

- Vareschi, V.: Die pollenanalytische Untersuchung der Gletscherbewegung mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Gr. Aletschgletscher und Ergänzungen vom Gepatschferner. Veröff. d. geobotan. Inst. Rübel in Zürich, 19. Heft, Bern 1942.
- Klebensberg, R. v.: Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie, I. Band, Allg. Teil. Wien 1948.

Höhlenkunde und Hochgebirgsmorphologie.¹

Von Konrad Wiche.

Nabezu 30 Jahre sind vergangen, seit G. Göttinger [1] in einer von der Bundeshöhlenkommission herausgegebenen Schrift den damaligen Wissensstand über Entstehung und Ausgestaltung von Höhlen in sehr klarer und allgemeinverständlicher Weise zusammengefaßt hat. Zu diesem Zeitpunkt war die Diskussion über die zwei sich schroff gegenüberstehenden Meinungen hinsichtlich der Karstentwässerung noch in vollem Gang. Der größere Teil der Forscher vertrat die Höhlenfußtheorie von H. Bock [2], der kleinere schloß sich der Auffassung von A. Grund [3] an, welcher im Karstwasser nur einen Teil des gewöhnlichen Grundwassers sah. Seither ist eine gewisse Klärung in der Beurteilung der strittigen Probleme eingetreten, welche zunächst durch die Auseinandersetzung zwischen A. Grund und F. Kätzer [4] gefördert wurde, dessen Ansichten zwischen den schon genannten, als Grenzfälle der Karstentwässerung anzusehenden Abflußarten eine mittlere Stellung einnahmen. Den entscheidenden Fortschritt brachte die „Karsthydrographie“ des Wiener Geographen O. Lehmann [5]. Wie die meisten Karstforscher, konnte sich auch O. Lehmann auf langjährige Beobachtungen in zahlreichen, auch außeralpinen Höhlen stützen. Ein besonderer Vorzug seines Werkes ist jedoch die streng physikalische Grundauffassung, welche in der Anwendung hydromechanischer Gesetze auf die unterirdische Zirkulation zum Ausdruck kommt.

Schon H. Bock und G. Göttinger haben betont, daß es im Karst im Gegensatz z. B. zu lockeren Bodenarten keinen einheitlichen Grundwasserspiegel auf größeren Raum geben kann. Die Kalkmassen sind niemals gleichmäßig von Fugen und Rissen durchsetzt, so daß es nach O. Lehmann zur Bildung einzelner, voneinander isolierter Karstgefäße, wie er sich ausdrückt, kommen muß. Innerhalb eines solchen Systems zusammenhängender Hohlräume wird das Wasser wie in kommunizierenden Röhren ungefähr gleich hoch stehen. Zwischen den Gefäßen muß es aber je nach ihrem Volumen mehr oder weniger große Niveauunterschiede geben. In noch voll aktiven Karsthohlräumen strebt das Wasser in der Hauptsache als Druckgerinne den Ausflußstellen zu. In teilweise trockenen Höhlensystemen überwiegen die echten Höhlenflüsse (Sohlengerinne), die jedoch auch nur zeitweise oder auf kurzen Strecken fließen.

Einer Überprüfung bedarf die Frage, ob zwischen Oberflächenformen und Höhlen Beziehungen irgendwelcher Art bestehen. Diese wurden nämlich des öfteren mit Terrassensystemen der Umgebung in Verbindung gebracht, indem auf

¹ Der Inhalt des vorliegenden Aufsatzes deckt sich im wesentlichen mit einem bei der 5. Tagung der Bundeshöhlenkommission am 23. Oktober 1950 in Peggau (Steiermark) zur Verlesung gebrachten Referat.

Grund der Übereinstimmung der Höhenlage zwischen den Höhleneingängen mit Talbodenresten ein genetischer Zusammenhang ausgesprochen wurde. Solche Parallelisierungen sind u. a. für die Drachenhöhle bei Mixnitz mit den Terrassensystemen des Murtales [6] und vor kurzem für die Höhlen des Toten Gebirges mit dessen Oberflächenformen [7] durchgeführt worden. Zu dieser Methode werden im folgenden einige grundsätzliche Gedanken vorgebracht.

