



Foto: Lawaeta

Wissenschaftliche Alpenvereinshefte

Heft 18

Gemeinsam herausgegeben von den Hauptausschüssen
des Deutschen und des Österreichischen Alpenvereins

Das Hölloch bei Riezlern
im Kleinen Walsertal
(Allgäu-Vorarlberg)
eine karstkundliche Monographie

Mit 9 Einzelbeiträgen von

A. Baumgartner, H. Cramer †, K. Cramer, H. Freude, J. Karl,
G. Lukas, P. Schmidt-Thomé, R. G. Spöcker und H. E. Wichmann

Redaktion:

P. Schmidt-Thomé



INNSBRUCK 1961

UNIVERSITÄTSVERLAG WAGNER, INNSBRUCK

Druck: Tiroler Graphik, Innsbruck

INHALT

	Seite
Schmidt-Thomé, P.: Vorwort	5
Spöcker, R. G.: Einleitung	7
Schmidt-Thomé, P.: Geologie des Hölloches und seiner Umge- bung im Bereich des Hohen Ifen und der Gottesackerwände . .	13
Spöcker, R. G.: Das Hölloch als geographisches Element . . .	33
Baumgartner, A.: Das Klima der Gebirgslandschaft am Hohen Ifen und das Kleinklima der Karrenfelder	55
Baumgartner, A.: Meteorologische Beobachtungen am Hölloch .	61
Lukas, G.: Chemische Wasseruntersuchungen im Hölloch-Bereich .	85
Wichmann, H. E. und Freude, H.: Die Fauna der subterranean Räume des Hölloch-Bereiches	89
Karl, J.: Botanische Untersuchungsergebnisse aus dem Hölloch- Bereich	103
Cramer, K.: Verzeichnis der Höhlen im Gebiet des Hohen Ifen, Gottesacker und Kackenkopf	107
Cramer, H. und Cramer, K.: Speläologische Bibliographie des Gebietes von Hohem Ifen, Gottesacker und Kackenkopf	109

VORWORT

Die karstkundliche Erforschung des Höllochs, die schon vor dem zweiten Weltkrieg erwogen worden war, konnte von den beiden Initiatoren H. Cramer † und R. G. Spöcker unter Förderung seitens der Deutschen Gesellschaft für Karstforschung und des Deutschen Alpenvereins in den Jahren 1949 und 1950 verwirklicht werden. Bereits das Unternehmen 1949 ließ erkennen, daß die wissenschaftliche Erkundung kurzfristig nicht durchführbar war. Durch den tragischen Tod von H. Cramer im Frühjahr 1950 drohte ein vorzeitiger Abbruch der Weiterforschung. Dank der Tatkraft Spöckers konnte 1950 eine zweite Höllochkundfahrt durchgeführt werden. Ende 1950 lag so viel Beobachtungsmaterial vor, daß an seine wissenschaftliche Zusammenfassung gedacht werden durfte. Sie erschien lohnend, wenn sich auch alle Teilnehmer darüber einig waren, daß die Erforschung noch keineswegs als abgeschlossen gelten konnte. Damit bestand Aussicht, die dem Alpenverein gegenüber bestehende Verpflichtung einzulösen, die wissenschaftlichen Ergebnisse zu veröffentlichen.

Infolge der Nachkriegsschwierigkeiten zögerte sich der Abschluß der neun wissenschaftlichen Einzelbeiträge zur Hölloch-Monographie, deren erster Ende 1955 und der letzte Ende 1959 vorlag, über nahezu zehn Jahre hinaus. Hinzu kam das Problem der Druckfinanzierung. Diese Verzögerungen wirkten sich insofern günstig aus, als sich nun die Möglichkeit bot, die gewonnenen Erkenntnisse in einzelnen Sachbereichen durch ergänzende Beobachtungen und Literaturstudien abzurunden. Dankenswerterweise konnte hier K. Cramer für seinen verstorbenen Vater einspringen.

Die Bemühungen um Veröffentlichung wären wohl vergeblich geblieben, wenn nicht der Alpenverein von Anbeginn an seine schirmende Hand über das Hölloch-Unternehmen gehalten hätte. Der Druck des umfangreichen und durch zahlreiche Textabbildungen erläuterten Manuskriptes hat sich erst jüngst verwirklichen lassen und zwar dadurch, daß sich der Deutsche Alpenverein und der Österreichische Alpenverein gemeinsam für die Veröffentlichung als Wissenschaftliches Alpenvereinsheft eingesetzt haben.

Die Teilnehmer der Hölloch-Kundfahrten sagen an dieser Stelle dem Deutschen Alpenverein und dem Österreichischen Alpenverein für das Interesse an der Durchführung der Geländearbeiten und besonders für die Ermöglichung einer Veröffentlichung der Forschungsergebnisse herzlichsten Dank.

München, im Februar 1960.

P. Schmidt-Thomé

EINLEITUNG

Von R. G. Spöcker¹

Das Hölloch liegt im nordöstlichen Teil des „Ifenstockes“, eines Gebirgs-Massivs im Allgäu, dessen höchste Erhebung der „Hohe Ifen“ mit 2230 m Seehöhe ist. Der Einstiegschacht zur Höhle befindet sich in rd. 1450 m und liegt unmittelbar in der Geländefurche des Oberen Mahdtales bei Riezlern. Die Landesgrenze zwischen Österreich und Deutschland quert 1.5 km unterhalb des Hölloches den Mahdtalgraben. Der Höhleneingang liegt also auf deutschem Gebiet; das Höhlensystem muß jedoch in seiner Gesamtheit orographisch und hydrographisch zum „Kleinen Walsertal“ gerechnet werden, das zu Österreich gehört. Von Riezlern aus ist das Hölloch auch am günstigsten erreichbar.

Geschichtlicher Rückblick auf die Hölloch-Erkundungen

Die erste Anregung zur touristischen Erkundung des Hölloches ging im Jahre 1906 von Pfarrer Längle aus, der damals in Riezlern amtierte. Er selbst hatte die Höhle zwar nicht befahren, aber der durch ihn veranlaßte junge Kaplan Franz Xaver Lutz machte gemeinsam mit Bürgern aus dem Walsertal und aus Schwaben den Anfang in der Reihe der Hölloch-Untersuchungen. Der erste Mensch, der dabei in den Schacht abgelassen wurde, war Hermann Paul aus Riezlern. Bei diesen Unternehmungen fertigte der Sonthofener Baumeister Amman ein Bussolen-Kroki an, das mit sehr zufriedenstellender Genauigkeit ein Bild vom Grundriß-Verlauf des bisher unbekannten Höhleninneren gab. Wenn man die seinerzeit zur Verfügung gestandenen unzulänglichen Befahrungsmittel in Betracht zieht, die unter anderem aus einem dicken und unhandlichen Kirchenseil für den Schacht und Fackeln für die Höhlen-Ausleuchtung bestanden, dann muß man die Leistungen bei diesen frühen Erkundungen als höchst beachtenswert anerkennen. Dies um so mehr, als es schon den seinerzeitigen, mit der Höhlenforschung keineswegs vertrauten Teilnehmern gelang, den größten Teil des Hölloches aufzuschließen. Da die ersten Bestrebungen, Licht in das Dunkel der Höhle zu bringen, von der Geistlichkeit des Walsertales ausgingen, wurde vor dem Unternehmen in einer Messe des glücklichen Verlaufes der Aktionen fürbittend gedacht. Dieser Vorgang gestaltete sich zu einem traditionellen Brauch und begleitete die Hölloch-Unternehmungen in der Folge bis zur Gegenwart.

Wegen der umfangreichen Vorbereitungen, die eine Hölloch-Befahrung erfordert und wegen der Gefährdung durch Hochwässer in der Höhle wurden seither nur selten Forschungen durchgeführt. Bis auf die von der Deutschen Gesellschaft für Karstforschung veranstalteten, letzten Unternehmungen in den Jahren 1949 und 1950 hatten sie nur touristische Ziele; sie waren auf neue „Entdeckungen“ ausgerichtet. Diese blieben allerdings aus, weil den unternehmungsfreudigen Bergsteigern dazu die fachlichen Voraussetzungen fehlten. Über den Bereich der kühnen Erstbefahrungen von 1906 gelangten sie alle nicht hinaus.

¹ Anschrift des Verfassers: Altenfurt bei Nürnberg.

Im Jahre 1938 wurde an der Nordwand der Schachthalle eine Blechkassette mit Höhlenbuch angebracht. Diesem und anderen zuverlässigen Überlieferungen zufolge kann eine chronologische und personelle Übersicht über die bisherigen Hölloch-Befahrungen gegeben werden.

- 1906 Mitte September bis 29. November. Erstbefahrung des Hölloches bis zum „Unteren Hölloch-See“ in wiederholten Unternehmungen durch Franz Xaver Lutz, Hermann Paul, Emil Brudschler, Sigismund Haid, Alexander Fischer, Henrich; alle aus dem Kleinen Walsertal. Franz Xaver Ammann aus Sonthofen.
- 1935 Im März dieses Jahres stürzte der Skiläufer Dr. Maile aus Wörishofen bei der Abfahrt, von der Mahdtalhütte kommend, in das Hölloch. Der tödlich Verunglückte wurde aus dem vereisten Schacht von Karl Fritz und Gottlieb Kessler in Riezlern unter schwierigsten Verhältnissen geborgen. Zu Erkundungen in der Höhle kam es dabei nicht.
- 1936 13. September. Befahrung durch den Kemptener Alpinisten und Bergwachtmann Sepp Gerstmair mit seinen drei Begleitern Franz Edelmann, Luggi Schneller und Sepp Fuchs. Gerstmair verwendete für den Schacht einen Hanfseil-Flaschenzug in Selbstbedienung. Ein Wettersturz mit Regenfällen machte diese fragwürdige Vorrichtung während des Aufenthaltes der Forscher in der Höhle unbrauchbar. Bei der Ausfahrt kam Gerstmair bis 30 m unter den Ausstieg, wo er unter dem Wassersturz in den Seilen hängend an Entkräftung verschied. Von einer Hilfsmannschaft aus dem Walsertal wurde die Leiche geborgen; dann konnten auch die drei unversehrten Begleiter aus dem Schacht gezogen werden.
- 1938 16. und 17. Oktober. Der Bergbautechniker Hans Wordl unternahm mit Gallus und Ferdinand Fritz sowie Mth. Magg aus Riezlern und weiteren drei bis vier Teilnehmern Versuche, Fortsetzungen und eine zweite Verbindung zur Oberfläche zu entdecken. Wenn über diese Befahrung im Höhlenbuch neben anderen Übertreibungen vermerkt ist: „Der Ausgang ist nach unseren Vermessungen im Schnegkenloch“, so ist dies zweifellos eine unbegründete Behauptung. An dem Unternehmen war der Photograph Walter Brugger beteiligt, von dem erstmals Bilder aus der Höhle angefertigt wurden.
- 1943 10. Oktober. Diese sonst völlig unbekannte, seltsame Befahrung des Hölloches ist im Höhlenbuch eingetragen. Hier der Originaltext: „Alleinerkundung, Vorstoß links zum See und rechts den Durchstoß von 1938 um 100 m erweitert. Der Schacht ist naß und kann nur von einem guten Bergkameraden, mit denen ich im Schacht in dauernder telef. Verbindung stehe, wieder hochgezogen werden. Alois Bäumer, Emmi Leimer, Paul Hätt. Berg Heil! Paul Höller.“
- 1949 27. August bis 11. September. Erste wissenschaftliche Erkundung des Hölloches durch die Deutsche Gesellschaft für Karstforschung. An dem Unternehmen waren 13 Wissenschaftler, Techniker und Studenten beteiligt. In dieser Zeit kamen 30 Personen in die Höhle, wobei 90 Einfahrten erfolgten. Bei den Forschungen konnte u. a. eine neue Fortsetzung nach Norden durch die zunächst verlegte „Windröhre“ gefunden werden. Nach ihrem Erschließen, Bergführer Sepp Natter, wurde sie Natterklufft genannt.
- 1950 19. August bis 14. September. Zweites Unternehmen der Deutschen Gesellschaft für Karstforschung. Es hatte den Zweck, die topographischen Arbeiten bis zum Unteren Hölloch-See abzuschließen, das Ursprungsgebiet des Höllochbaches zu erkunden und ergänzende morphologische und photographische Aufnahmen zu machen. Dazu wurden 30 Einfahrten durchgeführt, an denen insgesamt 13 Personen teilnahmen. Ungewöhnlich

starke Regenfälle und Hochwasserführung der Höhlengerinne hatten die zeitlich von vornweg befristeten Arbeiten sehr behindert, so daß nicht alle Forschungsziele erreicht werden konnten.

Die Hölloch-Expeditionen 1949 und 1950

Alle Bemühungen um die Erforschung der Höhle seit dem Jahre 1906 müssen voll gewürdigt werden, und die touristischen Leistungen, welche die Vorgänger der Deutschen Gesellschaft für Karstforschung im Hölloch vor ihren beiden Erkundungen aufgewendet hatten, finden vorbehaltlose Anerkennung. Letztere unterscheiden sich aber von den vorausgegangenen durch ihre ausschließlich wissenschaftlichen Ziele. Das kommt in der Beteiligung zahlreicher Wissenschaftler verschiedener Fachrichtungen zum Ausdruck. Es zeichnet sich ferner in den vielen Stunden oft mühsamer Arbeit ab, welche die Teilnehmer unter meist ungewohnten äußeren Bedingungen tagelang unter der Erde in Anspruch nahmen. Für manchen höhlenerfahrenen Touristen mag daher der Aufwand an Zeit und Material in keinem rechten Verhältnis zur Ausdehnung der Höhle stehen. Aus der nun vorliegenden Monographie wird aber dieser scheinbare Widerspruch verständlich werden.

Ungeachtet einer notwendigen Einordnung der einzelnen Wissenschaftszweige in den Gesamtplan, hatten alle Forscher und Forschungsgruppen selbständig auf ihren Fachgebieten zu handeln. Sie waren jedoch an den zeitraubenden befahrungstechnischen Erfordernissen gemeinsam beteiligt. Da natürlich auf Sicherheit besonderer Wert gelegt wurde, waren technische Vorkehrungen zu treffen, die den allgemeinen bergsteigerischen Umständen im Schacht und in den Klammern sowie den besonderen Verhältnissen, nämlich den Folgen wetterbedingter Wasserführung, in den Felskanälen angepaßt sein mußten.

Der Aufbau und die Bedienung der befahrungstechnischen Einrichtungen oblagen bei der Expedition des Jahres 1949 dem Münchener Bergwachtreferenten L. Gramminger und dem Nürnberger Höhlenführer J. Muskat. Unentbehrlich war der Feldfernsprecher, der eine rasche Nachrichten-Übermittlung zwischen „Unten“ und „Oben“ gewährleistete. Er diente vor allem auch dazu, vor der einzigen objektiven, auf längere Sicht nicht vorauszusehenden Gefahr warnen zu können, welche die Höhle barg: vor plötzlich einbrechenden Wildwässern im Schacht und in den Klüften bei Regenfällen. Sie waren besonders bei der zweiten Expedition, beispielsweise am 2. September 1950, mit 55,7 mm Tageshöhe reichlich bemessen. Doch stellten sie sich innerhalb des Höhlenbereiches als in ihrer Bedrohlichkeit überschätzt heraus. Angenehm ist allerdings unter diesen Umständen ein Aufenthalt im Hölloch, oder vollends eine Ausfahrt unter stürzenden Wassermassen im Schacht, nicht mehr. Daß schließlich allen Tücken des Objektes mit entsprechenden Mitteln begegnet werden kann, bestätigen die insgesamt 120 unfallfreien Befahrungen während der beiden Expeditionen.

Wenn sich das zeitlich und räumlich zusammengedrückte Getriebe der einzelnen Forschungsarbeiten jeweils schon in den ersten Stunden reibungslos eingespielt hatte, dann ist das einer prächtigen Kameradschaft und gegenseitiger Unterstützungsfreudigkeit jedes Einzelnen zu verdanken. Daß kurzfristigen wissenschaftlichen Höhlenerkundungen naturbedingte Grenzen gezogen sind, ist verständlich. Schon die jahreszeitlich wechselnden klimatischen Bedingungen werden eine zusammenhängende Erfassung der meteorologischen, hydrologischen, hydrochemischen und wohl auch biologischen Verhältnisse verhindern. So bietet das eine oder andere Forschungsergebnis vielleicht nur ein Augenblicksbild, das der Jahreszeit entspricht. Dagegen werden etwaige weitere Untersuchungen die erkundeten topographischen und morphologischen Grundzüge auch dann nicht verschieben können, wenn neue räumliche Erschließungen dazukommen sollten.

Bei einer zusammenfassenden Würdigung aller Erkenntnisse aus den Hölloch-Expeditionen kann gesagt werden, daß die Höhle eine der reichsten und in ihrem Werdegang am besten zu durchschauenden alpinen Wasserhöhlen ist. Sie befindet sich in einem Entwicklungszustand, der bei guter räumlicher Geschlossenheit und blicknahe Abstand aller Formelemente an Übersichtlichkeit kaum übertroffen werden kann.

Hier ist auch der Platz, um allen Helfern und Helferinnen, die den Unternehmungen ihre tatkräftige und oft beachtlich selbstlose Unterstützung zuteil werden ließen, den herzlichsten Dank auszusprechen. Wenn man sich daran erinnert, daß im Jahre 1949 das „Wirtschaftswunder“ noch ungeahnt in ferner Zukunft lag und daß Rationierung, Bezugscheine, knappe Geldmittel so kurz nach dem Währungsumbruch sowie andere Erschwernisse die innere und äußere Bewegungsfreiheit hemmten, dann wiegt die Uneigennützigkeit doppelt auf, mit der sich alle in den Dienst der Sache stellten. Man hat nicht allein der unmittelbar Beteiligten zu gedenken, sondern auch der Institutionen und Gönner, deren Hilfe vielleicht nicht so sehr an die Oberfläche des Geschehens gedrungen sein mag.

An erster Stelle darf ich meinen unermüdlichen alten Forschungskameraden Helmuth Cramer nennen. Er war der Rufer und Werber für das Vorhaben Hölloch in München und er hatte sich mit beispielhafter Aufopferung noch aktiv an dem ersten Unternehmen beteiligt, obschon er bereits den Keim zu seinem frühen Tode in sich trug. An der zweiten Expedition teilzunehmen war ihm nicht mehr vergönnt. Er verschied am 7. Mai 1950.

Entscheidende finanzielle Hilfe kam durch Herrn Prof. Dr. Hans Krieg von Seiten des Deutschen Alpenvereins München, ferner von der Gemeindeverwaltung Riezlern/Kleinwalsertal, von den Firmen August und Jean Hilpert, Nürnberg, Dr. Backer, Klinik in Riezlern/Kleinwalsertal und Etschel u. Meyer, Bohrfirma in Hof. Die Unterstützungen gaben erst den materiellen Boden für die Forschungen.

Fürst Franz zu Waldburg-Waldsee, der Grundeigentümer am Hölloch, stellte für die stättliche personelle Besetzung der Unternehmungen die Mahd- und die Grafen-Kürenalpe bereitwilligst als Standquartier zur Verfügung. Die in der Nähe der Höhle gelegenen Alphäuser ermöglichten den durchnähten und frierenden Teilnehmern nach strapaziösen Stunden eine Restaurierung unter angenehmen Verhältnissen. Dort befanden sich auch die Gemeinschaftsküchen und Materiallager.

Mit reger und unentwegter Förderung bedacht wurde unsere Tätigkeit von Herrn Bürgermeister Sepp Ritsch in Riezlern, von Herrn Pfarrer Martin Siemens, Hirscheegg, und nicht zuletzt von Herrn Kaplan Reinhold Simma in Riezlern. Besonders seine Verdienste, die sich durch eine geradezu rührende Fürsorge und durch unmittelbare Leistungen, wie Verpflegestransporte vom Tal in die Standquartiere — selbst bei strömendem Regen — auszeichneten, hatten bei allen Teilnehmern herzlichen Beifall gefunden.

