelten als Schichtfugenhöhlen. Dabei begünstigen und beschleunigen besonders Gesteinswechsel, Repetitionsschichtung und sehr dünne Schichtung den Verfall (Neischl, S. 9; Biese, 1927, S. 46). In diesem Zusammenhang seien hier zur allgemeinen Orientierung einige Zahlenwerte eingefügt; es sind die größten bekannten Deckengewölbe des Frankenjuras, die von Schichtsohlenflächen oder Teilen derselben gebildet werden.

	Spannweite *m*	Länge *m*	Pfeilhöhe *m*
Klingloch bei Kirchenreinbach	45	30	10
Ludwigshöhle bei Rabenstein	22	15	3
Oswaldhöhle bei Muggendorf	20	17	3
Teufelshöhle bei Pottenstein	18	15	5

Daraus ist zu ersehen, daß gegebenenfalls auch weitgespannte Höhlengewölbe gute Standfestigkeit aufweisen und dem Verfall trotzen können, doch sind sie selten.

Es ist durchaus denkbar, daß geänderte klimatische Verhältnisse im Laufe geologischer Perioden nicht nur die Form des Verfalls, sondern auch dessen Tempo beeinträchtigen konnten. So haben die Eiszeiten den Frostbruch begünstigt und bei Untersuchungen in einer Jurahöhle fanden sich beispielsweise im meterhohen, scharfkantigen Kleinverbruch aus dem Diluvium Reste vom Mammut eingebettet. Bei paläontologischen Erschließungen im Frankenjura sprachen die Höhleneinlagerungen in der Petershöhle (Hörmann, 1923), im Hohlen Fels (Hörmann, 1913) und im Kummetsloch (Kellermann, 1913) durchwegs für kontinuierlichen Höhlenverfall. In anderen Höhlengebieten kamen die Forscher gleichfalls zu solchen Ergebnissen (Hauser, 1917; Battaglia, 1930). Die bedeutendste Lagerstättenerschließung in Höhlen wurde in der Drachenhöhle bei Mixnitz durchgeführt (Abel u. Kyrle, 1931). Auch dort lassen die angetroffenen Verhältnisse mehr auf einen langsam fortschreitenden Verfall schließen als auf unmittelbare Niederbrüche. Schlosser bemerkt in seinem Grabungsbericht über die Tischofer Höhle sogar ausdrücklich, daß nur einmal innerhalb der gesamten Einlagerungen ein plötzlicher Deckenbruch von geringerem Ausmaße festzustellen war (Schlosser, S. 397). Der gleiche Autor knüpft dann an seine Beobachtungen eine mathematische Erwägung über die Zeit, welche zur Anhäufung des Verbruchmaterials, das er als „Steinchenschichte“ bezeichnet, nötig war.

Dem umfangreichen Tatsachenmaterial, das für langsam fortschreitenden Höhlenverfall spricht, steht ein verhältnismäßig geringes gegenüber, das den plötzlichen Einbruch von Höhlen bezeugt. Es wird sich in dieser Richtung vielfach überhaupt nur um eine rein gefühlsmäßige Feststellung handeln können, bei der die Beweisführung schwer, wenn nicht unmöglich wird. An-

download unter www.zobodat.at

haltspunkte, wie die in der Teufelshöhle bei Pottenstein, sind selten, wo zahlreiche Bären jeden Alters durch einen katastrophalen und ausgedehnten Niederbruch plötzlich in der Höhle eingeschlossen wurden und dort umkamen. Oder wie im Hohloch bei Reitenbuch, wo unter 8 bis 10 m mächtigem Blockverbruch eine zertrümmerte Urne aus dem 11. Jahrhundert n. Chr. und vier menschliche Schädel lagen (Spöcker, 1924[b]), die eine zeitliche Begrenzung des Verfalls ermöglichen, und wo auch Lagerung und Beschaffenheit des Materials eindeutig auf katastrophalen Niederbruch hinweisen.