Bekanntlich kam die alte Landoberfläche — Altlandschaft oder Raxlandschaft (Lichtenecker) —, die uns in einzelnen Resten auf den Höhen der Kalkstöcke in besonderer Deutlichkeit entgegentritt, während des Miozäns zur Ausbildung, wobei es für die zur Erörterung stehenden Probleme von keiner grundsätzlichen Bedeutung ist, ob die Großformung dieses obersten Flächensystems noch im mittleren oder erst oberen Miozän zu Ende ging. Jedenfalls herrschte nach den Untersuchungen von O. Jessen [8] über die klimatischen Verhältnisse in Mitteleuropa zur Tertiärzeit auch im Raume der Ostalpen bis ins untere Pliozän ein feucht-heißes Klima, ähnlich jenem in den Subtropen der Gegenwart. Demgemäß mußten in unseren Breiten auch die landabtragenden Vorgänge von den heute wirksamen verschieden sein. Namentlich die chemische Verwitterung war zufolge der durchschnittlich höheren Lufttemperatur und -feuchtigkeit sehr erfolgreich tätig und mächtige Decken lockeren und aufbereiteten Gesteinsmaterials bedeckten auch im Kalk Erhebungen und Täler der damaligen Alpen, die ja höchstens bis zur Höhe eines Mittelgebirges aufragten. Spuren dieser Verwitterungsdecke finden sich allenthalben als fossile Braun- und Roterden und -lehme auf den Kalkplateaus. Verschwemmt lagern sie sicher auch in manchen Höhlen.

Diese alte Landoberfläche mit ihren Kuppen, Rücken und Schneiden, mit ihren vorwiegend muldenförmigen Tälern verdankt die Grundzüge ihrer Ausgestaltung — darüber kann kein Zweifel bestehen — oberirdisch abfließenden Gewässern. Klüfte und Spalten, die, wenn auch in geringer Dichte, schon damals an der Gebirgsoberfläche den Fels durchsetzten, mußten verhältnismäßig bald durch die reichliche Bodenbildung verschmiert und verstopft werden.

Diesbezüglich sind die von O. Ampferer [9] genau untersuchten Verhältnisse in der Tertiärmulde von Hieflau im Ennstal sehr aufschlußreich. Die dortigen, ziemlich mächtigen und ausgedehnten Sande und Schotter des Miozäns, welche J. Stiny als erster auffand, lagern einer Dachsteinkalkscholle auf, deren mäßig geneigte Schichten durch die Erosion von Oberflächengerinnen gekappt wurden. Zwischen diesen Lockermassen und ihrer Unterlage schaltet sich zu Bauxit gewandelter, blutroter Laterit ein, der taschenförmig längs Spalten in den Dachsteinkalk eingreift. Zu intensiverer Verkarstung, eventuell zur Entwicklung größerer Dolinen konnte es nicht kommen, da die tektonisch entstandenen Fugen ziemlich rasch mit dem Verwitterungsboden, dem Laterit, erfüllt waren. Die Dachsteinkalkscholle unter dem Hieflauer Tertiär gehört allerdings einer älteren Formengruppe (Augensteinlandschaft) als die Altlandschaft auf den benachbarten Gesäusebergen und dem Hochschwab an. Beide Gebirgsoberflächen, die jüngere auf den Hochplateaus und die ältere unter dem Hieflauer Tertiär, lagen jedoch während ihrer fluviatilen Formung nicht hoch über dem Meeresspiegel und können hinsichtlich der Verkarstung völlig miteinander verglichen werden.