Großes Verständnis für unsere Arbeiten wurde uns von den zuständigen Revierbeamten der Fürstlich Waldburg-Wolfeggischen Forstverwaltung entgegengebracht, den Herren Cronauer in Rohrmoos-Tiefenbach und Rupprechter in Riezlern-Schwende.

Mit der Bereitstellung von Forschungsausrüstung und Instrumenten dienten die Bergwacht München (Gramminger-Gerät zur Rettung aus Bergnot), das Krankenhaus Rechts der Isar in München, Herr Dr. Mohrschulz (Ausrüstung für chemische Wasseruntersuchungen), und das Meteorologische Institut der Universität München, Herr Prof. Dr. Rudolf Geiger (klimatologische und meteorologische Instrumente). Die Bioklimatische Forschungsstelle in Oberstdorf gab bei den Erkundungen im Jahre 1950 durch ihre Herren Dipl.-Ing. Obenland und Walddorf mit täglichen Sonderberichten über die Wetterlage wertvolle Anhaltspunkte für kurzfristige Arbeitsdispositionen in der Höhle. Die Wetterberichte ermöglichten es, kritischen Situationen mit Vorsorge und rechtzeitig zu begegnen.

Der Nürnberger Höhlenführer Jean Muskat wurde im Jahre 1950 von Georg Knie-wasser assistiert, dem als Sonderauftrag die Ersteigung der Wasserfallstufe am Oberen Höllochsee oblag. An allen Unternehmungen waren Bergführer aus dem Kleinen Walsertal beteiligt, und zwar: Gottlieb Kessler, Sepp Natter, Harald Frere, Louis Janak und Rudolf Gmeiner.

Bei befahrungstechnischen Arbeiten und bei der Höhlenvermessung halfen: Gotlind Richter, Karl Ruhl und Gerhard Stock aus Nürnberg sowie Edmund Haid und Willy Schneider aus Riezlern. Wenn hier die überaus eifrige und willige Mitarbeit des ebenfalls in Riezlern ansässigen Alexander Fischer besonders herausgestellt wird, dann deshalb, weil er mit über 60 Jahren der älteste aktive Helfer war, weil er bei der zweiten Expedition unter bedrohlichen Verhältnissen in vorbildlicher Haltung allein mit Muskat im hochwasserführenden Höllochgrund verharrte und weil er einst als junger Mann an der ersten Höllocherforschung im Jahre 1906 beteiligt war. — Der Polygonzug für den Höhlenplan, dessen Anlegung eine langwierige und oft schwierige Aufgabe war, wurde von Paul Spindler, Nürnberg, ausgeführt.

Die Expeditions-Photographen Hördegen, München, und Willy Zitzelsberger, Mittelberg, sorgten mit einem umfangreichen Bildgut dafür, daß die Beschaffenheit der Höhle teils aus Normal-, teils aus Stereo-Aufnahmen auch noch nach Abschluß der Befahrungen eingehend

untersucht und analysiert werden konnte. Bildberichter Lawaetz von der Deutschen Presse-Agentur fertigte im Jahre 1950 ausgezeichnete Aufnahmen im Hölloch, die einen breiten Leserkreis in illustrierten Zeitschriften ansprachen.

Aus den regen Beziehungen, die sich zwischen der deutschen Expeditionsleitung und den Behörden im österreichischen Walsertal entwickelten, ergaben sich mitunter entscheidende verwaltungsmäßige Vorgänge. Sie wurden mit großem Entgegenkommen von Gemeinde-Inspektor Fritz Walter am Bürgermeisteramt und Karl Kessler am Verkehrsamt Riezlern erledigt.

Wenn endlich noch einer Sache gedacht wird, die zwar mit der Forschung selbst nichts zu tun hat, die aber, menschlich gesehen, sehr im Vordergrund stehen dürfte, so möge man sie mit Nachsicht beurteilen. Aus einer wörtlich zu nehmenden inneren Überzeugung ist dem Bereich der Küchen eine Verbeugung zu machen. Daß es einer Beherrschung des Stoffes bedurfte, unter ebenfalls expeditiösmäßigen Bedingungen zwanzig und mehr abgekämpften Menschen wochenlang das qualitativ und quantitativ Erwartete darzureichen ist wohl verständlich. Fräulein Christa Köhler und Gotlind Richter aus Nürnberg sowie Frau Käthe Cramer aus Holzkirchen im Jahre 1949, ferner Frau Else Spöcker mit Töchtern im Jahre 1950 verstanden es, sich in diesen Belangen bei allen Teilnehmern eine gute Erinnerung zu sichern.

Alle übrigen Beteiligten, die hier noch nicht genannt wurden, kommen in den nächsten Abschnitten selbst zu Wort. Überflüssig, zu versichern, daß jeder einzelne ein Rad im großen Getriebe der Expedition war, sozusagen ein Bestandteil, der es in Gang brachte und in Gang hielt. So stellt sich das Ganze als eine Gemeinschaftsarbeit im wahrsten Sinne vor, an der sich jeder nach Kräften verdient gemacht hat.

Zum Verständnis aller Untersuchungsergebnisse, die in den Beiträgen bekanntgegeben werden, ist es geboten, die Einzelziele dieses höhlenwissenschaftlichen Unternehmens aufzuzeigen. Aus ihnen gestaltete sich die monographische Gemeinschaftsarbeit.

Forschungsprogramm

1. Geologische Aufnahme und Erkundung im weiteren Einzugsbereich des Mahdtales und in der Höhle.
2. Fertigung eines Gelände-Krokis der Höhlen-Umgebung und Herstellung eines Raumplanes der Höhle.
3. Erkundung der Raumgestalt und der damit verknüpften Entwicklungsgeschichte des Hölloches.
4. Erkundung der hydrologischen Funktion der Höhle als Bestandteil der heutigen Landschaft.
Verteilung, Bewegung und Wirkung des Wassers, sein Chemismus sowie die Zusammenhänge des Höhlengewässers mit den Quellen der Umgebung (Färbeversuche).
5. Meteorologische Beobachtungen im weiteren und engeren Umkreis des Schacht-Einstieges und in der Höhle.
Licht-Stärke-Messungen.
Temperatur- und Feuchtigkeits-Messungen.
Luftströmungs-Messungen.
6. Erforschung der Kleintierwelt der Höhle und ihrer Umgebung.
7. Erforschung der Pflanzenwelt in der Umgebung des Schachtes, an den Schachtwänden und in der Höhle.

Als außerplanmäßiger Auftrag wurde auf Wunsch von Interessenten im Jänner 1951 außerdem von Nürnberg aus ein ausführliches Gutachten über die Möglichkeiten zur Erschließung des Hölloches für den Fremdenverkehr ausgearbeitet. Es enthält Vorschläge, Massenberechnungen und eine Kostenaufstellung für das Projekt.

GEOLOGIE DES HÖLLOCHES UND SEINER UMGEBUNG IM BEREICH DES HOHEN IFEN UND DER GOTTESACKERWÄNDE

Mit 8 Abbildungen im Text und 2 Bildern auf Tafel I und Tafel II

Von P. Schmidt-Thomé¹

INHALT

	Seite
A Vorbemerkung	13
B Geologie des weiteren und engeren Hölloch-Bereiches	14
I Der Bau des Ifen-Gebirgsstockes	14
1. Der Gesteinsaufbau	15
2. Untergrundsstrukturen	16
II Geologie des Hölloch-Bereiches	18
1. Das Mahd-Tal	18
2. Das Hölloch	23
3. Die Sägebach-Quelle	29
III Zum Entstehungsalter des Hölloches	30
C Im Text zitierte Schriften	32

A Vorbemerkung

Zum Zeitpunkt der Hölloch-Kundfahrten 1949 und 1950 war über das Ifen-Gebiet nur ältere geologische Literatur zugänglich, aus der Zeit vor und nach dem ersten Weltkrieg (s. Seite 110ff: Geologische Bibliographie). Während der Untersuchungen erschien G. Wagners „Rund um Hochifen und Gottesackergebiet“ (1950), worin die generellen geologischen Verhältnisse in Bild und Wort treffend dargestellt sind.

Die geologischen Untersuchungen während der Hölloch-Befahrung 1949 lagen in den Händen von P. Schmidt-Thomé und W. Treibs². Dabei entstand eine geologische Übersichtskartierung des Mahdtal-Bereiches 1:25.000 und eine geologische Routenaufnahme des Höhlensystems unter Tage. An der letzteren war H. Cramer besonders aktiv mitbeteiligt. Weitere geologische Beobachtungen nahm R. Spöcker bei der zweiten Kundfahrt 1950 vor.

In den darauffolgenden Jahren wurden zur Abrundung der Geländeaufnahmen und zur Gewinnung genauerer tektonischer Unterlagen mehrere geologische Kartierungsübungen im Mahd-Tal und Umgebung abgehalten. Von 1952 bis 1954 führte P. Lange eine Spezialuntersuchung der „Geologie des Kleinen Walsertales“ durch; die Hauptergebnisse sind 1956 veröffentlicht worden. Zur gleichen Zeit nahm J. Liedholz das Studium der „Geologie des südlichen Teiles von Blatt Balderschwang im Allgäu“ und A. Schneider eine Untersuchung zur „Geologie der Berge zwischen Breitach und Stillaach im Allgäu“ vor. K. Cramer führte in den Sommermonaten 1957 und 1958 eine großmaßstäbliche Kartierung 1:5000 des Mahdtal-Bereiches durch, die zu detaillierteren Kenntnissen im Hölloch-Bereich führte. — Die bisherigen geologischen Erkenntnisse hat F. Bettenstaedt (1958) zusammengefaßt.

¹ Anschrift des Verfassers: Institut für Geologie der Technischen Hochschule München, Arcoisstraße 21.

² Anschrift des Mitarbeiters: Bayerisches Geologisches Landesamt München, Prinzregentenstraße 28.

B Geologie des weiteren und engeren Hölloch-Bereiches

Zum besseren Verständnis der Beziehungen zwischen geologischem Untergrund, Karsthydrologie und Höhlenbildung wird eine Einführung in den allgemeinen geologischen Bau vorausgeschickt.

I Der Bau des Ifen-Gebirgsstockes

Die Gebirgsgruppe im Westen von Oberstdorf, die im Hohen Ifen (2230 m) gipfelt und in deren Mitte, im Bereich der Gottesacker-Wände, Mahd-Tal und Hölloch liegen (Abb. 1), gehört zur Gesteinszone des Helvetikums im Alpenrandbereich.

Vorzugsweise baut sie die „Nördlichen Kalkalpen“ der Schweiz auf und reicht als deren Fortsetzung über den Oberrhein und Vorarlberg bis in das westliche Allgäu herein. Diese Gesteine mit „Schweizer“ Charakter, die in den Formationen der Jura- und besonders der Kreidezeit zur Ablagerung gekommen sind, haben wesentlich jüngeres Alter als die Hauptgesteine der ostalpinen Nördlichen Kalkalpen, deren Entstehung zum überwiegenden Teil in die Triasformation fällt. Die Allgäuer Alpen im Süden von Oberstdorf, die vom Widderstein und der Mädelegabel-Gruppe her in die Lechtaler und Vilser Alpen gegen Nordtirol und Oberbayern nach Osten ziehen, haben also der Entstehungsgeschichte nach und strukturell kaum etwas mit dem Ifen-Helvetikum gemeinsam. Dieses bleibt vom Allgäu an nach Osten auf den Alpenrand beschränkt, wo es im Grönten, der Reuterwanne und im Alspitz-Kamm zum letzten Mal bedeutendere Höhen erreicht. Von da ab ist es für den Nichtgeologen in den komplizierten Alpenrand-Strukturen verborgen, reicht aber als einige hundert Meter schmale Zone über Salzburg hinaus nach Osten, wobei es zunehmend verkümmert.

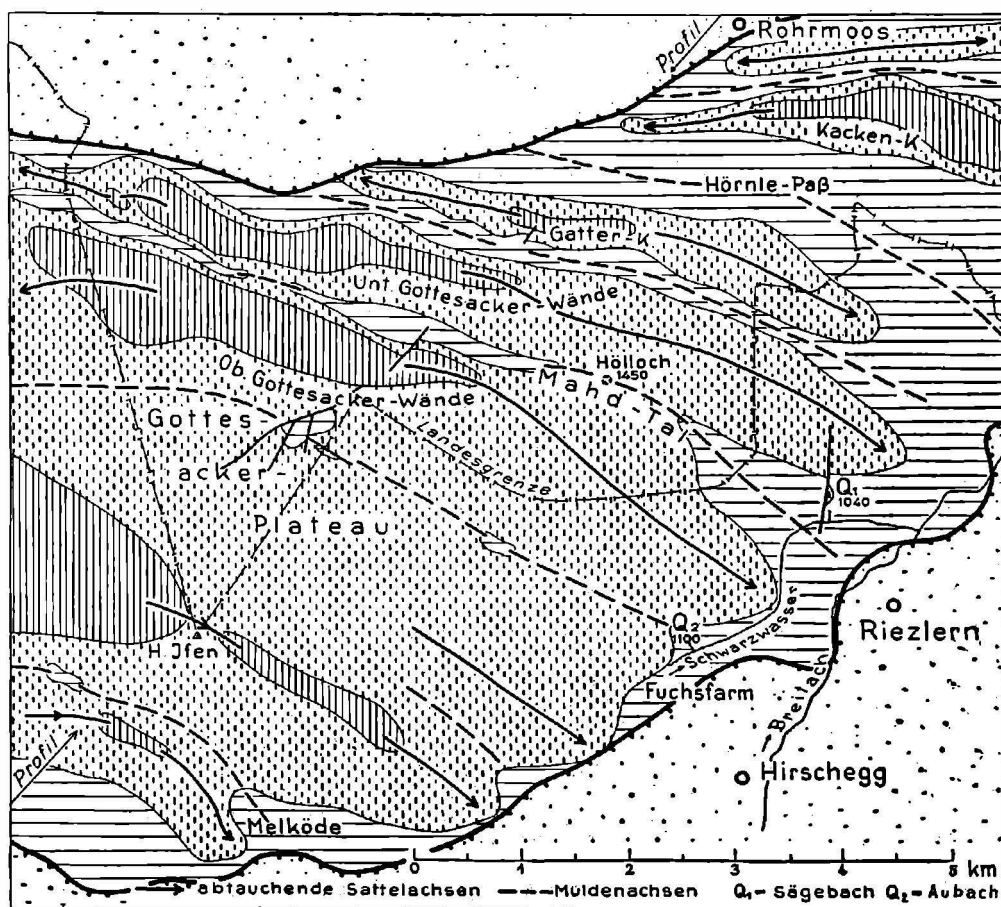


Abb. 1 Die Faltenstrukturen im Helvetikum des Ifen-Gebirgsstockes (nach Lange 1955/56 und eigenen Beobachtungen). Zeichenerklärungen siehe Abb. 2.

1. Gesteinsaufbau

Die Helvetikum-Zone, einschließlich Ultrahelvetikum, die in der Ostschweiz (Säntis) und zuletzt in Vorarlberg (Canisfluh) eine ausgedehnte Schichtenfolge, vorzugsweise Jura-, Kreide- und Alttertiärgesteine aufweist (Oberhauser 1951; Bettenstaedt 1958), ist im Allgäu-Vorarlberger Grenzbereich und in Oberbayern auf Gesteine der Kreideformation und des Alttertiärs beschränkt. Im Ifen-Helvetikum herrschen Kreidegesteine bei weitem vor. Sie sind während einer Zeitspanne zwischen 140 Millionen und 60 Millionen Jahren vor der heutigen Zeit als Seichtwasserabsätze am Boden eines Ur-Mittelmeeres, im nördlichen Schelfbereich der „Tethys“, zur Ablagerung gekommen. Die nach Ostschweizer Lokalitäten benannten Schichtserien werden der Altersfolge entsprechend kurz beschrieben (Genauere Einstufung siehe Abb. 3 und Abb. 4).

Die Drusberg-Schichten (Unterkreide: Barrême) und örtlich noch tiefere helvetische Unterkreide-Mergel und Kieselkalke bilden den untersten, zu Tage tretenden Schichtenkomplex des Ifen-Stockes. Sie bestehen vorzugsweise aus schieferigen Tonmergeln, die bei ihrer geringen Härte im Oberflächenbereich zu Geländedepressionen führen. Der Tiefe Ifen, zwischen Hähle-Kopf und Didams-Kopf im Süden und dem westlichen Gottesackerplateau mit Mähren-Kopf und Plessig-Kopf im Norden, sowie weitere Taldepressionen sind in die weichen Drusberg-Schichten, das Unterlager des Schrattenkalkes, eingetieft. Ihnen sind oben einige mächtige Kalkbänke eingeschaltet, die in die bedeutsamste Helvetikumserie des Gebietes überleiten: den

Schrattenkalk. Er gehört der hohen Unterkreide an (Apt) und bestimmt als 80 bis 100 m mächtiger Komplex klobig-dickbankiger Kalke das Landschaftsbild des gesamten Ifen-Massivs. Überall, wo er die Oberfläche einnimmt, haben sich felsige Wände und Gipfel oder verkarstete Kalkhochflächen herausgebildet. Darauf weist auch der Name hin: Schratten = Karren. Bei flacher Lagerung herrscht Plateaucharakter vor, bei steiler Lagerung entstehen felsige Grate und Wände (Bild 1 und 2). Wenn bei flacher Lagerung die Abtragung bis auf die weichen Schichten der tieferen Unterkreide hinunterreicht, kommt es am Rande des Schrattenkalkplateaus zu schroffen Felswänden, die für das Ifen-Gebiet bezeichnend sind. Die schiefe Kalkplatte des Ifen-Gipfels gehört ebenso hierher wie die Oberen und Unteren Gottesackerwände (Abb. 2) oder die Felsabstürze am oberen Rand des Tiefen Ifen.

Brisisandstein. Gelegentlich findet man im Bereich des verkarsteten Schrattenkalkes Zonen, die durch ihre bräunliche Verlehmung, durch sandigen Schutt und durch ihre kalkfliehende Vegetation auffallen. Dort lagert auf dem Schrattenkalk als nächstjüngere Gesteinsserie die höchste Unterkreide (Ob. Apt und Alb), meist vertreten durch einen weniger als 10 m mächtigen, grünlichen Quarzsandstein, den Brisisandstein. Seine grüne Farbe geht auf „Glaukonit“ zurück, ein glimmerähnliches Mineral, das wegen seines Eisengehaltes bei der Verwitterung bräunlich „verrostet“.

Leistmergel sind die Hauptvertreter der helvetischen Oberkreide und werden örtlich über 150 m mächtig. Es sind weißgraue, selten grünliche oder rötliche, weiche Kalkmergel mit hohem Tongehalt, die sich oft unter einer lehmigen Verwitterungsdecke verbergen. Ihre tiefsten Schichten werden dort, wo sie reiner kalkig sind, als Seewerkalk bezeichnet. Sie fehlen hier im allgemeinen.

Die Kalkgesteine und Sandsteine der helvetischen Kreide sind in den unteren Gebirgsregionen bewaldet und die Kalke oberhalb der Waldgrenze bis in die Felsregion hinauf von Latschen bestanden. Die tonig-mergeligen Gesteinsserien werden meist von Wiesen oder Alpen eingenommen.