Sicher können makroseismische Wellen, die auf Höhlen treffen, ebenfalls plötzliche Zusammenbrüche hervorrufen (Becker, 1929), doch haben Erörterungen und Schlüsse darüber solange nur Wahrscheinlichkeitswert, als nicht der Vorgang selbst während oder nach einem Beben in der Höhle verfolgt werden kann. Im allgemeinen haben nämlich sogar wenig vertrauenerweckende Höhlenteile gegenüber Erschütterungen eine hohe Widerstandsfähigkeit, wovon man sich bei Sprengungen schon oft genug überzeugen konnte. Es muß daher das Beben entweder sehr stark oder das Gefüge der Höhle schon sehr labil und schließlich einzelne ihrer Teile bereits bis nahe zur Festigkeitsgrenze beansprucht sein, um einen seismisch verursachten Niederbruch größeren Ausmaßes zu bewirken. Selbstverständlich will ich den plötzlichen Verfall größerer Höhlenteile durchaus nicht verneinen. Dafür sprechen schon die Bildung und das Vorhandensein von Einsturztrichtern und -wannen, die auch im Jura nicht fehlen, ferner die Einsturzbeben, die im Jura zwar noch nicht beobachtet wurden, aber im Karst vorkommen und durch Sieberg (1923) eingehende Würdigung fanden.

Es können auch Erscheinungen auftreten, die den Verfall hemmen. Dazu gehört vor allem die Versinterung, welche die Spalten verkittet (Neischl, S. 78), die Höhlenwände auskleidet und manchmal einen Hohlraum bis zur gänzlichen Schließung ausfüllt. Sinterpfeiler werden manchmal gleichfalls zu einer guten Deckenstütze, die den Einbruch verzögert. Ebenso vermag die Überdeckung des Karstes mit lehmigen und tonigen Ablagerungen das Eindringen der Sickerwässer zu unterbinden, was die Einwirkung exogener Kräfte und damit die Verfallsmöglichkeit vermindert.

Dem Verfall der Höhle können Grenzen gesetzt sein, aber dann hat auch der Begriff „Höhle“ an sich keine Berechtigung mehr. Die Höhle ist ein Massendefekt im Gestein, der innerhalb geologischer Zeiträume beweglich ist und aufwärts wandern kann (Berr und Hassinger, S. 135; Spöcker, 1924). Wird das Verfallsprodukt nicht durch Wasser fortgeführt oder aufbereitet, dann vermindert es den Hohlraum um den gleichen Betrag, als es ein größeres Volumen einnimmt (O. Lehmann, S. 106). Es wird also ein Zeitpunkt kommen, bei dem das stetig zunehmende Verfallsprodukt die Höhle vollkommen erfüllt (Rzicha, 1882). Dabei ist Bedingung, daß genügend Gebirge

download unter www.zobodat.at

über der Höhle lagert. Ist das Gebirge aber geringmächtig, so kommt der Verfall an die Oberfläche, bildet zunächst eine Doline (Beispiel: Sonnenuhr bei Rinnenbrunn), sodann eine Dolinenreihe (Beispiel: Eislöcher bei Forsthaus Hufeisen, Veldensteiner Forst) und als letztes Ergebnis einen Graben (Beispiel: Schüllergraben bei Sackdilling). Diesem Vorgang wird noch die Oberflächenabtragung in weitgehendem Maße entgegenkommen (Kraus, S. 113), und damit hat der Höhlenverfall seinen Abschluß gefunden.

Es erscheint nun noch der Hinweis geboten, daß das Vorhandensein von Formen, die das fließende Wasser hervorbringt, wie Erosions- oder Efflorationsprofile oder auch reine Lösungsprofile, von den vorliegenden Betrachtungen unberührt bleibt. Entscheidungen über die eine oder andere Ursache einer Höhlenform können nur im Einzelfalle getroffen werden.

Angeführtes Schrifttum.

Abel O. u. G. Kyrle, Die Drachenhöhle bei Mixnitz. Speläologische Monographien. 7, 8. Wien 1931.

Adams Fr. D., An experimental Contribution to the Question of the Depth of the Zone of Flow in the Earths-Crust. Journal Geol. 20. Chicago 1912.