Aus diesen Feststellungen müssen wir den Schluß ziehen, daß es zur Zeit der Ausgestaltung der Raxlandschaft keine namhaftere Karstentwässerung gegeben haben kann. Es können gleichzeitig mit oberirdischen Gerinnen nicht auch bedeutendere unterirdische bestanden haben. Eine solche „doppelte“ Entwäs-

serung würde übrigens viel zu große Niederschläge erfordern, die es selbst während des Tertiärs in den Alpen nicht gegeben hat. Große Höhlenflüsse, die während des Miozäns ausgedehnte Hohlräume in den Kalkalpen durchströmten, können nicht existiert haben. Allein aus diesem Grunde kann man hochgelegene Höhlen, wie z. B. die Salzofenhöhle auf dem Toten Gebirge, deren Eingang bei ca. 1950 m liegt, zeitlich und entstehungsmäßig nicht auf die Raxlandschaft beziehen.

Frühestens an der Wende vom Helvet zum Torton setzt man jene Krustenbewegungen an, welche für die weitere Entwicklung der alten Landoberfläche in den Alpen von ausschlaggebender Bedeutung waren und u. a. aus dem heutigen Formenbild erschlossen werden können. Sie bestanden zumeist aus flachwelligen Verbiegungen, seltener aus Brüchen. Durch diese Phase der Jungtektonik wurde die verschiedene Höhenlage der alten Landoberfläche auf unseren Kalkstöcken begründet. Nun erst setzt die Verkarstung in großem Stile ein, die schließlich zur „Fossilierung“ der Altlandschaft führte. Dabei versiegte das Wasser innerhalb der stärker gehobenen Schollen zuerst und ebenso wurden kleinere Gerinne eher verschluckt als größere, die daher ihre Tiefenarbeit an der Oberfläche noch eine Zeitlang fortsetzen konnten. So wurden einzelne Muldentäler der Altlandschaft noch weiter vertieft, verkarsteten schließlich aber auch.

Nun erst, mit der sukzessiven Ausschaltung der Tagesgewässer infolge der durch die Krustenbewegungen neu entstandenen karsthydrographisch wirksamen Fugen, begann die Entwicklung der Höhlensysteme. Für ihre Erstreckung und Richtung wurden, wie bei genauen Aufnahmarbeiten immer wieder festgestellt werden konnte, Verwerfungen maßgebend. In den meisten Fällen waren diese schon bei der vor- und nachgosaischen Gebirgsbildung entstanden. Sie haben durch die jüngeren Bewegungen oft keine Neubelebung erfahren. Dies erhellt dann aus der Tatsache, daß solch wichtige Strukturen an der Gebirgsoberfläche höchstens durch Dolinenreihen, nicht aber durch eine Bruchstufe kenntlich sind, während sie das Berginnere bis in große Tiefen durchsetzen. Ein Beispiel hierfür liegt in der von H. Trimmel [10] vorbildlich untersuchten Salzofenhöhle auf dem Toten Gebirge vor.

Da zur Zeit der Entwicklung der Raxlandschaft, wie gezeigt wurde, unterirdische Flüsse noch nicht vorhanden gewesen sein konnten, können innerhalb dieser Formengemeinschaft gelegene Höhlen — dazu gehören viele der auf den Plateaus beobachteten Beispiele — selbstverständlich auch nicht auf deren Täler bezogen werden. Die Höhlenbildung kann frühestens nach der Verbiegung der Raxlandschaft, als auf den Plateaus wenigstens teilweise durch lokale Höhershaltung der oberirdische Abfluß ausgeschaltet worden war, eingesetzt haben. Da die Höhlen weiters, wie u. a. wieder die Verhältnisse auf dem Toten Gebirge erweisen, zufolge ihrer Höhenlage auch den tieferen Terrassensystemen nicht zugeordnet werden können, ergibt sich die völlige Unabhängigkeit dieser hochgelegenen Höhlen von jeder Art Erosionsbasis.