Während der jüngsten Vereisung, der Würm-Eiszeit, die vor beinahe 100000 Jahren einsetzte und vor ca. 10000 Jahren zu Ende ging, als die Schneegrenze um 1500 bis 1600 m tiefer lag als heute (in ca. 1200 m ü. d. M.), entwickelten sich, besonders in nach Nord und Ost exponierten Schluchten und karartigen

Nischen, Firnfelder und Lokalgletscher, die sich mit dem Ferneis der großen Talgletscher vereinigten. Fast der ganze Ifenstock lag unter einer Firn- und Eiskappe. Ablagerungen späteiszeitlicher Rückzugsbildungen sind verbreitet. In der Depression des Tiefen Ifen liegen bei rd. 1500 m Höhe späteiszeitliche Endmoränenwälle. Ähnliche Moränenablagerungen zwischen der Ob. Auenalm (1592 m) und dem Hahnen-Kopf (2143 m) entstammen dem schluchtartigen Firn-Einzugsgebiet unter den Felsabstürzen auf der Nordseite der Ifen-Felsplatte. Selbst im Randbereich des Gottesackerplateaus finden sich immer wieder Moränenablagerungen, ein Hinweis dafür, daß es ein riesiges Firnfeld-Platt getragen hat, von dem Gletscherzungen gegen die Täler abflossen.

Auch die, in weiche Unterkreidesteine eingetieften, Talgründe unter dem Gipfel des Hirsch-Ecks und im Schatten der Oberen und Unteren Gottesackerwände weisen gleichartige späteiszeitliche Vereisungsspuren auf (Lange 1955). Die tieferen Talhänge und die Talböden der Melköde, im Schwarzwasser-Tal, im Unteren Mahd-Tal, beim Klausen-Wald, beim Hörnle-Paß, bei Rohrmoos und anderswo sind von Grundmoränen mit einzelnen aufgesetzten Stadialmoränenwällen verhüllt. Sie gehören zu älteren Rückzugs-Bildungen, teils sind es auch Ablagerungen aus der Hauptwürmeiszeit selbst. — Die Vereisungsspuren im Oberen Mahd-Tal werden Seite 19 geschildert.

Der Verbreitungsbereich und die wohl erhaltenen glazialen Ablagerungen im heutigen Oberflächenbild lassen erkennen, daß das Relief in seinen Hauptzügen präwürmeiszeitliches Alter hat. Die Neigung des Schrattenkalkes zu tiefgründiger Verkarstung — er ist das morphologische „Gerippe“ des heutigen Landschaftsbildes im gesamten Ifenbereich (Abb. 1 und 2; Bild 1 und 2) — hat die Konservierung der alten Landschaftsformen, also auch des Talverlaufs und des alten Gewässernetzes, besonders begünstigt.

Blockwerk, Bergsturz und Hangschutt, die das heutige Felsrelief auf weite Strecken verhüllen können, sind zur Hauptsache erst nach dem Rückzug des Eises in postglazialer Zeit (seit 8000 v. Chr.) durch Verwitterung entstanden, als die übersteilten und zermürbten Talhänge und Felswände durch Fortschmelzen des Eises der Verwitterung erneut zugänglich wurden und bis heute geblieben sind. Fließerdeartige Erscheinungen haben mächtige Schutt- und Bergsturzmassen weit in die Talgründe gelangen lassen, wo Schrattenkalk-Blockwerk und -Schutt an steilen Hängen auf tonigem Verwitterungsmaterial der Drusbergschichten lagerte. Auf der Südseite des Hohen Ifen hat ein Bergsturz von z. T. haushohen Schrattenkalk-Blöcken den Talausgang der Melköde blockiert und dahinter vorübergehend einen See aufgestaut.

2. Untergrundstrukturen

In erdgeschichtlich wesentlich jüngerer Zeit als zur Ablagerungszeit der, zu festem Gestein gewordenen, rd. 100 Millionen Jahre alten Meeresabsätze der Kreidezeit wurde die Gesteinsserie Festland; es bildete sich während der Tertiärzeit das gefaltete Hochgebirge heraus. Diese tektonischen Vorgänge haben sich größtenteils im Jungtertiär abgespielt; das war vor einigen Millionen Jahren.

Es ist eine erstaunliche Tatsache, daß die festen Schichtgesteine bei genügend langer und langsamer Beanspruchung bruchlos faltbar gewesen sind (Abb. 2). Der Faltungsvorgang hat sich vermutlich unter einer beträchtlichen Gesteinsdecke (der Flyschdecke: siehe unten), also nicht unter freiem Himmel abgespielt.

Durch seitlichen, von Süd gegen Nord gerichteten Zusammenschub wurden die Gesteine zu Sätteln und Mulden verfaltet, deren Faltenachsen von West-nordwest nach Ost-südost verlaufen (Abb. 1). Die gefalteten Strukturen wurden an Verwerfungen, Längs- und Quer-Störungen verschoben oder zerbrochen. Dabei sind gesetzmäßige Störungssysteme entstanden. Diese tektonischen Trennungsfugen wurden gemeinsam mit den Schichtfugen des Schrattenkalkes (Bild 2)

zu bevorzugten Wegen für eindringendes Oberflächenwasser und zu Haupt-Ansatzstellen der Verkarstung.

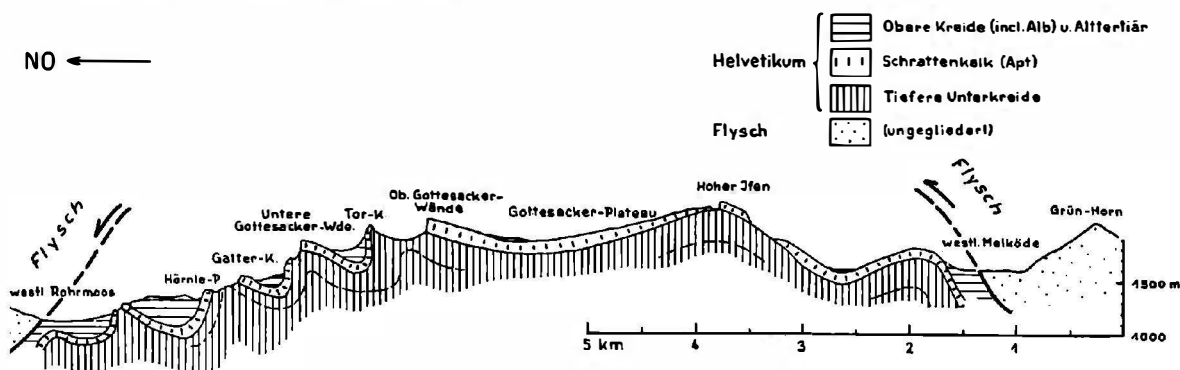


Abb. 2 Geologisches Querprofil durch das Helvetikum des Ifen-Gebirgsstockes (nach Lange 1955/56 und eigenen Beobachtungen).

Das Ifen-Gebirgsmassiv läßt von Rohrmoos im Norden bis zur Melköde im Süden über eine Breite von annähernd 9 km einen fast eleganten Faltenwurf in sieben Sättel oder „Gewölbe“ und sechs dazwischengelegene Mulden erkennen (Abb. 1 und 2). Von Nord nach Süd sind es (röm. Zahlen = Sättel; arab. Zahlen = Mulden)³:

- I. Sattel östlich Rohrmoos bei der Schattwald-Alpe
1. Mulde bei der Schöntal-Alpe
- II. Kackenkopf-Sattel
2. Hörnlepaß-Mulde
- III. Gatterkopf-Sattel
3. Gattertal-Mulde
- IV. Sattel der Kessler-Alpe und der Unteren Gottesackerwände
4. Windeck-Mahdtal-Mulde
- V. Sattel der Hirschgund-Alpe und der Oberen Gottesackerwände
5. Mulde der Gottesacker-Alpe und Küren-Alpe
- VI. Sattel des Tiefen Ifen und Hohen Ifen; im Osten zweigeteilt (s. Bild 2 auf Tafel II)
6. Mulde der Pellingner Köpfe und der Melköde
- VII. Hählekopf-Sattel

Die Faltenachsen dieser helvetischen „Gewölbe“ verlaufen nicht überall horizontal; im überwiegenden Bereich des Ifen-Stockes weisen sie ein Achsen-tauchen bis zu mehr als 15° gegen Osten auf. Im Bereich des Breitach- und des Illertales verschwinden die helvetischen Sättel und Mulden gegen Osten unter dem tektonisch darauflagernden Flysch. Auch gegen Westen tauchen die Falten-achsen des Ifen-Gewölbes in ähnlicher Weise ab wie nach Osten: die Achsen-Kulmination liegt annähernd im Bereich des Profilverlaufs von Abb. 1 und 2.

Wie im Osten, so wird diese großartige Helvetikum-Aufwölbung aus Einzelsätteln und -mulden auch im Norden und im Süden von darauflagernden Flyschgesteinen begrenzt, unter denen das Helvetikum begraben ist. Es schaut als „Halbfenster“ unter dem Flysch hervor, der vor seiner Abtragung als mächtige Überschiebungsdecke darüber hinweggeglitten war. Diese Überschiebung ist nicht gleichzeitig mit der Faltung, sondern später vor sich gegangen. — Hier ist nicht der Platz, auf die ganz andersartige Zusammensetzung der mergel- und sandsteinreichen Flysch-serien, die zur Hauptsache ebenfalls der Kreideformation angehören, aber in einem ganz anderen Bereich des „Ur-Mittelmeeres“ zum Absatz gekommen sind, näher einzugehen.

Der Schrättensalk zeichnet den Faltenwurf ganz ausgezeichnet ab, denn die Helvetikumgesteine über ihm und unter ihm sind wesentlich weicher als er. Da die Abtragung, die seit dem Ende der tektonischen Hauptvorgänge (das sind

³ Es wurden auf das engere Ifengebiet zugeschnittene, z. T. etwas andere Bezeichnungen gewählt als von Wagner (1950).

immerhin viele hunderttausend Jahre) durch Eiszeiten und nacheiszeitliche Klimaeinflüsse unermüdlich tätig ist, meist am Schrattenkalk haltgemacht hat, ist der Faltenwurf deutlich sichtbar bloßgelegt: die Sättel sind gleichzeitig die Hochgebiete und die Mulden die Tiefgebiete, also die Talzüge (Abb. 2 und 4; Bild 1 und 2). Das innige Zusammengehen tektonischer Untergrundsstrukturen und morphologischer Oberflächenformen stehen im Ifen-Gebiet in selten harmonischem Einklang miteinander. — Störungssysteme und Brüche in den Faltenstrukturen werden auf Seite 19 näher erläutert.

II Geologie des Hölloch-Bereiches

Über die geologischen Verhältnisse des Hölloches war vor seiner Erkundung 1949/1950 nichts Genauereres bekannt. Sie lassen sich mit den geologischen Verhältnissen über Tage gut in Einklang bringen. Durch K. Cramer sind über letztere 1957/1958 neue Details bekannt geworden.

Erläuterung zu Bild 1 auf Tafel I:

Der Bildausschnitt umfaßt den Bereich vom Gatter-Kopf (1659 m) im Norden (rechter oberer Bildrand) bis zum Gottesacker-Plateau (ca. 1800 m) im Süden (linke untere Bildecke). Die Faltenstrukturen durchziehen das Bild von links nach rechts. Die nördlichste der durch lange Schatten kenntlichen Felswände gehört dem Schrattenkalk-Südflügel des Gatterkopf-Sattels an, der sich im Schattenbereich am rechten oberen Bildrand mit dem Nordflügel vereinigt. — Das Längstal im Süden davon geht auf den, von weichen Oberkreidesteinen erfüllten, Kern der Gattertal-Mulde zurück.

Die mittlere der drei, durch lange Schlagschatten kenntlichen Felswände markiert den Scheitelpunkt der südlich anschließenden Sattelstruktur der Unteren Gottesacker-Wände (1856 m) und gleichzeitig den Nordflügel des nächst südlichen Muldenzuges von Windeck-Scharte und Mahd-Tal, den ebenfalls weiche Oberkreidesteine einnehmen. Er zieht diagonal durch das ganze Bild hindurch. Der Hölloch-Schacht im Mahd-Tal (unweit rechts der Bildmitte) ist durch ein weißes O markiert.

Lange Schlagschatten kennzeichnen auch den dritten, südlichsten Schrattenkalk-Zug der Oberen Gottesacker-Wände (ca. 2000 m). Die z. T. schattenerfüllte Depression nördlich davon besteht aus weichen Drusbergschichten im Kern dieses Sattels der Oberen Gottesacker-Wände, der ebenfalls nach Osten abtaucht. Am Ostende dieser Schlagschattenreihe (nahe der Bildmitte) verschwinden die Drusbergschichten, und der Schrattenkalk der beiden Sattelflügel (der schmalere Nordflügel ist durch den auffallenden Kegelschatten des Thor-Kopfes, 1929 m, markiert) vereinigt sich auf dem breiten Felsrücken südlich des Hölloches zu einem breiten, nach Osten abtauchenden Sattelscheitel, der sich orographisch im Kürenwald verliert.

Eindrucksvoll prägen sich im Bereich der verkarsteten Oberen Gottesacker-Wände und des südlich anschließenden Gottesacker-Plateaus zwei regelmäßige Störungsrichtungen aus. Die nach Ost-südost gerichtete vorherrschende wird von der zweiten, nach Nordost verlaufenden Störungsgruppe diagonal gekreuzt.

Die bedeutendste, als Horizontalverwerfung wirkende Störung, die von der Gottesacker-Scharte (linker Bildrand) links am Thor-Kopf vorbei über die Windeck-Scharte und die Unteren Gottesacker-Wände zur Mitte des oberen Bildrandes nach Nordost zieht, ist als weißer Strich über ca. 2 km Länge deutlich im Luftbild abgezeichnet. — Weitere flach nach Nordost ziehende Störungen sind ebenfalls als helle Linien, z. B. nördlich des Hölloches, erkennbar.

1. Das Mahd-Tal

Bei ca. 1450 m Höhe befindet sich auf dem Talgrund des Mahd-Tals der Hölloch-Schacht. Strukturkarte und Profilserie des Mahd-Tales (Abb. 3 und 4) lassen deutlich erkennen, daß die Talsohle der Mahdtal-Muldenachse (= 4. in der Zusammenstellung auf Seite 17) folgt (vgl. Abb. 2 bis 5; Bild 1). Der Muldenkern enthält im Westen, bei der Windeck-Scharte, und im Osten, bei der Höfle-Alpe, über dem Schrattenkalk noch Brisisandstein und Leistmergel. — Unter dem Brisisandstein ist bei der Höfle-Alpe örtlich die kalkigere Liegend-Serie der Grünten-Schichten vertreten.

Von Bedeutung ist die Frage, inwieweit die jüngeren, undurchlässigen und nicht zur Verkarstung geeigneten Brisisandstein- und Leistmergel-Schichten des Muldenkerns von der Windeck-Scharte Mahdtal-abwärts nach Osten reichen. Darüber haben die Untersuchungen von K. Cramer (Abb. 3–5) Klarheit gebracht.



Bild 1 Luftbild des Gottesacker-Plateaus und der Gottesacker-Wände im Bereich des Hölloches (vervielfältigt mit Genehmigung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, Landesaufnahme in Wien, Zl. 58336/57).

Oberhalb der Mahdtal-Alpe hat das Tal einen breiten, trogartigen Charakter, der durch junge Schuttfächer am Fuße der Felshänge etwas verwischt ist. Der weite Talgrund zeigt fast nirgends den gewachsenen Felsboden, sondern ist von Blockschutt, Hangschutt und Moräne bedeckt. Unter den Oberen Gottesackerwänden wird am Fuß der südlichen Talflanke auf dem Muldensüdflügel Brisisandstein sichtbar. Dieser schaut ein letztes Mal 400 m oberhalb der Alphütte im Talgrund unter dem Schutt heraus und nimmt dort den tektonischen Muldenboden selbst ein. Wie weit er sich nach Osten gegen das Hölloch erstreckt, läßt sich nicht beobachten, da der Talboden bei der Alpe von späteiszeitlichen Moränen mit einem deutlich ausgeprägten Stadial-Endmoränenwall (in ca. 1500 m Höhe) erfüllt ist. Die Moränen- und Schuttbedeckung bis zur Alm herunter fällt im wesentlichen mit der Verbreitung jüngerer helvetischer Kreideschichten über dem Schrattekalk im Muldenkern zusammen. Bezeichnenderweise versinkt erst dort der von der Windeck-Scharte kommende Bach im Talschutt, wo ca. 250 m oberhalb der Mahdtal-Hütte im Talboden mehrere verstürzte Dolinenkessel sichtbar sind (Seite 22 und 27) und die jüngeren, undurchlässigen Kreideschichten vermutlich auskeilen.

Weitere spätglaziale oder postglaziale (Gschnitz- oder Daun-Stadium) Moränenreste finden sich in den karartigen Eintiefungen beiderseits des Tor-Eck (2017 m), nördlich unter den Oberen Gottesackerwänden. Kleine Lokalgletscher haben dort Stadial-Endmoränenwälle hinterlassen. Der Toreck-See (1785 m) zwischen Windeck-Scharte und Gottesacker-Scharte bedeckt den Boden einer der genannten karartigen Nischen. Die ältere Talmorphologie hat sich bis heute gut erhalten.

Die älteren Stadial-Moränen bei der Mahdtal-Alpe gehen talabwärts in losen Blockschutt über, worunter der felsige Talboden aus Schrattekalk herauschaut. Die Umgebung des, 300 m unterhalb der Alm gelegenen, Hölloches und nahezu der gesamte Talboden darunter bis zur Höfle-Alpe bestehen aus nacktem Schrattekalk mit einer dürrtigen Waldbedeckung. Lediglich bei der Gefällsminderung im Bereich einer kleinen begrünten Talweitung gleich unterhalb des Hölloches lagert am Talboden ein dünner Schuttmantel (Abb. 8). Gleich unterhalb davon versteilt sich das Talgefälle. Es beginnt eine schluchtartige, durch Dolinenkessel gegliederte Felsenge, die erst beim Erreichen der Grünten-Schichten, des Brisisandsteins und der Leistmergel dem weiten Almgelände bei der Höfle-Alpe Platz macht (Abb. 5).

Der Wechsel der Gefällsverhältnisse am Boden des Mahd-Tales ist aufs engste mit der unterschiedlichen östlichen Neigung der Mahdtal-Muldenachse verknüpft. Auf der Windeck-Scharte geht das westliche Achsentauchen über eine Achsen-Kulmination in östliches Achsentauchen über. Es ist zunächst nur gering, wird oberhalb des Hölloches sogar nochmals annähernd horizontal und erst östlich davon zunehmend steiler: oberhalb der Höfle-Alpe taucht die Muldenachse mit 15 bis 20° gegen Ostsüdost ein (Abb. 5).

Störungsklüfte durchsetzen in drei Hauptrichtungen die Faltenstrukturen (Abb. 3; Bild 1). Infolge Verkarstung sind sie durch Dolinenreihen oder Karren-gassen im Schrattekalk besonders augenfällig markiert (vgl. Bild 2). Die drei Hauptrichtungen weisen auf einen einheitlichen tektonischen Beanspruchungsplan hin; sie sind in etwa symmetrisch zum Schichtenverlauf orientiert und entweder als Diagonal-Querstörungspaare (Verlauf von Nordost nach Südwest bzw. von Nordwest nach Südost) oder als Längsstörungen parallel zum Schichtstreich (Westnordwest-Ostsüdost) ausgebildet. Dem Beanspruchungsplan nach sind sie auf eine scherende, deh nende Beanspruchung quer zur Faltungsrichtung und der damit verbundenen Einengung zurückzuführen. Durch die Flysch-Deckenüberschiebung (Seite 17) ist der ursprüngliche Beanspruchungsplan wahrscheinlich überprägt und verkompliziert worden.