Andrée K., Die geologische Bedeutung des Wachstumsdruckes kristallisierender Substanzen. Geol. Rundschau. Leipzig 1912.

Battaglia R., Notizie sulla stratigrafia del deposito quaternario della caverna Pocala di Aurisina. Le Grotte d'Italia, Anno IV, Nr. 1. Postumia 1930.

Becker H. K., Höhle und Erdbeben. Mitt. Höhlen- u. Karstforschg. Berlin 1929.

Berr E. u. H. Hassinger, Das Geldloch im Ötscher. Zeitschr. d. D. u. Ö. A. V. 33. München 1902.

Bertarelli L. V. u. E. Boegan, Duemila Grotte. Milano 1926.

Biese W., Vorläufiger Bericht über Untersuchungen in den Dachsteinhöhlen. Mitt. Höhlen- u. Karstforschg. Berlin 1926.

Biese W., Weitere Beiträge zur Frage der Höhlenentstehung. Mitt. Höhlen- u. Karstforschg. Berlin 1930.

Czoernig-Czernhausen W., Die Höhlen des Landes Salzburg. Speläologische Monographien. 10. Salzburg 1926.

Daubrée A., Synthetische Studien zur Experimentalgeologie. Braunschweig 1880.

Daubrée A., Bulletin de la Société géol. de France. 10. Paris 1881.

Eckardt A., Die mechanischen Einwirkungen des Abbaues auf das Verhalten des Gebirges. Glückauf. Essen 1913.

Gillmann F., Zur Biegsamkeit der Gesteine. Geol. Rundsch. Leipzig 1912.

Hauser O., Der Mensch vor 100.000 Jahren. Leipzig 1917.

Heim A., Tunnelbau und Gebirgsdruck. Vierteljahrsschr. d. naturforsch. Ges. Zürich. Zürich 1905.

Heim A., Nochmals über Tunnelbau und Gebirgsdruck und über die Gesteinsumformung bei der Gebirgsbildung. Vierteljahrsschr. d. naturforsch. Ges. Zürich. Zürich 1908.

Hörmann K., Der Hohle Fels bei Happurg. Festschr. z. XLIV. Anthropol.-Kongreß. Nürnberg 1913.

Hörmann K., Die Petershöhle bei Velden. Abh. Naturhist. Ges. Nbg. Nürnberg 1923.

download unter www.zobodat.at

Kayser E., Lehrbuch der Geologie. 1, 2. Stuttgart 1923.

Kranz W., Neuzeitliche relative Senkungen, sowie seitliche Verschiebungen in Bayern und ihre Bedeutung für die Tektonik Süddeutschlands. Peterm. Mitt. Gotha 1922.

King L. V., On the limiting Strength of Rock under Conditions of Strain existing in the Earths Crust. Journ. Geol. 20. Chicago 1912.

Knebel W. v., Höhlenkunde mit besonderer Berücksichtigung des Karstphänomens. Braunschweig 1906.

Kyrle G., Grundriß der theoretischen Speläologie. Speläologische Monographien. 1. Wien 1923.

Kraus F., Höhlenkunde. Wien 1894.

Kellermann J. Chr., Das Kummetsloch bei Streitberg. Festschr. z. XLIV. Anthropologen-Kongreß. Nürnberg 1913.

Lehmann K., Das tektonische Bild des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlengebirges. Glückauf. Essen 1920.

Lehmann O., Die große Eishöhle im Tennengebirge. IV. Teil: Morphologische Beobachtungen. Speläol. Jahrb. Wien 1922.

Neischl A., Die Höhlen der Fränkischen Schweiz. Nürnberg 1904.

Pfaff F., Beiträge zur mechanischen Geologie aus dem fränkischen Jura. Zeitschr. d. D. Geol. Gesellsch. Berlin. 20. Berlin 1868.

Pollack V., Über Gesteins- und Gebirgsschläge. Österr. Wochenschr. f. d. öffentl. Baudienst. 23. Wien 1917.