Auch bezüglich der Eingliederung der an den Flanken der Kalkstöcke ausmündenden Höhlen in jüngere Erosionsstockwerke wird sich größte Vorsicht empfehlen. In einem Referat, das im Vorjahr vor der Bundeshöhlenkommission gehalten wurde, hat J. Lechner [11] mit Recht darauf hingewiesen, daß man nicht etwa von vornherein damit rechnen darf, daß die Sohlen der Höhlen, ähnlich wie die Betten der Oberflächengerinne, vom Höhleneingang gegen das Berginnere ansteigen. Da sich die Karstgewässer größtenteils als Druckgerinne bewegen, und daher Gegensteigungen überwinden können, kann von einer Be-

einflussung des Längsprofils eines Höhlenlaufes, mit Ausnahme vielleicht seines untersten Abschnittes, durch die Lage seiner Austrittsstelle keine Rede sein. Man sollte daher besser vermeiden, den Begriff „Erosionsbasis“ in diesem Zusammenhang in der Speläologie zu verwenden. Nur ausnahmsweise, wenn eine Höhle mit gleichsinnigem Gefälle weiter in das Gebirge eingreift, wird ein in dieser vorhandenes Gravitationsgerinne durch eventuelle Niveauperänderungen an seiner Einmündung in einen Bach der Außenwelt in seiner Tiefenarbeit beeinflusst und gesteuert werden.

Der Versuch, in den Höhleneingängen auf der alten Landoberfläche oder an den Gebirgsflanken talgeschichtliche Zeugen zu sehen, stößt auf Schwierigkeiten, wenn sich diese über einen etwas größeren Höhenbereich verteilen, wie dies nach den Schilderungen von J. Lechner [7] auf dem Toten Gebirge z. B. zwischen 1500 und 1700 m der Fall ist. Dann ist es schwer, sie alle mit durch Beobachtung belegten Flächensystemen zu koordinieren. Rekonstruiert man jedoch nach dem derzeitigen Wissensstande kurz die Entwicklung der Entwässerung im Inneren eines Karstgebirges, das etappenweise höhergeschaltet wurde, wie dies in den Alpen der Fall war, dann erscheint die häufig — nicht ausschließlich — festgestellte Unregelmäßigkeit in der Höhenanordnung der Höhleneingänge durchaus begrifflich.

Nach der Verbiegung der Raxlandschaft brachte jede neuerliche Hebungsphase wieder einen Zuwachs an Klüften. Dem Karstwasser, das zunächst nur die obersten Hohlräume als Druckgerinne erfüllt hatte, erschlossen sich dadurch immer größere Tiefen. Es rückte nach abwärts, gleichzeitig die früheren Wege dauernd oder zeitweise freigebend. Nur dann, wenn es innerhalb eines größeren Kalkstockes einen einheitlichen Karstwasserspiegel gäbe, könnten allein aus diesem Grunde die Quellen über den jeweiligen Talböden in ungefähr gleicher Höhe austreten. Nun wissen wir seit langem, daß es eine einheitliche Spiegelhöhe im Kalk nicht gibt. Die unterschiedlichen Wasserstände in verschiedenen großen Karstgefäßen sind bei sonst gleichen Voraussetzungen die Ursache, daß die Quellen bald hoch am Hang, bald näher an der Talsohle, dort gelegentlich aus Siphonen, austreten. Keinesfalls übt diese, aus den bereits angeführten Gründen, wenigstens in den Ostalpen die Funktion eines untersten Abtragungsniveaus aus, sondern markiert lediglich die unterste Grenze, an welcher das Karstwasser, außer in Seen, ans Tageslicht gelangen kann.

Andererseits gibt es tatsächlich in gewissen Höhen mancher Kalkstöcke eine auffällige Häufung von Höhleneingängen. Man wird nun diese ehemaligen Austrittsstellen des Karstwassers dann auf ein Flächensystem in dem oben erörterten Sinne beziehen dürfen, wenn ein solches in der entsprechenden Höhenlage im näheren Umkreis erwiesen ist. Die Funktion einer Erosionsbasis — eines Reglers der Tiefenarbeit — kann dieses jedoch in den allermeisten Fällen nicht ausgeübt haben. In zahlreichen anderen Fällen läßt sich jedoch ein gegenwärtig im wesentlichen trockener Höhlenraum, der zur Zeit einer bestimmten Entwicklungsphase der alpinen Stockwerklandschaft noch voll aktiv war, höhenmäßig trotzdem keinem Flächensystem zuordnen. Die einstige Karstquelle kam eben damals nicht an der Talsohle, sondern am Hang darüber ans Tageslicht, wie dies auch heute über dem rezenten Talgrund vielfach geschieht. Nicht vertretbar ist es u. E. hingegen, wenn Höhlenöffnungen, eine oder nur wenige in gleicher Höhe, zur Rekonstruktion von Erosionsstockwerken verwendet werden, deren Vorhandensein durch Terrassen nicht erwiesen oder fraglich ist. Aus all diesen Gründen er-