Erläuterung zu Bild 2 auf Tafel II:

Von der Gottesacker-Scharte (1967 m) aus erblickt man jenseits des verkarsteten Gottesacker-Plateaus im Süden die schiefe Schrattenkalk-Platte des Hohen Ifen (2230 m) und westlich (rechts) daneben den rundlichen Gipfel des Hahnen-Kopfes (2143 m). — Die Ifenplatte setzt sich nach links nur scheinbar in die dahinter befindlichen Flyschkämme jenseits der Melköde fort. Darüber schaut der, aus Hauptdolomit der ostalpinen Trias aufgebaute, hohe Felsklotz des Widderstein (2536 m) herüber und rechts dahinter ganz im Süden die Hauptdolomit-Berge der Mohnenfluh-Braunarlspitz-Gruppe im obersten Lechtal-Bereich.

Deutlich sieht man die Formen der Verkarstung im Schrattenkalk, besonders die Karren-gassen im Vordergrund, die durch Störungsklüfte vorgezeichnet sind. Vom Standplatz des Beobachters aus zieht die große Horizontalstörung der Gottesacker-Scharte (s. Bild 1) nach SW weiter, auf den Hahnen-Kopf zu und verliert sich inmitten des Gottesacker-Plateaus.

Das ca. 3 km breite Plateau des Gottesackers ist, dem allgemeinen östlichen Faltenachsen-Tauchen entsprechend, nach links geneigt. Im östlicheren Teil nimmt es die Formen eines weit gespannten Sattels an, der sich zwischen Oberen Gottesacker-Sattel (vorn) und Ifen-Sattel (= Sattelstrukturen V und VI der Zusammenstellung auf Seite 17) einschaltet (s. Abb. 1), aber nach Westen ausklingt. — Die Längstal-Furche im Bild-Mittelgrund beginnt rechts bei der Gottesacker-Alpe (1835 m) und zieht gegen die Schneider-Küren-Alpe zu nach links. Sie entspricht der Muldenstruktur 5 in der Zusammenstellung auf Seite 17.

Prächtig treten die Schichtköpfe der nach Ost (links) geneigten klobigen Einzelbänke im Schrattenkalk des Gottesackers heraus; sie sind dicht mit Latschen bewachsen, während sonst nackter Schrattenkalk-Fels vorherrscht. Die streifen- und inselartige Verteilung des Latschenbewuchses ist vermutlich eine Folge der winterlichen Schneedecke, die sich zwischen den Schichtkämmen bis in den Sommer hält, während die Kämme selbst frühzeitig ausapern.

Diese drei Strukturrichtungen finden sich in gleichartiger Weise bei Gesteinsklüften ohne nennenswerten Verschiebungscharakter. Auch sie sind im Schrattenkalk durch die Herausbildung von Kluffkarren besonders deutlich sichtbar geworden und von Wagner (1950) anschaulich beschrieben und bebildert worden.

Soweit an den Störungen merkliche Bewegungen beobachtet werden können, haben sie den Charakter von Horizontal-Verwerfungen, besser Blattverschiebungen. Diese Annahme wird bestätigt durch Bewegungsspuren auf den Störungsharnischen, die gelegentlich eine horizontale oder flach nach Norden geneigte Striemung erkennen lassen. Der Störungseffekt ist bei geneigten Schichten sowohl im Kartenbild als auch auf Profilskizzen demjenigen einer Vertikalverwerfung gleich.

Störungen größeren Ausmaßes sind vorzugsweise auf die Flanken der Mahdtal-Mulde beschränkt, soweit sie durch Verkarstung deutlicher geworden sind (Abb. 3). Meist sind es Diagonal-Störungen. Die bedeutendste quert im unmittelbaren Bereich der Windeck-Scharte die Mahdtal-Mulde von Nordost nach Südwest; sie läßt deutlich eine Horizontalverschiebung erkennen, derart, daß die Schichten auf der Ostseite des Störungsharnisches (mit leicht nach Norden geneigter Striemung) um ca. 100 m gegen Nord vorgeschoben sind. Die Störung zieht am kleinen Toreck-See vorbei bis ins Gottesackerplateau (Abb. 1; Bild 1 u. 2), und zwar über

Erläuterungen zu Abb. 3 (Seite 21).

Zeichenerklärung: Quartär: 1 = Tal-Alluvionen; 2 = Blockwerk, Bergsturz; 3 = Gehängeschutt und Schuttfächer; 4 = Moräne; 5 = Moränenwall. Kreide: 6 = Leistmergel (Coniac — Ob.-Campan); 7 = Brisisandstein (Ob.-Apt); 8 = Grüntenschichten (Ob.-Apt); 9 = Schrattenkalk (Mittel-Barrême — Apt); 10 = Drusbergschichten (Unt.-Barrême).

Topographie und Morphologie: 11 = 50 m-Höhenlinien und Wasserlauf; 12 = Staatsgrenze; 13 = Wasserscheide der Einzugsbereiche für den Thor-See, das Hölloch und die Sägebach-Quelle; 14 = Quelle: Nr. 1—6, 8—9; 15 = Höhle; 16 = Doline, Ponor, Schacht; 17 = Felskante.

Tektonische Zeichen: 18 = Störung; 19 = Schichtlagerung.

Die Kartenskizze umfaßt das Untere und Obere Gottesacker-Gewölbe, sowie die Mahdtal-Mulde. Die Schichtsignaturen geben gleichzeitig die Lagerung wieder. Die Morphologie paßt sich ihr an. Daher decken sich die Höhenlinien und die Streichkurven der Schichten vielfach, vor allem im Schrattenkalk. Die Drusbergschichten treten im Kern des Oberen Gottesacker-Gewölbes zu Tage. Brisisandstein und Leistmergel sind nur als Erosionsreste in „tektonisch geschützter“ Muldenlage vorhanden. Durch Luftbild-Auswertung konnte das Störungs-Netz wesentlich verdichtet werden (vgl. Bild 1). In der Mitte der Darstellung, im Kern der Mahdtal-Mulde auf 1450 m Höhe, liegt der Schachtmund des Höllochs, dessen Höhlengrundriß schwarz angedeutet ist.

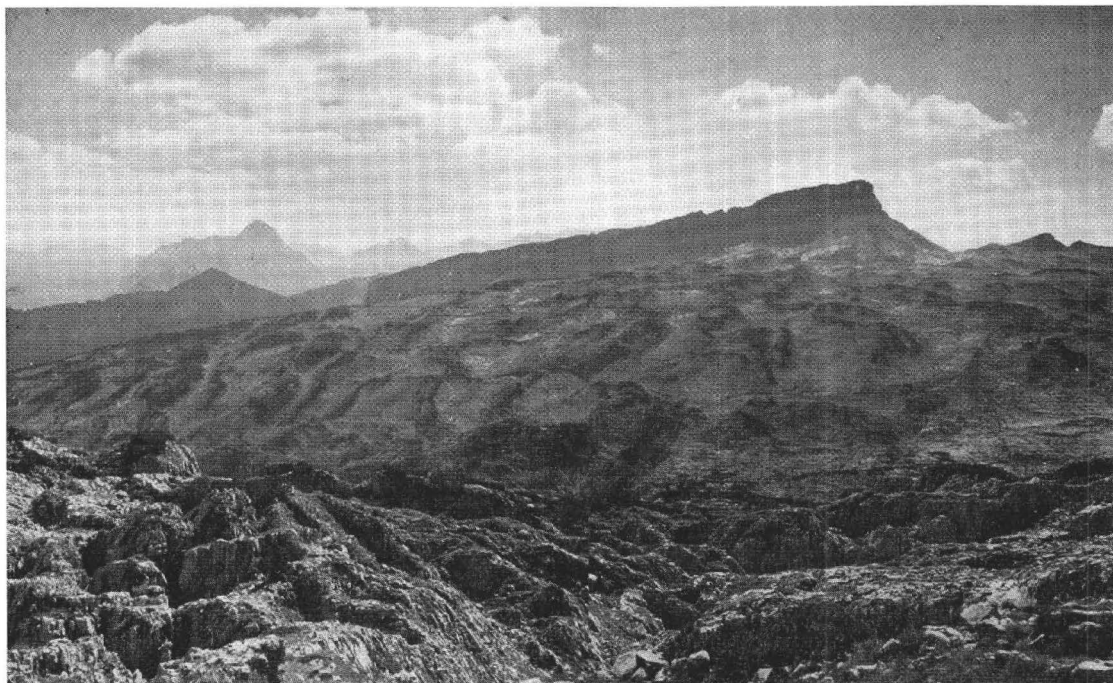


Bild 2 Das Gottesacker-Plateau, von den Oberen Gottesacker-Wänden aus gesehen
(Foto: Schmidt-Thomé).



Bild 3 Das Obere Mahdtal oberhalb des Hölloches. Im Hintergrund der Thorkopf (1930 m).
Foto: Spöcker.

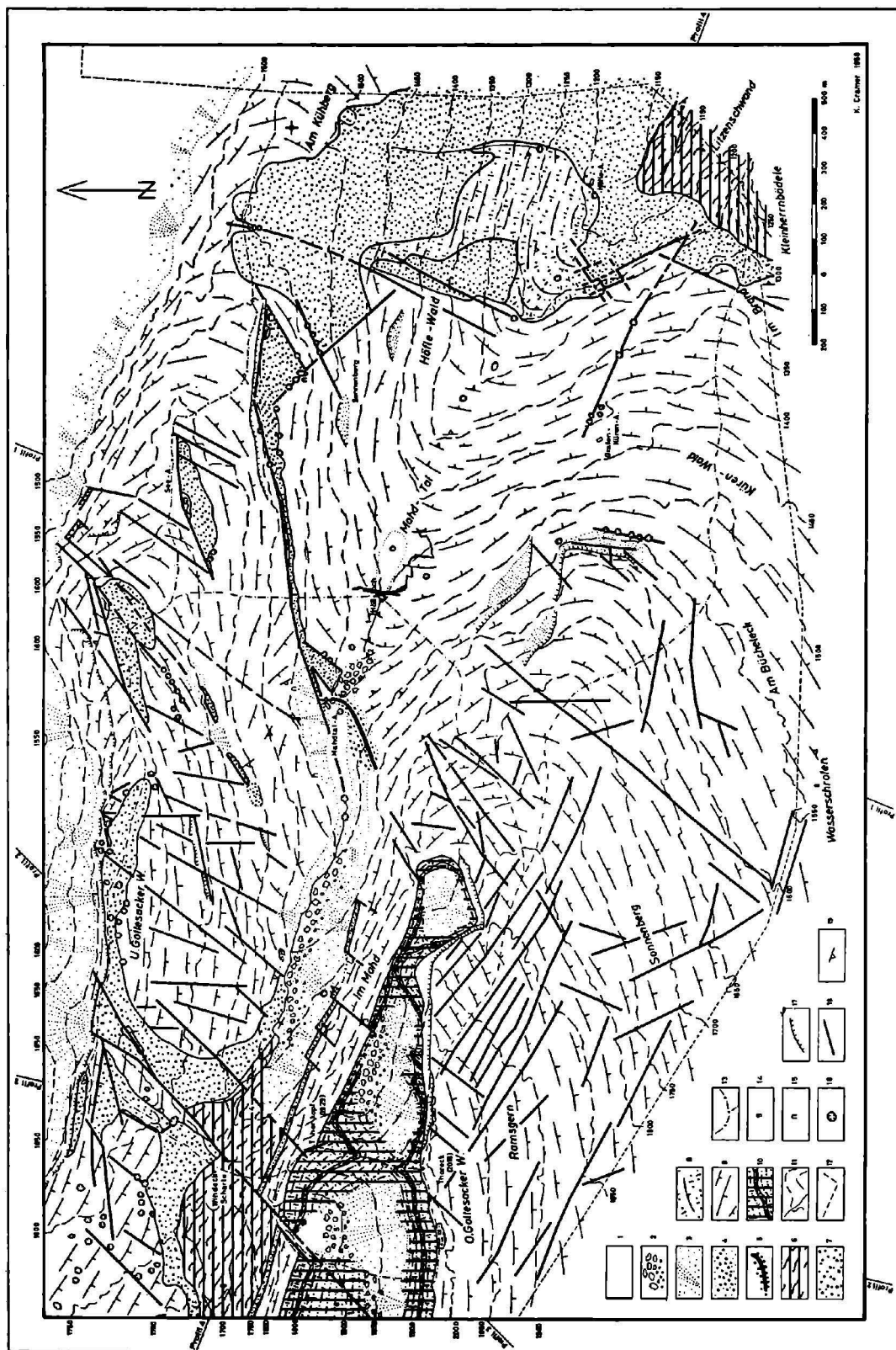


Abb. 3 Die geologischen Strukturen des Mahd-Tales (nach K. Cramer 1957/58). Erläuterungen s. Seite 20, unten.

die Gottesacker-Scharte, die auf die damit verbundene Gesteinszerrüttung zurückzuführen ist. Sie ist bereits von Wagner (1950) beschrieben worden. Ähnlich verlaufende Diagonalstörungen finden sich auf beiden Teilflanken oberhalb der Mahdtal-Alpe. Die größte hat scheinbar den Charakter einer Verwerfung, an der die Schichten gegen Süd abgesunken sind, und zwar so tief, daß der auf dem Schrattenkalk lagernde Brisisandstein und stellenweise sogar Leistmergel von der Hangabtragung verschont geblieben sind (vgl. Abb. 4 und 7). Diese Störung ist durch Dolinenreihen an mehreren Stellen, auch im Brisisandstein, deutlich markiert (Abb. 3) und scheint als Wasserschlucker für die Versorgung der Höhlenwässer im Oberlauf des Hölloches zu fungieren, zumal im Talgrund ebenfalls einige Dolinentrichter im Schutt auf ihr Vorhandensein hinweisen (Seite 19).

Ein massiger Kalk ohne Trennungsfugen wäre wasserundurchlässig. Nur auf Schicht- und Klüftungen dringt das Wasser in die Tiefe vor und wirkt, je lang-

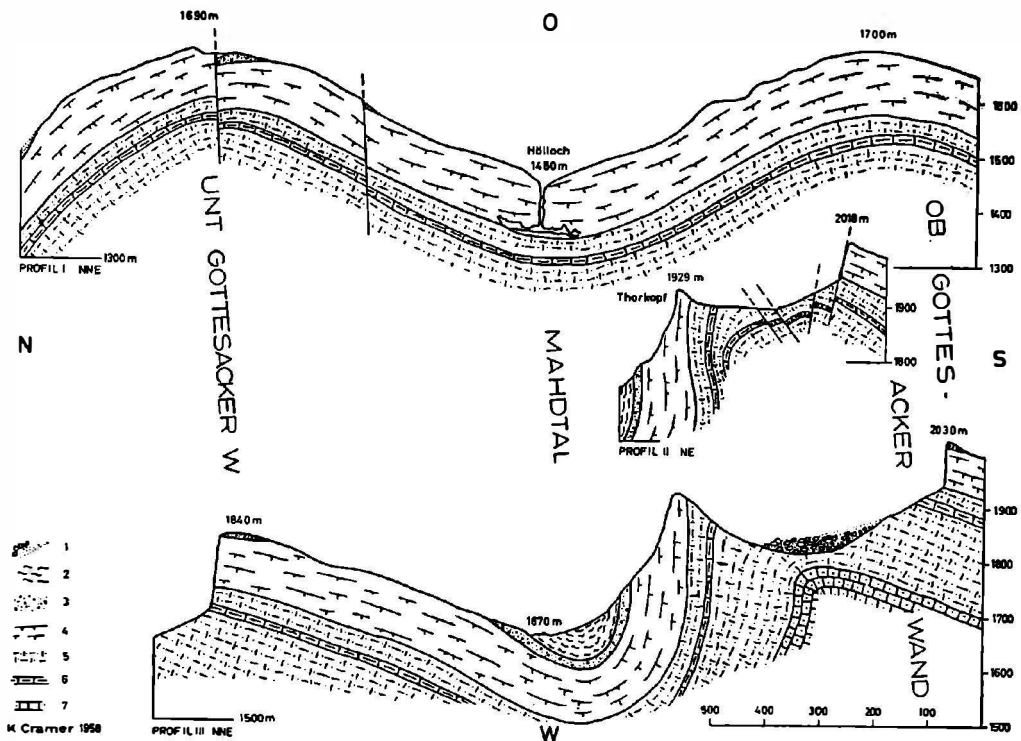


Abb. 4 Drei schematische geologische Querprofile durch das Mahd-Tal im Hölloch-Bereich (nach K. Cramer 1957/58).

Zeichenerklärung: 1 = Gehängeschutt und Bergsturz; 2 = Leistmergel (Coniac — Ob.-Campan); 3 = Brisisandstein (Ob.-Apt); 4 = Schrattenkalk (Mittel-Barrême — Apt); 5 = Drusbergmergel; 6 = Drusbergkalk (5 und 6 Unt.-Barrême); 7 = Kieselkalk (Hauterive).

Die drei Querprofile lassen den ruhigen Faltenbau des Mahdtal-Bereiches erkennen, besonders bei Profil I. Profil II und III zeigen den „aufgebrochenen“, bloßgelegten Sattelkern des Oberen Gottesacker-Gewölbes aus Drusbergsschichten in nördlich überkippter Lagerung. Die wenigen bedeutenderen Störungen fügen sich dem Faltenbild ein. Ihr „Verwerfungs“charakter führt örtlich zur Konservierung der Hangendgesteine des Schrattenkalks; Reste von Brisisandstein und Leistmergel blieben dadurch vor der Abtragung bewahrt. Der basale Teil des Hölloch-Höhlensystems ruht in 1370 m Höhe annähernd auf den obersten Drusbergmergeln. Dort ist die Karstbasis erreicht (Profil I).

dauernder und je mehr Kohlensäure es in Lösung enthält, desto wirksamer, chemisch, und zwar gesteinslösend auf den Kalk ein. Der Herausbildung von Höhlensystemen ist damit „Tür und Tor geöffnet“.

2. Das Hölloch

Der Hölloch-Schacht verbindet die Geländeoberfläche und das Höhlensystem miteinander. Auch hier sind es geologische Strukturen, welche dem Wasser seinen Weg von der Oberfläche in die Tiefe und bei seinem weiteren unterirdischen Verlauf gewiesen haben, und zwar besonders die Muldenstruktur des Mahd-Tales und die sie durchsetzenden Störungsklüfte.

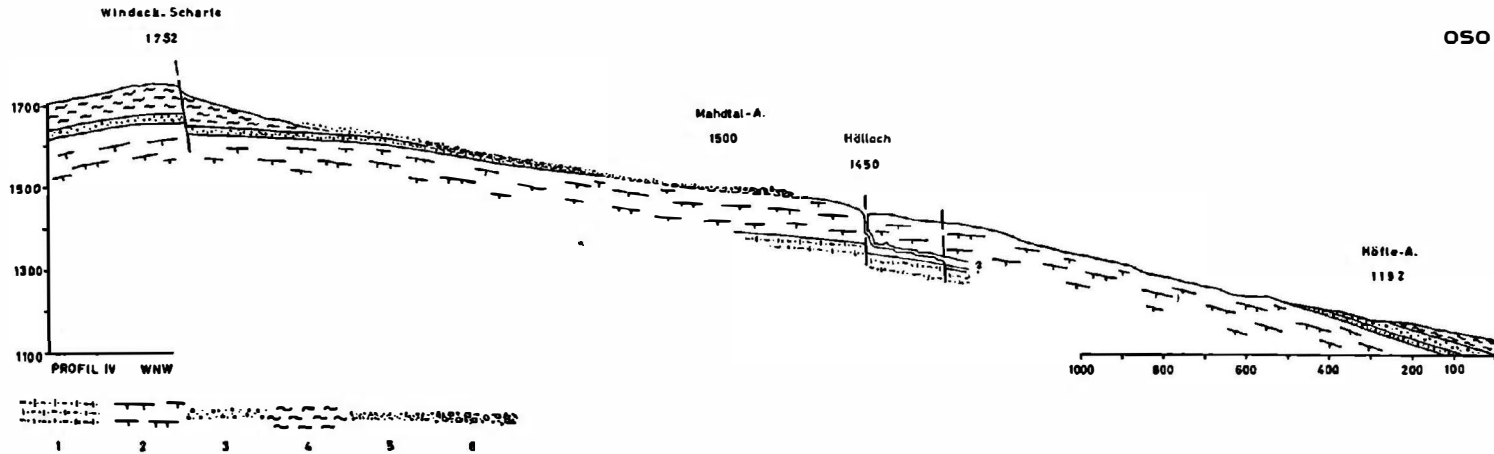
Der Muldenbau ist bei der Windeck-Scharte asymmetrisch nach Norden überkippt. Das ist in abgeschwächter Form auch noch beim Hölloch der Fall, wo unter den zu Ende gehenden Oberen Gottesackerwänden die Schrattenkalk-Bänke bis 55° gegen Nord geneigt sind, während sie auf der Tal-Nordseite lediglich mit 20 bis 25° nach Süden einfallen (Abb. 4 und 7).