Putick W., Die unterirdischen Flußläufe von Innerkrain, das Flußgebiet der Laibach. Mitt. geogr. Gesellsch. Wien (Teil III). Wien 1889.

Quiring H., Zur Theorie der Horizontalverschiebung. Zeitschr. f. prakt. Geologie. 1913.

Ramann E., Kohlensäure und Hydrolyse bei der Verwitterung. Centralbl. f. Min. usw. Stuttgart 1921.

Rziha F. K. A. v., Bericht über die Senkungen im Mährisch-Ostrauer Kohlenrevier. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen. Wien 1882.

Schlosser M., Die Bären- oder Tischoferhöhle im Kaisertal bei Kufstein. Abh. d. Bayr. Akad. d. Wissensch. 24. München 1910.

Sieberg A., Geologische, physikalische und angewandte Erdbebenkunde. Jena 1923.

Spöcker R. G., Karstphänomene im Schelmbachgebiet. Abh. d. Naturhist. Ges. Nbg. 22. Nürnberg 1924[a].

Spöcker R. G., Das Hohloch. Forschungsbericht. Weißenburger Zeitg. Nr. 156. Weißenburg 1924[b].

Spöcker R. G., Die Maximilianshöhle bei Krottensee. Krottensee 1926.

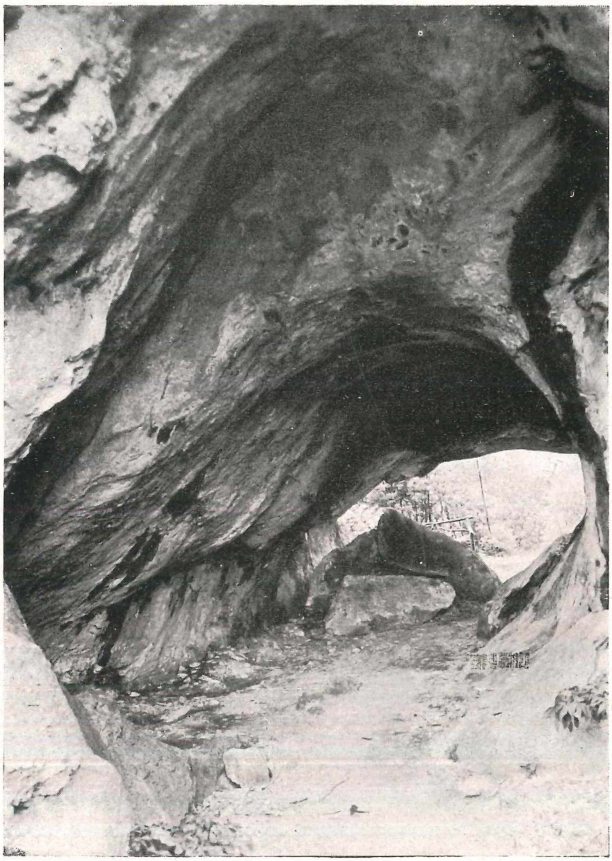
Spöcker R. G., Die Distlergrotte bei Finstermühle. Die Fränk. Alb. Nürnberg 1929.

Spöcker R. G., Topographischer Höhlenatlas von Franken. Nürnberg 1930.

Spöcker R. G., Die Höhle von Steinamwasser. Fränk. Monatshefte. Nürnberg 1931.

Walther J., Über tektonische Druckspalten und Zugspalten. Zeitschr. d. D. Geol. Gesellsch. (Monatsber.). Berlin 1914.

download unter www.zobodat.at



Quackenschloß bei Muggendorf. Statisches Profil im massigen Frankendolomit. Hintergrund polyedrischer Blockabbruch.

download unter www.zobodat.at

Fig. a. Maximilianshöhle bei Krottensee. Bogenförmiger Plattenbruch (Sprengschalen) mit Gewölbedecke im dickbankigen Frankendolomit. Man beachte die glatt durchschnittenen Sickerwasserkolke in der rechten Deckenpartie.