scheint es uns notwendig, bei der talgeschichtlichen Verwertung der Höhlen mit noch größerer Vorsicht vorzugehen, als dies im allgemeinen bisher der Fall war.

Ein auch den Hochgebirgsmorphologen interessierendes Kernproblem der Höhlenkunde ist weiter die Frage nach der Entstehung der Höhlenquerschnitte und die Art der Vorgänge, die an deren Ausgestaltung beteiligt sind. Der Höhlenmorphologie haben fast alle Karstforscher besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Bis zu O. Lehmann sah man in der mechanischen Arbeit (Eforation) von Höhlenflüssen, welche als Druck- oder Sohlengerinne die Karstbahnen durchströmen oder einst durchströmten, das Hauptagens für die Formung der Profile. Dieser wies jedoch nachdrücklich auf die chemische Wirksamkeit (Korrosion) nicht turbulent dahinfließender Druckgewinne bzw. mehr oder weniger stagnierender, die Hohlformen nicht völlig ausfüllender Karstgewässer hin. Solcherart sind sicher viele Röhren und Tunnels, die man früher mit „Ausbohrung“ durch reißende Unterweltflüsse erklärte, entstanden. Für diese Auffassung spricht allein schon der Umstand, daß in vielen Fällen die für den raschen Durchfluß größerer Querschnitte notwendigen Wassermassen nicht vorhanden gewesen sein können, da weder die Niederschläge noch die Größe des Einzugsgebietes der meisten Höhlensysteme hierfür ausreichten. Außerdem sind selbst Kolke, namentlich an den Decken der Höhlen, wie gleichfalls bereits O. Lehmann betonte, keineswegs sichere Zeugen mechanischer Wassererosion, da auch derartige Formen durch Lösung des Kalkes von Seiten stehender oder wenig bewegter Gewässer, deren Spiegel häufigen Schwankungen unterworfen sind, erzeugt werden können.

Ähnliche Ergebnisse erbrachten die Untersuchungen einiger Höhlen (Kreidelucke bei Hinterstoder, Salzofenhöhle auf dem Toten Gebirge, Badlhöhle bei Badl) in jüngster Zeit durch E. Arnberger und H. Salzer [12]² sowie H. Trimmel [10, 13]. Sie wurden nach klassischen Vorbildern (Drachenhöhle bei Mixnitz) gleichfalls sehr sorgfältig und mit dem Bestreben, möglichst alle Erscheinungen eines Höhlensystems zu erfassen, durchgeführt. Es zeigte sich neuerdings, daß die abscheuernde und auskolkende Tätigkeit unterirdischer Gerinne zumeist überschätzt wird. Vermeintliche Strudellöcher konnten eindeutig auf die lösende Wirkung von Sickerwässern zurückgeführt werden, welche längs enger Fugen an den Wänden und der Decke der Höhle austreten („Laugungskolke“ nach H. Trimmel, 1950). Bedeutsamer als die mechanische Erosion werden für die endgültige Formung des Höhlenprofils außer Auslaugung auch Versturz, Spaltenfrost und endochthone Verwitterung angesehen.