Das wechselnde östliche Abtauchen der Mahdtal-Muldenachse ist auf Seite 17 und 19 generell erläutert worden. Es ist gewiß kein Zufall, daß das Hölloch im Bereich einer örtlichen „Achsen-Kulmination“, also horizontal lagernden Muldenboden, entstanden ist. Auf diese Achsen-Kulmination geht letztlich die Ausräumung der jüngeren Schichten im Muldenkern und die Freilegung des Schrattenkalkes am Muldenboden zwischen Mahdtal-Alpe und Höfle-Alpe zurück (Abb. 5). Auch die beiden Störungen hängen damit zusammen, die auf dehnende Beanspruchung im Scheitel dieser „Kulmination“ zurückgehen und mit zur Entstehung des Hölloch-Schachtes geführt haben (Abb. 6 und 8).

Der Hölloch-Schacht ist der einzige bekannte Zugang von über Tage her zu dem jenseits der Schachtsohle bachaufwärts weiterreichenden Höhlensystem. Der Eingang ist markiert durch die beiden eben genannten Störungen, die, steil von Nordnordost nach Südsüdwest verlaufend, das Mahd-Tal im Bereich einer örtlichen Kulmination der Muldenachse queren (s. oben; ferner Abb. 5). Eine der beiden Störungen, die senkrecht einfällt, hat den oberen, steilsten Teil des Hölloch-Schachtes vorgezeichnet. Bei einer Schachtstufe in 48 m Tiefe setzt der untere Hölloch-Schacht ein, der mit 65 bis 70° gegen Ost geneigt ist. Er folgt von der genannten Stufe an einer geneigten, zweiten Störungsfläche, die auch an der Gestaltung des oberen Schachtteiles mitbeteiligt ist (Abb. 6 und 8), im unteren, schrägen Schachtabschnitt dagegen für das eindringende Oberflächenwasser allein wegweisend geblieben ist. Selbst die Schachttiefe mit ca. 77 m ist nicht rein zufälliger Art: unter der Schachtsohle ist am Mahdtal-Muldenboden die Basis des Schrattenkalkes nahezu erreicht, was seiner Mächtigkeit von 80 bis 100 m (s. oben, Seite 15) entspricht. Das konnte bei der zweiten Höhlenkundfahrt 1950 von Spöcker (s. Seite 39) insofern nachgewiesen werden, als von ihm, im Zuge der genaueren Erkundung des Höhlen-Nordteils, bei der „Natterkluft“ im Liegenden des Schrattenkalkes heraustauchende Drusberg-Schichten angetroffen wurden (Abb. 7⁴).

Die Herausbildung des kleinen Hölloch-Sees könnte u. a. mit auf die vermutlich unter dem Seeboden anstehenden, wasserundurchlässigen Drusberg-Schichten zurückgehen, was mit der beobachteten Lagerungsweise und der daraus abzuleitenden Mächtigkeit des Schrattenkalkes im Einklang ist. An der Schachtsohle, im Bereich des Mahdtal-Muldenkerns, lagern die Schrattenkalk-Bänke ebenso horizontal wie am oberen Schachteingang. Mit zunehmender Entfernung in nördlicher Richtung nimmt ihre Neigung nach Süden stetig zu; sie beträgt

⁴ Die von mir dargestellte Gesteinslagerung entspricht vielleicht nicht ganz den tatsächlichen Verhältnissen, denn an dem Auftauchen der Drusberg-Schichten bei der Natterkluft scheinen Störungen beteiligt zu sein.



Cramer 1958

Abb. 5 Geologisches Längsprofil durch die Mahdtal-Muldenachse von der Windeck-Scharle im Westen bis zur Höfle-Alpe im Osten (nach K. Cramer 1957/58).

Zeichenerklärung: 1 = Drusbergsschichten (Hauterive —); 2 = Schrattenkalk (Mittel-Barrême — Apt); 3 = Brisisandstein (Ob.-Apt); 4 = Leistmergel (Coniac — Ob.-Campan); 5 = Tal-Alluvionen; 6 = Bergsturz, Blockwerk.

Das Profil (Verlauf s. Abb. 3) zeigt an der Windeck-Scharle den Kulminationspunkt und rechts davon das Abtauchen der Muldenachse nach Osten, das beim Hölloch vorübergehend in horizontale Lagerung übergeht. Diesen Scheitelstellen (Windeck-Scharle und Hölloch-Bereich) ordnen sich die Störungen wiederum ein. Das Hölloch-Höhlensystem ruht offenbar auf den Drusbergsschichten. Der Hölloch-Schacht ist an Querstörungen vorgezeichnet.

bei der Natterkluff bis zu 15° (Abb. 6): der nördliche Höhlenbereich befindet sich nicht mehr im Mahdtal-Muldenkern, sondern auf seinem Nordflügel (Abb. 4 und 7).

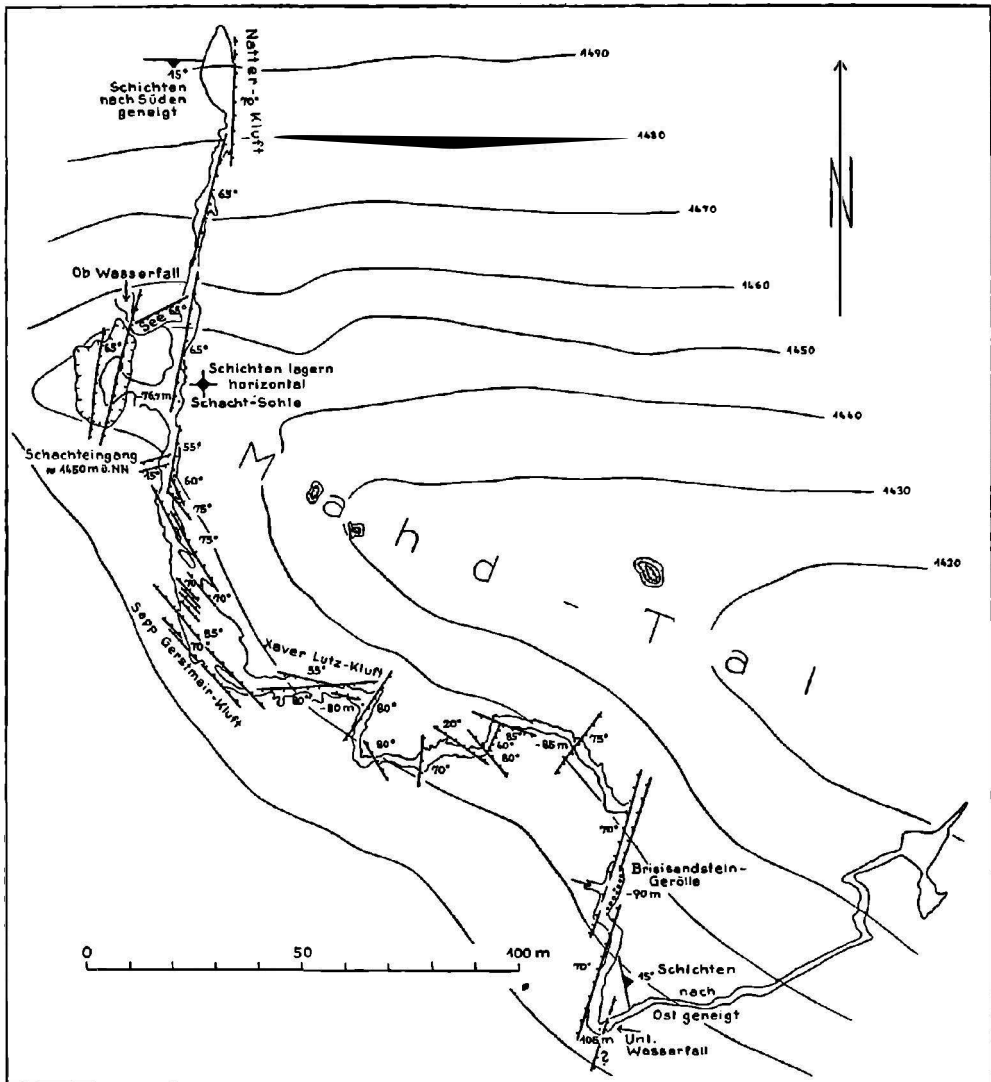


Abb. 6 Die tektonischen Strukturen im Hölloch-Höhlensystem (Topographie nach Spöcker).

Die oben genannte zweite, geneigte Störungsfläche im unteren Hölloch-Schacht ist für den ganzen nördlichen Teil des Höhlensystems von Bedeutung, wie aus dem Hölloch-Grundriß auf Abb. 6 ersichtlich ist. Er stützt sich auf den Höhlenplan Spöckers, der wesentlich genauer ist als die mit Kompaß und Meßband gewonnene Grundrißskizze im Maßstab 1:500, die bei den geologischen Aufnahmen unter Tage 1949 entstanden war. Diese Störung ist identisch mit der großen Störungskluft, die auf der Ostseite der „Schachthalle“ sichtbar ist, wo die Harnischfläche einen Teil der Hallenwand bildet. Die gleiche, fast Nord-Süd verlaufende und steil gegen Ost-südost geneigte Störung zeichnet auch den Ver-

lauf der nördlichen Höhle zwischen See und „Natterkluft“ vor. Die Natterkluft ist ebenfalls eine, dieser Hauptstörung annähernd parallel zugeordnete, Begleitstörung. Ihre Harnischfläche bildet die östliche Felswand und weist nach Feststellungen Spöckers (Seite 40) annähernd horizontale Striung auf.

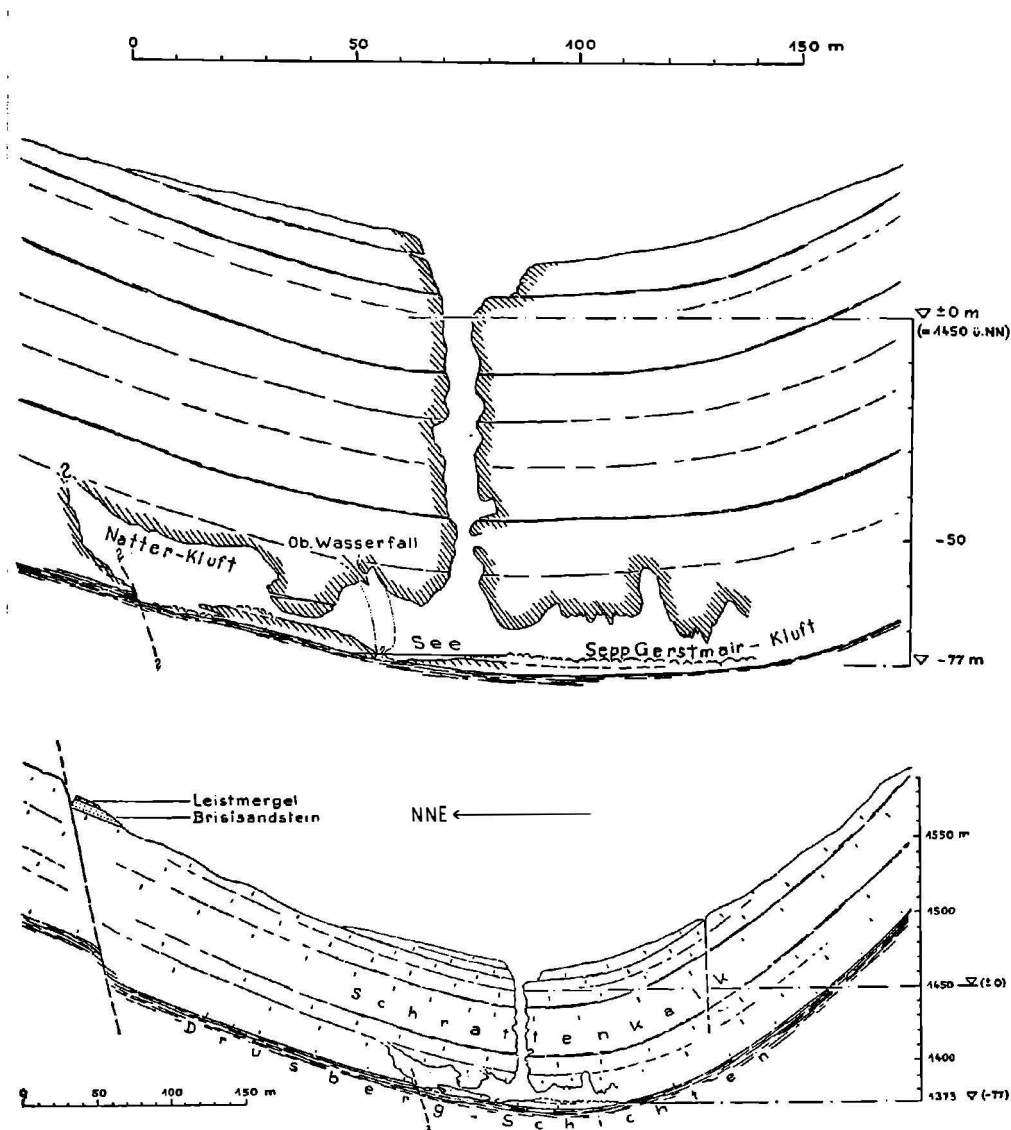


Abb. 7 Geologischer Querschnitt durch das Hölloch (Topographie z. T. nach Spöcker).

Die gleiche, vom Schachteingang bis zur Natterkluft hinabreichende Störungsfläche ist vermutlich auch mitbeteiligt an der Stufenbildung beim Oberen Wasserfall, der in den Höhlensee herabstürzt (Abb. 6). Oberhalb desselben setzt die Höhle bachaufwärts mit unbekanntem Verlauf fort.

Unterhalb der Schachthalle wird das Störungssystem der Natterkluft und Schachtkluft von einer Schar etwas anders verlaufender Klüfte abgelöst, die z. T. weniger steil gegen Nordost geneigt sind und von Nordwest nach Südost

ziehen. Sie werden besonders durch die „Sepp-Gerstmaier-Kluft“ repräsentiert. Ihrer Richtung paßt sich der Verlauf des Höhlensystems vorübergehend an (Abb. 6).

Mit dem Verlassen dieser Kluftschar und dem Abbiegen des Höhlenverlaufes gegen Osten ändert sich sein Charakter: das Gefälle wird größer, der Höhlenquerschnitt gedrungener und enger. Der zuerst beschriebene, vorwiegend auf Störungsharnischen angelegte, nördliche Höhlenteil zeigt hohe Hallen, aus deren Firsten das tektonisch beanspruchte Gestein längs der Störungen zum Teil heruntergebrochen ist. Vom Verlassen der Sepp-Gerstmaier-Kluft an herrschen dagegen Auflösungsformen im Höhlenprofil vor. Die Aufschlußverhältnisse werden schlechter, da die Wände mit einer die Strukturen verbergenden Sinterhaut jüngerer Entstehung überzogen sind. Dieser Teil wird als „Obere Wasserklamm“ bezeichnet (s. Kartenbeilage).

Dennoch ist auch hier zunächst noch die „Xaver-Lutz-Kluft“ zur Leitlinie des Höhlenverlaufs geworden, die annähernd von West nach Ost verläuft und sich aus mindestens zwei, verschieden stark geneigten Einzelstörungen zusammensetzt. Mit dieser Störung ist auch die dritte der Seite 19 geschilderten drei Hauptstörungsrichtungen innerhalb des Höhlensystems vertreten: Nordost- und Nordwest-verlaufende Diagonalstörungen, sowie Westost- bis Ostsüdost-verlaufende streichende Störungen (s. Abb. 6).

Mit zunehmendem Gefälle gegen Osten und nach einer Strecke mit unregelmäßigem Höhlengrundriß, der nur untergeordnet durch tektonische Strukturen, zur Hauptsache durch Schicht- oder Bankfugen vorgezeichnet zu sein scheint, stellt sich unterhalb der Oberen Klamm (bei 85 m Tiefe unter Schachteingang) erneut ein abrupter Richtungswechsel gegen Süd ein („Mittlere Wasserklamm“ auf Kartenbeilage). Der Grundrißform und wohl auch der Entstehung nach hat er Ähnlichkeit mit dem nördlichen Höhlenteil beiderseits der Schachthalle. Wieder sind es steil von Nordost nach Südwest verlaufende Störungsharnische, die, einander ablösend, der Wasserklamm einen geraderen Weg vorzeichnen. Zum Unterschied von der Natterkluft und der entsprechenden Störung des Hölloch-Schachtes sind sie steil gegen Nordwest anstatt gegen Südost geneigt. Auch das Gefälle der Mittleren Klamm ist beträchtlich größer als dort, während der auf Verbruch zurückführende Hallencharakter im Bereich der Störungsflächen an die Schachthalle und die übrigen hallenartigen Erweiterungen im Nordteil erinnert.

Eigenartig ist eine Anhäufung von faust- bis kopfgroßen Brisisandsteingeröllen auf der gesimseartigen östlichen Klammseite (Abb. 6), ca. 5 m über der Bachsohle. Die wohlgerundeten Sandsteingerölle sind durch Verwitterung des Glaukonits braunschwarz gefärbt. Das völlige Fehlen anderer Gerölle, auch solcher des viel widerstandsfähigeren Schrattenkalks, ist vielleicht auf einen Wassereinbruch beim Einsturz einer Doline zurückzuführen, die oberflächlich von Brisisandstein bedeckt war. Derartige Dolinen finden sich im Verlauf der oben (Seite 22) geschilderten und auf Abb. 3 deutlich kenntlichen, Ostnordost verlaufenden Diagonalstörung, die vom schutterfüllten Talboden, unter dem sich ebenfalls Dolinen bemerkbar machen, unmittelbar nördlich der Mahdtal-Alphütte entlang in den Nordhang des Mahd-Tales zieht und von Brisisandstein begleitet wird. Sie wurde (Seite 22) als vermutlicher Wasserbringer des unterirdischen Hölloch-Baches genannt.

Nach Passieren der Nordost-Störungen im Bereich der Mittleren Klamm wendet sich das Höhlensystem erneut scharf gegen Nordost. Man gewinnt den Eindruck, als habe der Klammbach das Bestreben, im Muldenkern der Mahdtal-Mulde zu „mäandrieren“, und als sei er durch die Störungen der Mittleren Wasserklamm zu weit nach Süden geraten und aus dem Mulden-Kernbereich auf den südlichen Muldenflügel abgelenkt worden. Es hat den Anschein, als wende sich das Bachgerinne am Ende der Störungszone wieder zurück, um erneut das Muldentiefste im Kern der Mahdtal-Mulde zu gewinnen.