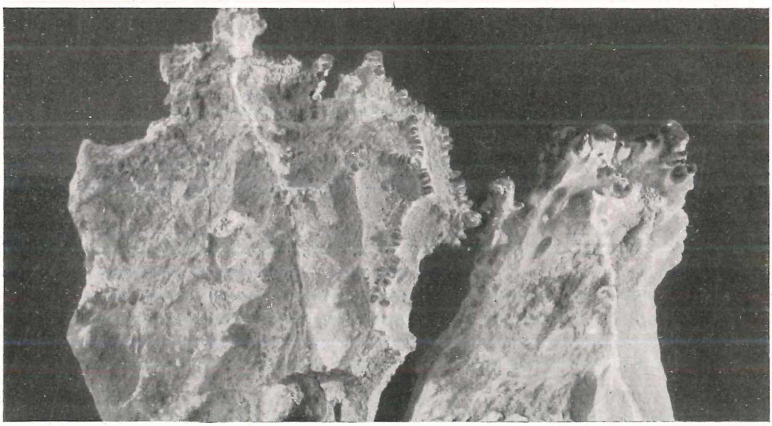


Fig. b. „Karfiol" an den Kanten von stark korrodierten Kalkscherben. Sulzenofen im Tennengebirge, Gefängnis. (Zu Biese S. 85.)

download unter www.zobodat.at

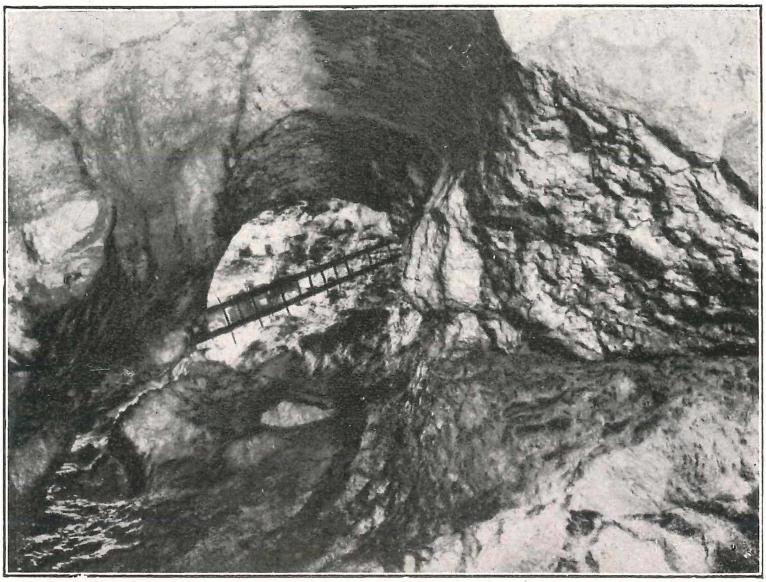


Fig. 1. Breitensteinbäuerin bei Rinnenbrunn. Der Vollrathschacht aus der Tiefe gesehen. Der junge Verfall greift im massigen Frankendolomit alte hydromorphe Formen an.