Welche Vorgänge zu einem bestimmten Zeitpunkt den Hauptanteil an der Querschnittsgestaltung einer Höhle haben, hängt von deren Entwicklungsstadium ab. Nach Aufhören der Oberflächenentwässerung auf der tektonischestellten Raxlandschaft waren es überwiegend langsam fließende Druckgerinne, welche die durchschnittlich höchstens wenige Meter messenden, durch Krustenbewegungen entstandenen „Urhohlräume“ und die Zentimeter und Millimeter weit klaffenden überkapillaren Fugen durchhörten. Damals wurden die Grundzüge der großen, heute hochgelegenen Höhlen, vorzüglich deren horizontale Teile, im wesentlichen durch Auslaugung geschaffen. In der Folge mußten sich wegen der Erweiterung der vorhandenen Klüfte und ihrer Vermehrung durch Krustenbewegungen Veränderungen in der Art der Karstentwässerung anbahnen. Der Wasserspiegel sank in den einzelnen Gefäßen und gleichzeitig entstanden streckenweise echte Höhlenflüsse mit turbulenten Fließweisen. Es brauchte nun

² An diesen war während einiger Tage auch der Verfasser beteiligt.

schon gewaltiger Wolkenbrüche, damit auch die größeren Querschnitte noch durch Druckströmungen voll ausgefüllt werden konnten. Neben chemischer gab es natürlich auch mechanische Erosion. Je höher nun das Gebirge emporstieg, um so mehr lief das ursprüngliche System aus, desto stärker wurde es durch Angliederung annähernd vertikaler Gänge und Schlotte umgestaltet und vergrößert. In den vom Karstwasser verlassenen oberen Bereichen entwickeln nun die Sickerwässer, die endochthone Verwitterung, der Spaltenfrost und die von allen diesen Faktoren, vielleicht aber auch durch Spannungen im Gebirgskörper vorbereiteten und ausgelösten Verstürze die Querschnittsformen weiter.

Die Höhlen sind also das Produkt einer meist ziemlich langen Entwicklung, und ihre Formen sind im einzelnen verschieden alt. Die Anlage noch im Bereich der alten Landoberfläche gelegener Fels Hohlräume erfolgte im allgemeinen frühestens im oberen Miozän, vermutlich jedoch erst im unteren Pliozän, die Anlage der Höhlen an den Steilabfällen der Kalkplateaus während des oberen Pliozäns und des Diluviums (Kreidelucke bei Hinterstoder).

Schrifttum.

- [1] Göttinger, G., Entstehung und Ausfüllungsprodukte der Höhlen. Hsg. v. d. Bundeshöhlenkommission, Wien 1922.
- [2] Bock, H., Der Karst und seine Gewässer. Mitt. f. Höhlenkde., 6. Jg., 3. H., 1913.
- [3] Grund, A., Die Karsthydrographie. Studien aus Westbosnien. Pencks Geogr. Abh., Berlin 1910.
- [4] Katzer, F., Karst und Karsthydrographie. Zur Kunde der Balkanhalbinsel, H. 8, Sarajevo 1909.
- [5] Lehmann, O., Die Hydrographie des Karstes. Enzyklopädie der Erdkde., Wien 1932.
- [6] Göttinger, G., Das Drachenfußsystem und dessen Alter. In: Drachenhöhle bei Mixnitz, Wien 1931.
- [7] Lechner, J., Höhlenkundliche Beobachtungen aus dem Südrand des Toten Gebirges. Verh. Geol. B.-A., Jg. 1945.
- [8] Jessen, O., Tertiärklima und Mittelgebirgsmorphologie. Z. Ges. f. Erdkde., Berlin 1938.
- [9] Ampferer, O., Fortschritte der geologischen Neuaufnahme von Blatt „Admont-Hieflau“. Jb. Geol. B.-A., 76. Bd., 1927.
- [10] Trimmel, H., Die Salzofenhöhle im Toten Gebirge. Unveröff. Diss., Wien 1950.
- [11] Lechner, J., Über Höhlen und andere Karstformen im Toten Gebirge. Protokoll d. 4. o. Vollversammlung d. Höhlenkomm. usw., Werfen 1949.
- [12] Arnberger, E., und Salzer, H., Die wissenschaftliche Erforschung der Kreidelucke. I. u. II. Teil. Jb. O.-Ö. Musealver., Bd. 95 u. 96.
- [13] Trimmel, H., Beobachtungen zur Frage der Raumbildung in der Badlhöhle bei Batl (Steierm.). Mitt. Geogr. Ges., Wien 1950.