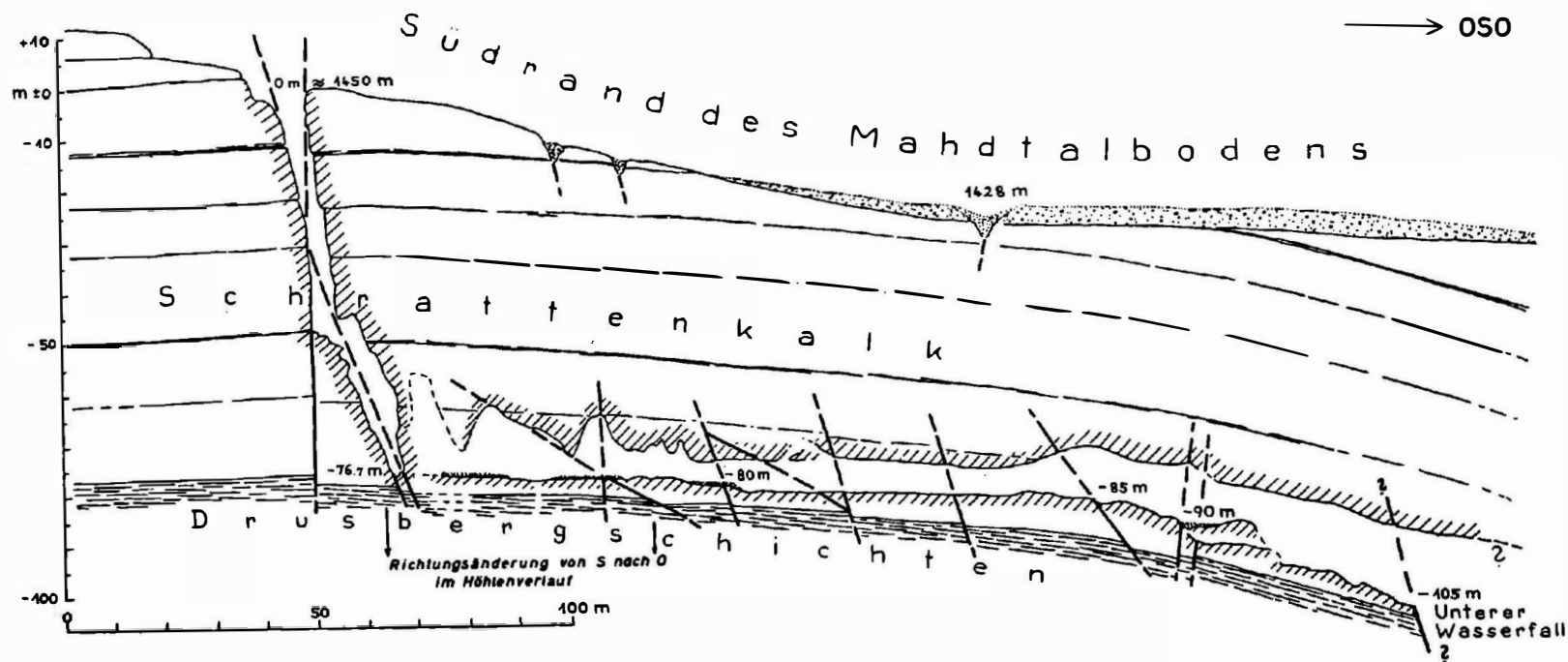


Abb. 8 Kombiniertes geologisches Längsschnitt durch das Höllloch (Topographie nach Spöcker).

Beim Unteren Wasserfall, der vermutlich durch eine Querstörung bedingt ist, stürzt der Höhlenbach über eine 8 m hohe Stufe, während das Höhlendach, soweit sichtbar, in gleicher Höhe fortzieht. Der vom Wasserfall aus sichtbare Höhlenverlauf der „Unteren Wasserklamm“ gegen Nordost macht den Eindruck einer riesigen Spalte, deren Dach ebenso wenig sichtbar ist wie ihre Sohle. In Sohlenhöhe der Mittleren Klamm ziehen einige besonders harte, hornsteinführende, plattige Schrattenkalk-Bänke als seitliches Gesims noch ein Stück weit über den Wasserfall weg klammabwärts. An ihnen läßt sich die Schichtneigung von 15° nach Osten gut beobachten, die dem Achsentauchen des Muldenkerns entspricht. — Die Erkundungen 1949/1950 haben beim Unteren Wasserfall wegen der schwierigen Begehungs- und Aufnahmeverhältnisse vorerst ihr Ende genommen.

Die geologischen Verhältnisse und ihre Beziehungen zum Höhlenverlauf können wie folgt zusammengefaßt werden: Die Klüfte dreier Hauptstörungs-Richtungen haben in erster Linie dem unterirdischen Wasser seinen Weg gewiesen. Für den Höhlenverlauf ist weiter von entscheidender Bedeutung seine Lage im Bereich der nach Osten abtauchenden Mahdtal-Muldenachse, in welche das Wassergerinne nach vorübergehendem „Herauspendeln“ immer wieder zurückfindet. Die Verlagerung des Höhlenverlaufes nach Süden gegenüber der an der Oberfläche im Gelände feststellbaren Tal- und Muldenachse (Abb. 6) geht offensichtlich auf die Überkipfung der Mahdtal-Mulde nach Norden zurück, wodurch die Muldenachse in der Tiefe südlicher verläuft als über Tage (Abb. 7). Die Tiefenlage des Höhlensystems unter der Geländeoberfläche wird durch die Mächtigkeit des Schrattenkalkes mitbedingt; die darunter lagernden tonigen Drusberg-Schichten können als Karstwasser-Stauer wirken. Tiefenlage und Gefällsverhältnisse des unterirdischen Wasserlaufs werden ferner durch das veränderliche östliche Achsentauchen der Mahdtal-Mulde beeinflusst (Abb. 8): das Gefälle nimmt nach Osten zu statt ab.

3. Die Sägebach-Quelle

Der Umkreis der Sägebach-Quelle wurde 1949 in die geologische Kartierung und Untersuchung einbezogen. P. Lange hat später den gesamten engeren und weiteren Bereich geologisch kartiert.

Durch die Untersuchungen Spöckers (Seite 51/52) steht heute fest, daß das unterirdische Bachgerinne des Hölloch-Höhlensystems in der Sägebach-Quelle wieder zu Tage tritt.

Mit zunehmendem östlichen Achsentauchen wird von der Höfle-Alpe an der Kern der Mahdtal-Mulde ebenfalls in zunehmendem Maß breiter und von stetig jünger werdenden Kreideschichten erfüllt, die über dem Schrattenkalk lagern (Abb. 1 und 5). Dabei verbreitert sich die Mulde gegen Südosten trichterförmig: Grünten-Schichten, Brisisandstein, Leistmergel und schließlich auch noch Wang-Schichten (= hohe helvetische Oberkreide) stellen sich übereinander als Schichtglieder im Mahdtal-Muldenkern ein. Im Vergleich zum Schrattenkalk, welcher den Muldenboden bildet und von ihnen verhüllt wird, können alle als wasserundurchlässig gelten. Daher ist es nicht erstaunlich, daß die Sägebach-Quelle nicht wie das Hölloch im Kern der Mulde, sondern auf ihrem Nordflügel zutage tritt, wo die verhüllenden Mergelgesteine über dem Schrattenkalk abgetragen sind.

Die Sägebach-Quelle in ca. 1040 m über NN liegt rd. 300 m tiefer als das untere Ende der Mittleren Wasserklamm im Hölloch (Abb. 8). Sie tritt westlich des Sanatoriums bei Innerschwende, unterhalb top. P. 1058 am Weg von Innerschwende zur Höfle-Alpe zu Tage. Ein schmaler, gegen Süden verlaufender und oberhalb der Quelle meist trockener Graben folgt einer Querstörung, die ganz steil Nordnordost-Südsüdwest streicht und senkrecht bis steil gegen Osten geneigt

ist. Auf Abb. 1 ist ihr Verlauf bei „Q₁“ schematisch dargestellt. Diese Störung ist in der kleinen Felsschlucht, in der das Sägebach-Quellwasser aufgestaut wird, sichtbar. Unter Brisandstein, der mit 20 bis 25° gegen Südsüdost geneigt ist, schaut gerade noch, und zwar nur hier, der oberste Schrattenkalk heraus, der mit dem Sandstein gemeinsam ein ca. 3 m hohes, von der Störungsfläche östlich begrenztes Wändchen bildet. Die Störungskluft bzw. der Schrattenkalk dürfen als Wasserbringer gelten. Im weiteren Umkreis ist sonst nirgends Schrattenkalk unter den darüber lagernden mergeligen Kreidegesteinen bloßgelegt. Der Quellaustritt selbst ist infolge Überstauung und Schuttverhüllung nicht zu beobachten.

Die Störung hat den Charakter einer kleinen Verwerfung bzw. Blattverschiebung (s. oben): auf ihrer Ostseite sind die nach Süden geneigten Schichten gegen Norden versetzt, bzw. erscheinen relativ gegen Osten abgesunken. An der Störungsfläche stoßen daher jüngere, wasserundurchlässige Kreidegesteine gegen den Schrattenkalk; bei der Quelle ist es dichter Brisandstein, der von mergeligeren Lagen begleitet ist. Der gleiche Brisandstein zeigt am Fahrweg über der Quelle bei P. 1058 mit 40° gegen Süden eine stärkere Neigung als an der Quelle selbst: wir befinden uns bereits weiter nördlich vom Kern der Mulde entfernt auf ihrem steiler werdenden Nordflügel. Bei dem ca. 40 m tiefer gelegenen kleinen Kraftwerk am Schwarzwasser-Bach, das den Höhenunterschied zwischen Quellaustritt und Schwarzwasserniveau ausnutzt, bedingen schwächer geneigte, kalkigere Leistmergel des Muldenkerns einen mehrere Meter hohen Wasserfall.

Im Nachbargebiet, der nordöstlichen und südwestlichen Umrahmung des trichterförmig geöffneten unteren Mahd-Tales, an dessen Hängen der Schrattenkalk unter den jüngeren Kreideschichten des Muldenkerns wieder zum Vorschein kommt, findet sich keine Stelle, wo der Kalk in gleich niedriger Höhenlage von ca. 1040 m nochmals zutage herausschaut. Das geht bei der Sägebach-Quelle auf die oben beschriebene Störung zurück, die den Schrattenkalk dort unter den auflagernden jüngeren Kreideschichten ganz örtlich ausnahmsweise zu Tage treten läßt. Das Höllochwasser findet den Weg zur Tagesoberfläche, obwohl es aus der Muldenachse gegen den Mulden-Nordflügel abgewandert ist. Ja, aus hydrostatischen Gründen muß es den, infolge östlichen Achsentauchens schließlich zu tief gelegenen Muldenkern im Grenzbereich von Drusberg-Schichten und Schrattenkalk „aufgeben“ und auf dem „undichten“ Mulden-Nordflügel seinen Weg durch den klüftigen Schrattenkalk an die Oberfläche suchen. Der tiefegelegene, nach oben abgedichtete Schrattenkalk-Bereich des Muldenbodens dürfte von Kluftwasser erfüllt sein, das hydrostatisch gespannt ist und sich mit Tiefengrundwasser aus anderen Einzugsbereichen des Schrattenkalkes vereinigt. Daraus mögen noch weitere, tiefer gelegene Quellaustritte gespeist werden. — Die Sägebach-Quelle repräsentiert den Typus einer kombinierten Schicht- und Verwerfungsquelle gemischten und z. T. aufsteigenden Grundwassers.

III Zum Entstehungsalter des Hölloches

Altersfragen sind für die Geologie als erdhistorischer Wissenschaft von besonderem Interesse. Deshalb soll abschließend der Versuch gemacht werden, Anhalte für das Alter des Hölloches zu finden.

Die unmittelbaren Beziehungen zwischen tektonischen Strukturen des Untergrundes und Höhlenverlauf sind im Hölloch besonders augenfällig. Die Höhlenbildung ist jünger als die jüngste Hauptgebirgsbildung im Jungtertiär, ist also vor allem im Quartär erfolgt. Der eiszeitliche Formenschatz, besonders aus der Würm-Eiszeit, zeigt deutliche Beziehungen zu den heutigen Landschaftsformen. Das Relief im Gottesacker-Gebiet ist mindestens so alt wie diese jüngste Vereisung, die vor fast 100000 Jahren begann. Die z. T. glazial nur überarbeiteten Landschaftsformen wurden in den Karstgebieten des Schrattenkalkes besonders gut konserviert. Damit blieb z. T. auch das System der vorwürmeiszeitlichen

Karstwasser-Zirkulation erhalten, deren Weg bei den engen Beziehungen zwischen Strukturtal-Formen einerseits und Höhlenverlauf und Untergrundsstrukturen andererseits während der ganzen Zeit in gleichartiger Weise vorgezeichnet war wie heute. Es ist fraglich, ob die prä-würmeiszeitliche und die postglaziale Karstwasser-Zirkulation durch die Würm-Eiszeit, einschließlich ihrer spätglazialen Rückzugsstadien und ihrer bedeutenden Interstadiale (Rathjens 1954) merklich unterbrochen worden sind. Nur das Oberflächen-Wasserangebot war beträchtlichen Schwankungen unterworfen, das Hauptangebot lag vermutlich sogar vor dem Höhepunkt der letzten Vereisung (I. Schaefer 1950). Die Entstehung und Weiterbildung könnte auch subglazial erfolgt sein.

Subglaziale Wasserzirkulation und Korrosion sind auch heute bekannt. Durch das in jüngster Zeit besonders starke Zurückschmelzen rezenter Gletscher sowie durch das Studium von Talsperrenobjekten im Alpenraum sind sowohl prä-würmglaziale als auch jüngere, z. T. subglazial funktionierende Klammern bekannt geworden (Knauer 1954; Schmidt-Thomé 1955; Gerber 1959).

Der Austritt des Hölloch-Wassers in der Sägebach-Quelle ist durch die Oberflächenverhältnisse, die mit den geologischen Untergrundsstrukturen in so harmonischem Einklang stehen, wohl schon lange, vielleicht bereits vor der letzten Vereisung, fixiert. Eiszeitliche Verbauung durch Gletschereis oder Grundmoräne mögen die Austrittsstelle vorübergehend blockiert haben, obwohl die Kartierung der Moränenverbreitung im Umkreis des Mahd-Tales erkennen läßt, daß ihre Verbreitung an das heutige Relief geknüpft ist. Die Quellenkote von 1040 m ist als Erosionsbasis des unterirdischen Hölloch-Bachgerinnes anzusehen. Sie liegt ca. 40 m über dem nahe benachbarten Schwarzwasser-Bach (s. Seite 30).

Die Festlegung der Hölloch-Erosionsbasis durch die tektonisch fixierte Sägebach-Verwerfungsquelle hat die quartäre Entstehungsgeschichte des Hölloch-Höhlensystems gegen Einflüsse, die aus der Entwicklung der Talsysteme von Breitach und Schwarzwasser-Bach hergeleitet werden könnten, „blockiert“ und blockiert sie auch heute noch dagegen. Das Hölloch-System ist deshalb von der glazialen und postglazialen Talgeschichte der benachbarten Flußtäler (Knauer 1952) weitgehend unabhängig geblieben.

Die Altersangaben über das Hölloch lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Die Zirkulation des Karstwassers im Schrattenkalk ist aufs engste an die, vor der Würm-Eiszeit vorhandenen, Strukturtäler gebunden. Sie ist schon frühzeitig, mindestens zeitweise auch während der letzten Eiszeit, gleichsinnig mit der heutigen Karstwasserbewegung verlaufen.

Dennoch läßt sich das Entstehungsalter des Hölloch-Höhlensystems selbst nicht eindeutig festlegen. Es bleibt ungeklärt, ob und in welchem Ausmaß es bereits prä-würmglazial angelegt, während der letzten Eiszeit subglazial und nach derselben noch weiter ausgestaltet worden ist. Ein gänzlich auf das Postglazial beschränktes Entstehungsalter ist nach den geologischen Untersuchungsergebnissen kaum anzunehmen. Das Entstehungsalter läßt sich erst bei Kenntnis des gesamten Höhlensystems genauer festlegen. Nur der Hölloch-Schacht selbst ist vermutlich junger, postglazialer Entstehung.

Eine Isotopen-Untersuchung des Höhlensinters aus der Mittleren oder Kleinen Wasserklamm des unterirdischen Hölloch-Gerinnes könnte vielleicht exaktere Altersanhalte erbringen. Dazu wären Probennahmen aus den entwicklungsgeologisch verschieden alten, äußersten Decken- und Bodenbereichen des Höhlenquerschnittes notwendig, die auf C^{14} im neugebildeten Kalksinter geprüft werden müßten (Franke-Münnich-Vogel 1959). Der Kalksinter ist jedoch jüngerer Entstehung als der von ihm verhüllte Höhlenteil.

Im Text zitierte Schriften

- Bettenstaedt, F.: Zur stratigraphischen und tektonischen Gliederung von Helvetikum und Flysch in den Bayerischen und Vorarlberger Alpen auf Grund mikropaläontologischer Untersuchungen. — Ztschr. deutsch.-geol. Ges., 109, Hannover 1958.
- Cramer, K.: Die Geologie des Mahdtales und der Karst des Gottesackergebietes (Allgäu-Vorarlberg). — Ungedr. Dipl.-Arbeit, T. H. München, 1959.
- Franke, H. W., Münnich, K. O. & Vogel, J. C.: Erste Ergebnisse von Kohlenstoff-Isotopenmessungen an Kalksinter. — Die Höhle, 10, Wien 1959.
- Gerber, E. K.: Form und Bildung alpiner Talböden. — Geographica Helvetica, 14, Zürich 1959.
- Knauer, J.: Diluviale Talverschüttung und Epigenese im südlichen Bayern. — Geologica Bavaria, Nr. 11, München 1952.
- Lange, P.: Geologie des Kleinen Walsertales. — Ungedr. Diss. Freie Univ. Berlin, 1955.
- Die Vorarlberger Flyschzone im Süden des helvetischen Halbfensters zwischen Hoher Ifen und Widderstein im Kleinen Walsertal. — Geologie, 5, Berlin 1956.
- Liedholz, J.: Geologie des südlichen Teiles von Blatt Balderschwang im Allgäu. — Ungedr. Dipl.-Arbeit, Freie Univ., Berlin 1956.
- Oberhauser, R.: Zur Geologie des Gebietes zwischen Canisfluh und Hoher Ifen (Bregenzer Wald). — Ungedr. Diss., Innsbruck 1951.
- Rathjens, C.: Das Problem der Gliederung des Eiszeitalters in physisch-geographischer Sicht. — Münchener Geogr. Hefte, 6, Regensburg 1954.
- Schaefer, I.: Die diluviale Erosion und Akkumulation. — Forsch. z. deutsch. Landeskunde, 49, Landshut 1950.
- Schmidt-Thomé, P.: Zur Frage quartärer Krustenbewegungen im Alpen- und Vorlpengebiet des Isartalbereiches. — Geol. Rdsch., 43, Stuttgart 1955.
- Schneider, A.: Geologie der Berge zwischen Breitach und Stillach im Allgäu. — Ungedr. Diss., Freie Univ. Berlin, 1957.
- Wagner, G.: Rund um Hochifen und Gottesackergebiet. — Öhringen 1950.

Nach Abschluß des Manuskriptes sind erschienen:

- Ehrenberg, K.: Über Alter und Lebensdauer von Höhlen. — Die Höhle, 11, Wien 1960.
- Richter, M.: Ergebnisse neuer Untersuchungen im Helvetikum des Vorarlberg und Allgäu. — Abh. deutsch. Akad. Wiss. III. Kl., Berlin 1960.
- Schmidt-Thomé, P.: Zur Geologie und Morphologie des Ifengebirgsstockes (Allgäu). — „Erdkunde“, 14, Bonn 1960.

Abgeschlossen im November 1959.