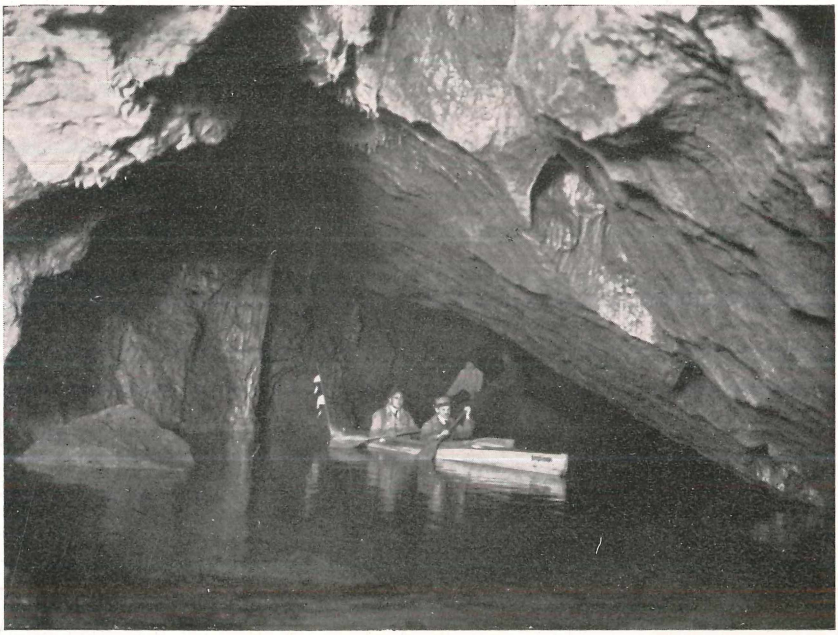
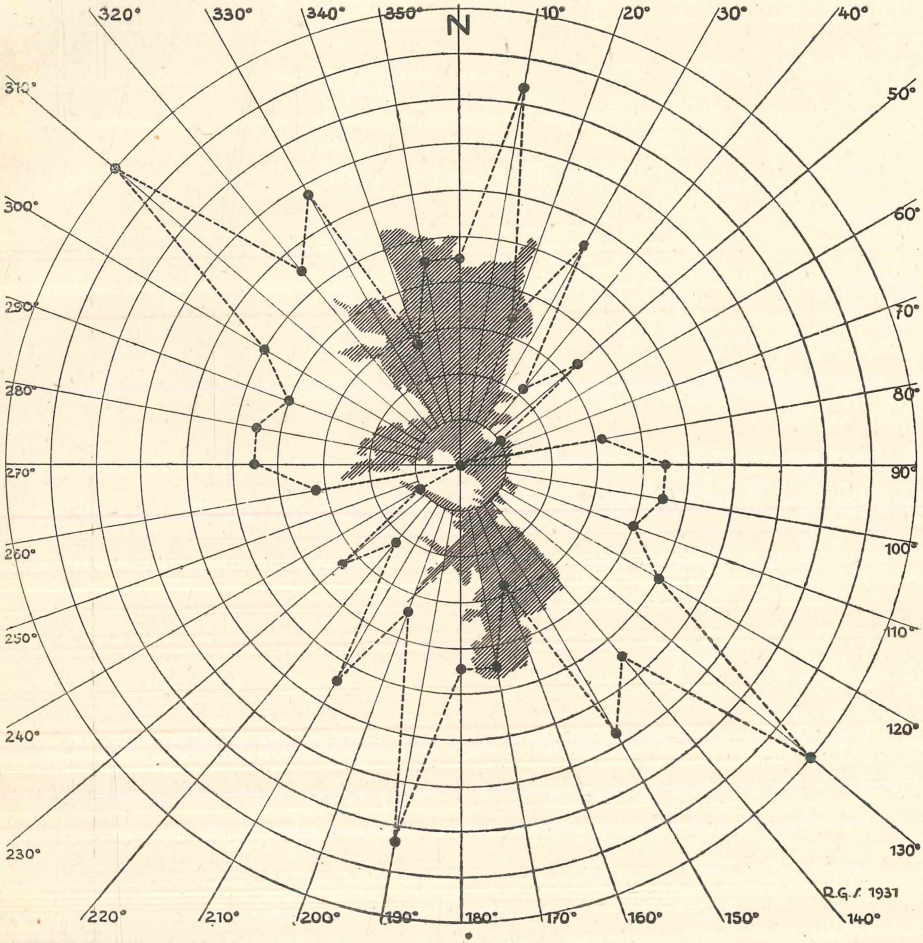