DAS HÖLLOCH ALS GEOGRAPHISCHES ELEMENT

Von R. G. Spöcker¹

Mit 8 Abbildungen im Text und 13 Bildern auf Tafel II — VIII, sowie einer
Kartenbeilage

I N H A L T

	Seite
A Morphologie und Hydrographie	33
I Der Höhlenplan	33
II Lage der Höhle in Beziehung zur Umwelt	34
III Die Dynamik der Erscheinungen im Raumbereich des Hölloches	36
IV Zur Morphogenese des Hölloches	37
1. Beschreibende Analyse	37
2. Entwicklungsgeschichte des Hölloches	42
3. Höhlenablagerungen	45
4. Kleinformen	47
V Datierung zur Morphogenese	50
B Färbeversuche	51
C Schriftenhinweise	52

A Morphologie und Hydrographie

I Der Höhlenplan (s. Kartenbeilage)

Die Aufnahme der Höhle erfolgte im Maßstab 1:200. Der Achsenzug enthält 35 Polygonpunkte mit einigen Nebenpunkten und besitzt nach dem Messungsverzeichnis — ohne den 77 m tiefen Schacht — eine Länge von 300 m. Vermessen wurde mit einem Markscheidergerät. In der Oberen Wasserklamm war weder ein sicherer Standpunkt für den Aufnehmenden und seine Helfer, noch irgendeine Möglichkeit, an den Meßpunkten Befestigungen anzubringen. Die Meßleine für die Geräte-Aufhängung mußte daher in diesem Abschnitt von Punkt zu Punkt mit der Hand angehalten werden. In der Klamm bewegt man sich nur auf schmalen Leisten, die in der Längsachse horizontal verlaufen und gegen die Klamm-Mitte meist stark abgeschrägt sind. Das bedingt die eigenartige, fast horizontale Anordnung der Polygonpunkte im Längsriß der Oberen Wasserklamm. Die Höhlensohle und der Bach dagegen fallen in diesem, nach unten manchmal bis zu 20 cm verengten Felsenschlauch, fortwährend tiefer ab. Aus diesen Verhältnissen ergibt sich, daß an solchen Stellen der Höhle nicht mit der wünschenswerten Genauigkeit vermessen werden konnte. Doch sind etwaige Differenzen nicht so beträchtlich, als daß sie das wiedergegebene Planbild von der Höhle beeinflussen könnten.

Sämtliche von der Höhle gefertigten 21 Querschnitte sind flußabwärts gesehen. Da mit der Vermessung im Jahre 1949 aus technischen Gründen am Ostende der Oberen Wasserklamm begonnen wurde, erfolgte die Numerierung der Polygonpunkte von dort an bergwärts; diese Reihenfolge wurde im Plan beibehalten. Auch die Längsrisse (mit aufgerollten Achsen) mußten teils wegen eines lage-

¹ Anschrift des Verfassers: Altenfurt bei Nürnberg.

richtigen Verhältnisses zum Grundriß, teils zur rationellen Blattnutzung, mit Norden an der rechten Seite angelegt werden, was nicht der Gepflogenheit auf geologischen Schnitt-Darstellungen entspricht. Die Abweichungen vom Üblichen bedingen aber eine bessere Lesbarkeit des Planes, der mit seinen Einzelbestandteilen dem Beschauer bekanntlich ein dreidimensionales Gebilde verständlich machen soll.

II Die Lage der Höhle in Beziehung zur Umwelt

Der Faltenbau des Ifengebietes ist von Schmidt-Thomé im vorangegangenen Beitrag (s. Seite 17f) beschrieben worden. Das Hölloch liegt danach in der Mulde 4, die sich zwischen den Sätteln IV und V befindet (vgl. Wagner 1950, S. 24ff). Die Muldenachse ist ihrerseits in der Längsrichtung aufgebogen, und zwar in der Weise, daß sich das eine Bogensegment nach Osten zum Walsertal senkt und das andere nach Westen zum Hirschgundental. Der Scheitelpunkt liegt etwa an der Windeck-Scharte (1753 m).

Unter dem rd. 100 m mächtigen, durchlässigen Schrattenkalk, in dem auch das Hölloch verläuft, folgen die undurchlässigen Drusberg-Schichten. Karsthydrologisch liegt somit ein nach Osten geöffnetes, trogförmiges Gebilde vor, das in der Längsachse geneigt ist. Der Sachverhalt ermöglicht eine genaue Festlegung des Einzugsgebietes der Höllochgerinne. Die Wasserscheide verläuft auf den Scheitellinien der südlich und nördlich aufsteigenden Falten-sättel und im Westen über die Windeck-Scharte. Nach diesen Begrenzungen beträgt das Einzugsgebiet für den Höllochbach und die ihn gelegentlich durch den Schacht speisenden Wildwässer 1,8 qkm (Abb. 1).

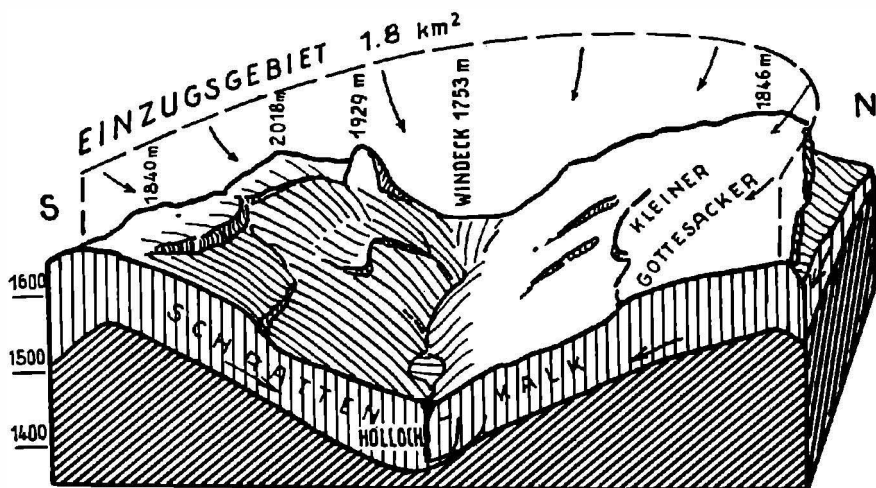


Abb. 1 Block-Schaubild zum hydrologischen Einzugsgebiet des Hölloches.

Das Einzugsgebiet des Höllochbaches besitzt jedoch noch keine ausgesprochene Karstentwässerung. Unverkarstungsfähige Schichten bedecken teils als anstehende höhere Kreide-Gesteine, teils als jüngere Lockermassen in wechselnder Mächtigkeit die Talsohle. Stellenweise greifen diese Deckschichten auf dem Karstgestein die unteren Talhänge hinauf; sie erstrecken sich bis zur Mahdtal-Alpe knapp oberhalb des Hölloches. Von der Windeck-Scharte bis zu dieser Alpe ist der Talboden also infolge Bedeckung oder Verschmierung des unterlagernden Karstgesteins undurchlässig bis schwach durchlässig. Bei stärkeren Niederschlägen kommt es zur Gerinnbildung an der Oberfläche. Die Wildwässer ver-

sitzen dann an Schwächestellen des Untergrundes; manchmal dringen sie bis zum Hölloch-Schacht vor, was bei Schneeschmelze auf gefrorenem Boden regelmäßig, sonst gelegentlich geschieht.

Der geologische und hydrologische Rahmen ist für die Entstehung und Bildung der Höhle, die am Unterende der Karstbedeckung im Mahdtales und damit am Beginn der nackten, verkarsteten Talsohle liegt, entscheidend. Dort fängt auch die eigentliche Karstentwässerung an.

Das Geländere relief des Oberen Mahdtales ist nicht sonderlich bewegt. Den Formgehalt bestimmt im wesentlichen das Einfallen des Schratenkalkes von beiden Seiten zur Talmitte. Nur gelegentliche und nicht sehr hohe Wandbildungen, die am Fuße von Schuttfächern begleitet werden, erinnern an die nahe Hochgebirgswelt. Die Neigung der Hänge bewegt sich zwar zwischen flachen Lehnen und schroffen Wänden, ist aber im Durchschnitt als mittelsteil bis steil zu bezeichnen (Bild 3, Tafel II, vor Seite 20). Das Sohlengefälle des Mahdtales beträgt von der Windeck-Scharte bis zum Hölloch 18% und von dort bis zum Unterende am Rand des Walsertales rd. 13%.

Die Vegetation wird entsprechend der Höhenlage des Gebietes (s. unten) durch geringe Fichtenbestände, Latschen, Alpenrosengestrüpp und ähnliche alpine Holzgewächse vertreten.

Das Hölloch, bzw. sein Einzugsgebiet liegt somit in einem mäßig bestockten, vorwiegend nackten und nur in den Muldentteilen schwach bedeckten Karst. Zu jener großartigen Entwicklung von Lösungsformen, wie sie die unmittelbar anschließenden Karrenfelder des Gottesacker-Plateaus auszeichnen, ist es hier nicht gekommen.

Der Hölloch-Schacht ist seiner Funktion nach ein Wasserschlinger. Er nimmt episodisch das Wildwasser des Oberen Mahdtales auf, soweit gewisse Mengen desselben nicht schon vorher in der Talrinne an durchlässigen Punkten versitzen. Der Verlauf der Talsohle oberhalb und unterhalb des Schachtes weicht auffallend vom sonst gewohnten und üblichen Verlauf der Talsohlen ab, die sich an Wasserschlängern herausbilden. In der Regel liegt die Talsohle oder das umgebende Nahgebiet oberhalb des Wasserschlängers infolge der einseitig verteilten Abtragung tiefer als unterhalb. Die Gestaltung einer normalen Erosionsterminante veranschaulicht Abb. 2. Beim Hölloch ist das Gegenteil der Fall. Der Verlauf der Talsohle im Mahdtales ist so, wie ihn die Abb. 3 zeigt. Außerdem weisen die V-förmigen Querschnitte des Mahdtales oberhalb und unterhalb des Höllochschlängers keinerlei Unterschiede auf. Die Stelle hebt sich nicht wie in normalen Fällen bereits weithin sichtbar von der Morphologie der Umgebung ab. Das Hölloch fällt erst auf, wenn man unmittelbar vor ihm steht. Aus dem Befund kann geschlossen werden, daß der Hölloch-Schacht ein verhältnismäßig junges Gebilde ist.

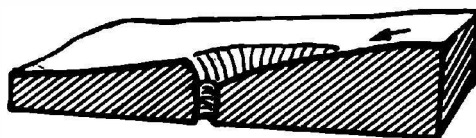


Abb. 2 Normaler Sohlenverlauf an Wasserschlängern.

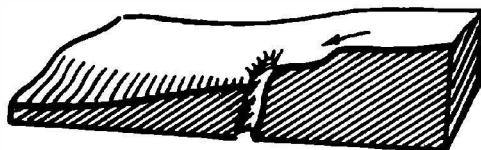


Abb. 3 Sohlenverlauf am Wasserschlinger des Hölloches im oberen Mahdtales.

III Die Dynamik der Erscheinungen im Raumbereich des Hölloches

Wir haben verschiedene morphologische Faktoren in der Umgebung des Hölloches festgestellt, zu welchen es in genetischer Beziehung steht und wenden uns den gestaltenden Kräften zu, die sich für die Gegenwart aus dem Klima, vornehmlich aus den Niederschlägen ergeben. Hier soll nur auf die allgemeinen Niederschlags- und Abfluß-Vorgänge in diesem Raum eingegangen werden.

Das Obere Mahdtal ist zwar noch nicht zur eigentlichen alpinen Hochregion zu zählen, doch besitzt die Art und Menge der Niederschläge in 1400 bis 1900 m Seehöhe soviel Eigenheiten, daß sie auch den Abfluß im Hölloch gegenüber Flachlandhöhlen wesentlich modifiziert. Vor allem ist der stoßweise Abfluß, bedingt durch Schneeschmelzen und ergiebige Regenfälle am niederschlagsreichen Alpenrand, ein kennzeichnendes Element für die Reliefgestaltung auf und unter der Erde. Nach Häuser (1930) beträgt die mittlere Jahres-Niederschlagshöhe hier 2500 mm.

Das Einfallen der Schichten zur Mahdtalrinne, die steile Neigung der Hänge, die spärliche Bestockung mit vorwiegend niedriger Vegetation und die verhältnismäßige Geschlossenheit des Gelände-Reliefs, das bei weitem nicht so durchsiebt wie beispielsweise das Gottesacker-Plateau, bewirken, daß heftiger Gebirgsregen oder die rasche Abschmelzung dünner Schneedecken sofort einen kräftigen Oberflächen-Abfluß zum Hölloch-Schacht verursachen. Besonders wiederholtes Abschmelzen schwacher Schneelagen in den Übergangszeiten vom Herbst zum Winter wird die ständige hydrologische Unruhe im gesamten Abfluß-geschehen über und unter Tag steigern. Exzessive Regenfälle bringen ein sprunghaftes Einsetzen von Oberflächen-Abfluß, den das Hölloch restlos aufzunehmen und abzuleiten hat. Einen Hochwasserüberlauf, wie sie Wasserschlinger vielfach besitzen, gibt es hier nicht mehr, da die Kanäle genügend ausgeweitet sind. Das in den Schacht stürzende Wildwasser stieg z. B. am 2. 9. 1950 nach vollkommener Trockenheit in 4 bis 6 Stunden auf 15 bis 20 Sekundenliter an und war nach Beendigung der Regenfälle in 24 bis 30 Stunden wieder eingegangen. Nicht so allerdings am Höllochbach selbst. Dort ergoß sich vor allem am Oberen Wasserfall die Hauptmasse des Wildwassers von etwa $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ in den Höllochsee. Dort verzögert sich auch der Hochwasserabfluß, so daß bei neuerlichen Regenfällen die Wirkung in den Abflußkanälen des Gebirges summiert wird. Da die tektonische Mulde kein Grundwasser enthält, wird der Abflußmodus im Untergrund als Folgeereignis aus den Niederschlägen allein von den hydraulischen Widerständen in den leitungsförmigen Bestandteilen des Höllochsystems bestimmt. Dieser Umstand bedingt im Zusammenwirken mit den unausgeglichenen, wechselhaften klimatischen Vorgängen eine eigenartige Entwicklung von Kleinformen in vielen Teilen der Höhle und als besonderes Merkmal das nahezu vollkommene Fehlen von Feinsedimenten in den bis jetzt bekannten Räumen.

Unter den klimatischen Einflüssen auf die Raumbildung und Raumerweiterung im Hölloch sind diejenigen des Frostes (und des Temperaturgefälles überhaupt) am wenigsten wirksam. Die Gesteinsverwitterung unter dem Einfluß der Atmosphärrillen erstreckt sich lediglich auf die Wandflächen des oberen Schachtteiles. Das ist sowohl aus der Beschaffenheit der Schachtwände, als auch aus den meteorologischen Untersuchungen Baumgartners (Seite 70ff) zu schließen. Die gegenwärtigen Gestaltungsfaktoren im Bereich des Hölloches beschränken sich daher auf jene dynamischen Gegebenheiten, die sich an den Niederschlag oder besser an seinen Abfluß knüpfen. Dieser besitzt nach den vorangegangenen Feststellungen über und unter der Erde die Eigenschaften von Wildwasser, womit die Höhle einem sprunghaften Wechsel zwischen Wasserführung und „Trockenheit“ ausgesetzt ist.

Da der gesamte Abfluß aus dem 1,8 km² umfassenden Einzugsbereich des Oberen Mahdtales (s. Abb. 1) das Höllochsystem passieren muß, ergibt sich bei 2500 mm mittlerem Jahres-Niederschlag schon auf Grund einfacher rechnerischer Überlegungen, daß sich hier auf engem Raume eine beachtliche unterirdische Abtragungs-Energie entfaltet. Der auf das Einzugsgebiet fallende Jahres-Niederschlag beträgt rd. 8 Millionen m³. In dem engen Tal mit seinen steilen Hängen dürfte ein geschätzter Verdunstungsbetrag von einem Drittel dieser Menge eher zu hoch als zu niedrig angesetzt sein, so daß als jährlicher Abfluß mindestens 5,4 Millionen m³ (= 14.800 m³/Tag oder 170 l/sec) verbleiben. Die Gesamt-Wassermenge fließt aber, wie wir sahen, nicht kontinuierlich durch die Höhle, sondern ist auf verhältnismäßig kurze Zeiträume zusammengedrängt. Auf kleinere Zeiteinheiten bezogen strömt während der Wildwasser-Episoden daher ein Vielfaches, etwa von 170 l/sec ab, während dann wieder längere Zeit Ruhe herrscht. Die abtragenden Kräfte aus diesen schubweisen Abflußvorgängen sind nicht allein auf eine gleichmäßige Sohlen-Ausscheuerung ausgerichtet, sondern erfassen wegen der Hochwasserstauung auch die Wandflächen und an Profils-Einschnürungen sogar die Deckenflächen, so daß heute noch zeitweise aktive Druckleitungsstrecken im Verlauf des Höhlensystems bestehen. Sie werden sich besonders gegen das Mündungsgebiet häufen.

Neben den vorwiegend mechanischen Gestaltungs-Einflüssen, die vom Höhlengerinne ausgehen, wirken die chemischen, die auch von Sickerwässern, Sprühnebel u. dgl. bedingt sein können. Sie äußern sich in Aus- und Ablaugungen an den Höhlengrenzflächen und sind sichtlich eng an die ausgeprägten tektonischen Schwächestellen im Gestein gebunden, so besonders in der Schachthalle und in der Sepp-Gerstmaier-Kluft. Tektonische Vorbedingungen zeichnen sich aber auch schon im Gangverlauf selbst, beispielsweise an der Oberen Wasserklamm, deutlich ab; sie winkelt zweimal in Nord-Süd-Richtung aus bzw. ein. Mit diesen Sprüngen folgt der Kanal Leitlinien im Spaltengitter des Schrattenkalkes (s. Seite 24–29). Untergeordnet scheinen indessen unmittelbare tektonische Elemente an einer Gestaltung der Höhlengrenzflächen selbst beteiligt zu sein. In der Natterkluft und bei der Windröhre können Harnische als Wandpartien mit Sicherheit in genetischem Sinne so gedeutet werden. Was im übrigen an dynamomorphen Formen in der Höhle vorkommt, sind Folgeerscheinungen späterer Auslaugung am Gefüge der Feinspalten sowie Unterschneidungen im Fels, woraus wegen des gestörten Gleichgewichts der Massen örtlich ausgedehntere Verbruchbereiche entstanden sind.

Dieser gedrängte Überblick über die Dynamik der Erscheinungen gibt zu erkennen, mit welchem Höhlentypus wir es im Hölloch zu tun haben. Auf den Formgehalt und die ihn gestaltenden Faktoren wird im einzelnen noch einzugehen sein.

IV Zur Morphogenese des Hölloches

1. Beschreibende Analyse

Innerhalb des aufgezeigten orographischen, geologischen und hydrologischen Rahmens stellt das Hölloch ein geographisches Element dar. Als hydrogenetischer Bestandteil der Landschaft besitzt das System ein Ursprungsgebiet, eine Hauptflußstrecke und ein Mündungsgebiet. In dieser dreigliedrigen Anlage sind hinsichtlich Entwicklung und Gestaltung auffällige Unterschiede vorhanden. Sie können aus dem Zusammenhang von Gesteinsbeschaffenheit und tektonischen Erscheinungsformen gedeutet werden. Die allgemeine Anlage der Höhle und in gewissem Umfang auch ihre Morphologie sind dem Höhlenplan zu entnehmen (s. Kartenbeilage).