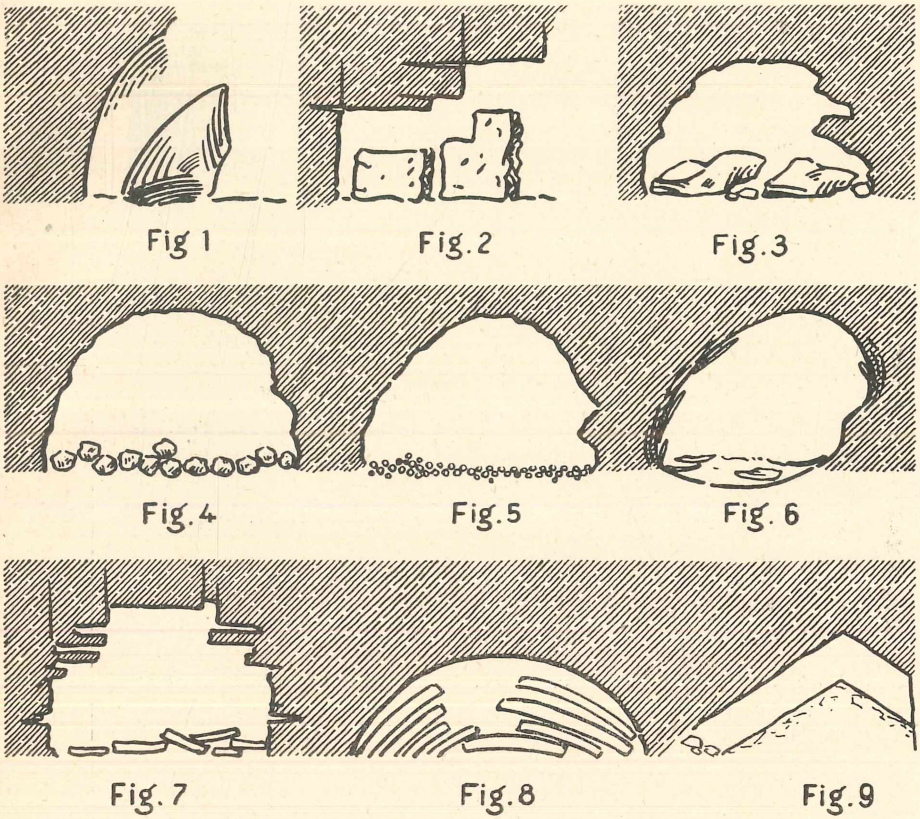
Fig. 2. Appelshöhle bei Steinbach. Regionaler Deckenniederbruch an einer schräggestellten Schichtfuge im Frankendolomit. (Photo: Stadelmann.)

download unter www.zobodat.at



Grundriß der Voithöhle bei Pegnitz, mit Kluftdiagramm über die an der Oberfläche festgestellten Spalten.

download unter www.zobodat.at



Elementarformen des Höhlenverfalls im Frankenjura.

Fig. 1. Parabolischer Blockabbruch. In homogenem ungeschichtetem oder dickbankigem Gestein. Beispiel: Höhlenruine bei Schüttersmühle im Weihersbachtal.
„ 2. Quaderförmiger (parallelepipedischer) Blockabbruch. An Spalten und Schichtfugen in dickbankigem Gestein. Beispiel: Hohloch bei Raitenbuch.
„ 3. Polyedrischer Blockabbruch. In schichtungslosem homogenem und heterogenem Gestein. Beispiel: Breitensteinbäuerin bei Rinnenbrunn.
„ 4. Polyedrischer Grobverbruch. In schichtungslosem oder dickbankigem Gestein. Beispiel: Windloch in der Maximiliansgrotte bei Krottensee.
„ 5. Polyedrischer Kleinverbruch. In jedem Gestein.
„ 6. Blätterförmiger oder schalenförmiger Verbruch. In schichtungslosem homogenem Gestein. Beispiel: Gunzenloch bei Krottensee.
„ 7. Geradflächiger Plattenabbruch. In dünngeschichtetem Gestein. Beispiel: Höhle an der Muschelquelle bei Streitberg.
„ 8. Bogenförmiger oder parabolischer Plattenabbruch. In schichtungslosem homogenem Gestein.
„ 9. Regionaler Deckenniederbruch. In dickbankigem Gestein. Beispiel: Klingloch bei Kirchenreinbach.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Speläologisches Jahrbuch

Jahr/Year: 1933

Band/Volume: 13-14_1933

Autor(en)/Author(s): Spöcker Richard Gottfried

Artikel/Article: Ursachen und Formen des Höhlenverfalls im Frankenjura 66-83