Betrachten wir die Anlage zunächst nach ihren drei Hauptgliedern. Einen Teil des **Ursprungsgebietes** haben wir kennengelernt. Es ist der Schacht. Er

besitzt eine Gesamttiefe von rd. 77 m, hat gut geschlossene, fast schichtungslose, stellenweise wulstige Grenzflächen und ist zweistufig ausgebildet. Das heißt, als Schacht im genetischen Sinne ist richtiger nur der obere Teil von 45 m Tiefe anzusprechen. Innerhalb der gesamten Höhlenanlage stellt er nämlich einen selbständigen, gewissermaßen unabhängigen genetischen Bestandteil dar. Er mündet seitlich und einige Meter unterhalb der kolkförmigen Firste der „Schachthalle“ in diese ein (s. Planschnitt durch den Schacht auf der Kartenbeilage). Demgegenüber ist der von der Schachtstufe aus zur Tiefe folgende Bereich in Bau und Bild als hohe schräge Kluft ein Bestandteil der Haupthöhle. Der Schacht knüpft sich an eine tektonische Schwächestelle im Schrättenskalk. An ihr versinken die Oberflächenwässer des Mahdtales, wobei das röhrenförmige Gebilde allmählich in seiner heutigen Form herausgearbeitet worden ist. Im oberen Schachtteil stürzt das Wildwasser bis zur Stufe, als Sprühfall auf Felsvorsprüngen zerstäubend, ab. An diesem Schachtwasser ist nicht allein das in der Mahdthalrinne oberflächlich fließende beteiligt; auch am Osthang des Schachttrichters schießt Wildwasser ein. Ebenso stößt etwa 8 m unterhalb des Einstieges ein kleinerer Felskanal kräftig Wasser aus. Vermutlich ist es wiedererscheinendes Wildwasser, das in der Mahdthalrinne weiter oben an den Untergrund verloren ging. Alle Zubringer fließen nur zeitweilig. Die Wand des „unteren Schachtes“, also die Westwand der Seehalle, ist durch das von der Stufe ab wieder zusammengefaßt abfließende Wildwasser flach muldenförmig ausgewaschen. Die Mulde wird mit zunehmender Tiefe infolge erlahmender Lösungskraft des angreifenden Wassers immer flacher.

Im Zuge vorliegender Analyse ist der obere Teil des Hölloch-Schachtes bis zur Schachtstufe als offener Talwegponor zu definieren, welcher der Haupthöhle erst später von außen her aufgepfropft worden ist. Daß er dem Ursprungsgebiet einzuordnen ist, wurde schon gesagt.

Die eigentlichen Ursprungsklüfte des Höllochgerinnes — zugleich jene Kanäle, die bereits der älteren Anlage angehörten — liegen vom Wasserfall am Höllochsee und vom Nordende der Natterkluft an aufwärts. In ihrer Anordnung entsprechen

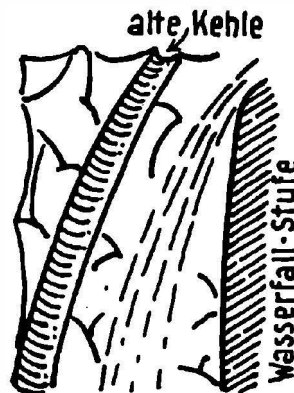


Abb. 4 Das rückschreitende Einschnneiden des Wasserfalles in der Seehalle, erkennbar an alten, nicht mehr im Fallbereich liegenden Erosionskehlen.

sie völlig dem Regelfall der unterirdischen Karsthydrographie. Die Wässer stürzen mehr oder minder senkrecht aus Klüften und kaminartigen Hohlraumteilen zur Tiefe; sie kommen meist aus größerer, nicht festzustellender Höhe. Die Strukturlinien des Haupt-Zuflußbereiches in der Seehalle und in der Wasserfallkluft sind annähernd senkrecht ausgerichtet. Eine waagerechte Bankung des

Schrattenkalkes ist an den Wänden angedeutet, aber nicht herauspräpariert. Die tektonisch vorgezeichnete, lotrechte, kulissenförmige Anordnung der Hohlraum-Elemente im Westteil der Seehalle (Bild. 4) wird durch mächtige Karrenrinnen an der Nordwand und durch steile, schwach bogenförmige Wandflächen besonders hervorgehoben. Im Bereiche des Wasserfalles lassen sie dessen allmählich rückschreitendes Einschneiden im Gestein erkennen (Abb. 4).

Überall wo Höhlengrenzflächen im Sprühbereich von Wasserfällen, im Einflußbereich von Sickerwässern und im Inundationsbereich des Höllochbaches liegen, sind sie abgelaugt und zeichnen sich in einer düster blauschwarzen Gesteinshaut ab, die von hellen Kalkspatadern marmorartig durchsetzt ist (Bild. 6), vor allem in der Einflußzone des Wasserfalles. Gleiches wiederholt sich am Ende der Natterkluft, einem weiteren Zubringergeflecht des Ursprungsgebietes. Dort kommt ein wesentlich schwächerer und nicht so ausdauernder Wasserfall aus der schmalen, steil emporführenden Kluff. Die Sohle des am weitesten nach Norden vorgeschobenen Höhlenteiles besteht aus dunklen Mergelkalken und Mergelbändern vom Aussehen der Drusberg-Schichten, die gegen SW zur Muldenachse des Mahdtales einfallen. Da die Schichten hier undurchlässig sind, ist mindestens in diesem Teil des Ursprungsgebietes die Karstbasis in den Drusberg-Schichten aufgedeckt. Inwieweit solche Verhältnisse auch an anderen Stellen dieser Höhle, etwa im Unterlauf, vorliegen, ist nicht bekannt. Wagner hat Gleiches unter anderem am Schneckenloch festgestellt (1950, S. 85).

Ohne hier näher auf Einzelheiten einzugehen, können wir zusammenfassend feststellen, daß das bisher bekannt gewordene Ursprungsgebiet des Höllochbaches aus drei Teilen mit steiler bis senkrechter Entwässerungsrichtung besteht, und zwar (Abb. 5):

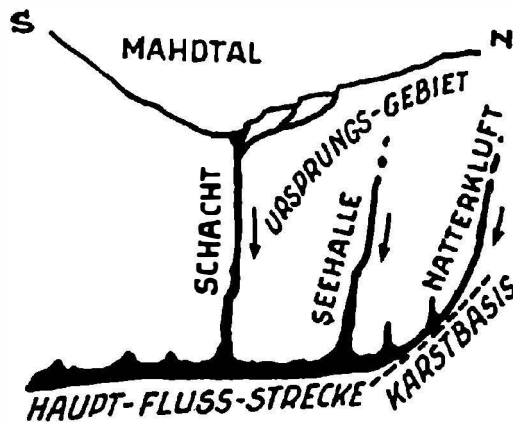


Abb. 5 Das Entwässerungssystem im oberen Teil des Hölloches.

1. dem gegenwärtigen unterirdischen Hauptzufluß aus den Wasserfallklüften am Oberen See,
2. einem weniger bedeutenden unterirdischen Zufluß am Ende der Natterkluff und
3. dem zeitweise ergiebigen oberirdischen Wasserspender durch den Hölloch-Schacht.

Der Grundriß des Planes auf der Kartenbeilage zeigt, daß die Spendenbestandteile 1 und 3 des Ursprungsgebietes auf einer der N—S gerichteten Bruchlinien liegen, die das Mahdtales queren. An einer 15 m östlich gelegenen, parallel zu dieser Linie ziehenden, zweiten Linie ist der Zubringer 2 angelegt. Die Gerinne aus der

Natterkluft und dem Oberen Wasserfall vereinigen sich in der Seehalle; der hier entstehende Höllochbach wird etwas flußabwärts durch den Schacht, der dort einmündet, zusätzlich genährt, sobald die Oberflächenwässer nach heftigem Niederschlag bis dorthin vordringen.

In der Seehalle und in der Schachthalle beginnt die **Hauptflußstrecke**. Wenn sie gelegentlich auch aus hohen Sickerkolken mit Tropfwasser gespeist wird, so ändert das nichts an dem aufgezeigten dreigliedrigen hydrographischen Prinzip. Die Abflußzone kennzeichnet ein ganz anderer Formenschatz, und ihr Gesamtverlauf ist, gemessen an demjenigen des Ursprungsgebietes, mehr waagrecht. Der Fluß besitzt ein relativ gleichmäßiges Gefälle, wenn man absieht von gelegentlichen Härtingsstufen, die nur mäßige Höhen besitzen. Vom Oberen Höllochsee bis zum Beginn der Mittleren Wasserklamm hat die Höhlensohle und damit das Bachbett ein Gefälle von rd. 6%. In der Luftlinie errechnen sich zwischen den genannten beiden Punkten 9% Gefälle, während sich zur Sägebachquelle als der Mündungsstelle des Höhlengerinnes insgesamt 13% ergeben. Das tatsächliche, sicher wesentlich geringere Gefälle ist allerdings in dem unbekannten, wahrscheinlich sehr umwegigen Verlauf der Höhle bis zum Sägebach-Austritt nicht zu ermitteln. Zur eingehenden Beurteilung der Hauptflußstrecke steht uns nur der zugängliche kurze Teil des Höllochsystems zwischen dem Oberen und Unteren Höllochsee, eine Strecke von kaum 400 m Länge zur Verfügung. Die Breitach hat zum Vergleich im Oberlauf 8,7% und in der Klamm 5,7% Gefälle (Wagner 1950, S. 95).

Eine auffallend beständige Leitrichtung zeigt zunächst die Nord-Süd angelegte Strecke von der Natterkluft bis zur Sepp-Gerstmaier-Kluft. Sie ist, wie schon oben ausgeführt, eine Bruchlinie, die durch waagerechte Striierung auf den Harnischen in der Natterkluft und an der Windröhre als Horizontalverschiebung erkannt wurde (Bild. 15). Alle Höhlen-Querprofile dieser Strecke keilen nach oben aus und kennzeichnen die einzelnen Räume als Spaltenhöhlen, deren Kluftflächen nach West überhängen (Plan-Querschnitte der Kartenbeilage). Die in der Längsrichtung durch Auskolkung lebhaft gegliederte Deckenlinie ist eine allgemeine Begleiterscheinung solcher Raumtypen und eine Folge ungleichmäßig von unten zur Höhe fortschreitender Gesteinsauflösung durch Sickerwasser an mehr oder minder wasserwegsamem Spalten. Die Formen entstehen somit durch eine Aneinanderreihung meist nicht deutlich ausgebildeter und abgegrenzter Sickerwasser-Schlote (Abb. 6).

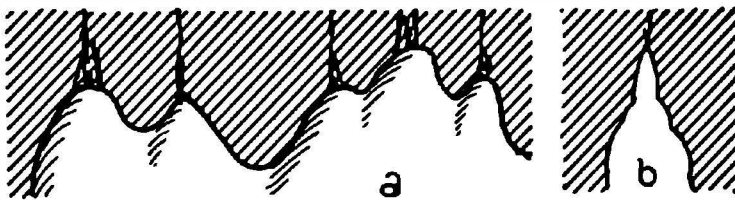


Abb. 6 Sickerwasser-Schlote, den Verlauf der Höhlendecke bestimmend,
a im Längsriß, b im Querschnitt.

Nach dieser Strecke schwenkt die Höhle in einem seichten Bogen gegen Osten um. Der Bogen stellt einen tektonisch besonders stark beanspruchten Teil der Höhle dar; das kommt in einer schräg zum bisherigen Verlauf streichenden Schar von Zerrklüften zum Ausdruck (Polygonpunkt 15 bis 19). Die hier entstandene Schwächezone bietet dem Wasser erhöhte Angriffsmöglichkeiten, woraus die auffallende Raumerweiterung in diesem Bereich herrührt. Bereits unterhalb der Schachthalle macht sich die strukturbedingte Ablenkung des

Gerinnes nach Osten bemerkbar; das Niederwasser zieht ganz in dieser Richtung ab und Hochwässer lagern in den linksseitigen Abzugsspalten Treibholz an. Durchzug und Richtung der Spaltenbündel werden in zahlreichen Laugkulissen und Lauglamellen augenfällig (Bild. 6). Sickerwasserkolke und ein eigenartig wildes, felsiges Bodenrelief ergänzen die durch intensive Gesteinsklüftung bedingte, unruhige Morphologie dieses Höhlenteiles.

In der anschließenden Xaver-Lutz-Kluft wird der seither überwiegende Spaltencharakter zunehmend von einer Gestaltung verdrängt, die zu kanalähnlichen Profilen überleitet. In der bisher beschriebenen morphologischen Einheit kam die Wirkung des waagrecht fließenden Höhlengerinnes nur gelegentlich und in untergeordneter Weise zum Ausdruck. Nunmehr erscheinen gut ausgebildete Lösungskehlen an den Wänden, die eine ehemals völlige, heute mindestens teilweise Ausfüllung der Raumprofile mit fließendem Wasser erkennen lassen. Diese im Typus nicht einheitliche Gangstrecke wird dann, vom Knick bei Polygonpunkt 13 an, in der Oberen Wasserklamm von einem kanalartigen Felsschlauch abgelöst. Er ist von einheitlicher und von der bisherigen Prägung durchaus abweichender Gestalt. Von diesem Teil wurde bereits im Abschnitt über den Höhlenplan (Seite 33/34) kurz gesprochen. Er zeichnet sich vor allem durch flache, in der Längsrichtung etwas gewölbte Decken und völliges Fehlen von Verbruchformen aus; der Formenschatz der Oberen Wasserklamm erschöpft sich in einer fortwährenden Wiederholung ausschließlich hydromorpher Hohlraumteile. Diese Strecke nimmt eine Schlüsselstellung im gesamten bisher bekannt gewordenen Höhlensystem ein, so daß noch eine eingehendere Analyse erforderlich wird.

Zuvor einige Bemerkungen über die flußabwärts anschließende Mittlere Wasserklamm als weiteren Teil der Hauptflußstrecke. Manche Zusammenhänge sind dort bei dem gegenwärtigen Stand der Untersuchungen noch nicht zu überblicken. So vor allem, in welcher Weise sich etagenförmige Überschneidungen von Höhlengängen im oberen Teil der Mittleren Wasserklamm entwickelten, oder welche Rolle zum Beispiel ein von Westen einmündender Kanal spielte, der ganz mit Geröll (Brisandstein, Seite 15) erfüllt ist. War er ein selbständiger Seitenast des Hauptgerinnes mit einem eigenen Einzugsgebiet? Heute jedenfalls ist er einem Hängetal gleichzustellen; er ist sozusagen ein ausgetrockneter „Hängekanal“ über dem nun tiefer liegenden Gerinnebett. In der Höhle gibt es mehrere derartige Kanäle.

Die Raumbeschaffenheit der Mittleren Wasserklamm lehnt sich wieder mehr an die der Gerstmair-Kluft an. Hohe, klammförmige Profile, in denen nur einmal ein breites und niederes Tonnengewölbe von knapp 1,50 m Höhe eingeschaltet ist, beherrschen das Bild. Nur die Deckenlinie ist nicht so sehr in Einzelteile aufgelöst, wie das in den kolkreichen Strecken vor der Oberen Wasserklamm beobachtet wurde. Die schluchtförmige Ausbildung dieses Höhlenteiles und das zunehmend steiler werdende Gefälle der steinigen Sohle geben ein energisches Einschneiden des Höllochbaches in der Mittleren Wasserklamm zu erkennen. Diese Merkmale dürften sich im nicht bekannten weiteren Verlauf fortsetzen.

Über die Beschaffenheit des **Mündungsgebietes** kann nur insoweit etwas ausgesagt werden, als es die Umgebung betrifft, in der die Wässer des Hölloches wieder zutage kommen.

Hier ist vor auszuschicken, daß durch zwei Färbeversuche der Nachweis des Austrittes von Höllochwasser in der Sägebachquelle erbracht wurde. An der Aubachquelle, die ebenfalls in die engere Untersuchung einbezogen wurde, konnte unter den seinerzeit vorgelegenen hydrologischen Bedingungen kein Höllochwasser nachgewiesen werden (s. Seite 52). Auch die anderen etwa in Frage kommenden Quellen des Ifenstockes zeigten kein Farbstoffwasser. Höllochbach und Sägebachquelle sind daher derzeit bei normalen Abflußverhältnissen als eine hydrologische Einheit anzusehen.

Die Sägebachquelle ist hydrographisch das Mündungsgebiet des Höllochbaches. Sie liegt auf etwa 1040 m Seehöhe und ist rd. 2,2 km Luftlinie vom Unteren Höllochsee entfernt, der bei den Erkundungen 1949/1950 wegen ständigen Hochwassers nicht erreicht werden konnte. Von dort bis zur Quelle sind es 300 m Höhenunterschied. Das Wasser tritt in einem grabenförmigen, scharfen Gelände-Einschnitt des steilen Südhangs an der „Innerschwende“ heraus. Zwar steht an der Quelle gewachsener Schrattenkalk an, aber die Quellschlucht selbst ist durch Gehängeschutt und große Felsblöcke bis zu einer Höhenmächtigkeit von wenigstens 20 m verdeckt. Ein Vordringen in den Gerinnekanal ist unter den gegenwärtigen Verhältnissen nicht möglich, nach Beseitigung der Schutthalde aber zweifellos aussichtsreich.

Die **Quellschüttung** ist starken Schwankungen und dabei auch leichten Trübungen ausgesetzt, wie bei den meisten Karstquellen. Über die Ergiebigkeit teilt Wagner (1950, S. 91) mit: „Im Winter sinkt sie auf 100 l/sec., im Sommer auf 120 l/sec. Sechs Monate schüttet sie 250 l/sec; bei Hochwasser wurden 4000 l/sec gemessen.“ Am Sägebach kommt nicht nur das Wasser aus dem Einzugsgebiet des eigentlichen, uns bekannten Hölloches (Abb. 1), sondern auch aus der unterhalb davon anschließenden Fortsetzung des Mahdtales heraus. Im Sohlenverlauf dieses engen Tales liegen wiederholt wasserschluckende Dolinen, von denen sich die größte gleich oberhalb der Höfle-Alpe am Waldrand befindet. Auch in diesen Bodentrüchtern versinken erhebliche Mengen Niederschlagswasser aus dem östlichen Teil des Gesamt-Einzugsgebietes der Sägebachquelle. Sie fallen dort fast ungehemmt zum unterirdischen Höllochbach ab, da der Karst bis in die Nähe der Höfle-Alpe unbedeckt ist (Seite 35). Sie steigern sowohl die Sprunghaftigkeit, als auch die Wassermenge selbst, die im Mündungsgebiet ausgestoßen wird.

Wenn man die Spitzenergiebigkeit der Sägebachquelle mit vier Kubikmeter in der Sekunde und dazu das starke Gefälle des Höllochgerinnes als Maßstab für die Kraftentfaltung des Wassers im unbekannten Unterlauf der Hauptflußstrecke nehmen will, dann kann man sich vorstellen, daß in den Kanälen zeitweise recht turbulente Verhältnisse herrschen müssen.

Zur Morphologie des Mündungsgebietes ist zu sagen, daß ein Einschneiden der Sägebachquelle in die Tiefe und rückschreitend in den Berghang unverkennbar ist. Im Gebiet des Sägebaches, des Schwarzwassergrabens und der Breitach, also in einem ansehnlichen Bereich des Walsertales, sind die mit der jungen Eintiefung von Gerinnen in einen alten Talboden entstandenen Terrassen und Schluchten wesentliche und vor allem kennzeichnende Bestandteile der Landschaft. Sie geben Aufschluß über die letzten Vorgänge in der Landschafts-Entwicklung. Da die Höhle ein geographischer Bestandteil und die Breitach der Hauptvorfluter des Höllochbaches ist, bestehen sicher auch entwicklungsgeschichtliche Zusammenhänge zwischen dem Breitachtal im weiteren Sinne und dem Hölloch. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die physiogeographischen Gesetze für die Oberfläche nicht stets und in allen Belangen für die Höhle Gültigkeit haben. Diese entwickelt sich häufig von oben nach unten, indem das Ursprungsgebiet des „Flusses“ bereits mit relativ mächtigen Gerinnen beginnt, die von der Oberfläche in das Karstinnere als vollentwickelte, energiereiche Gestalter eindringen. Insofern kann die Höhle ein gewisses Eigendasein in der Landschaft führen.

2. Entwicklungsgeschichte des Hölloches

Im Hölloch sind, wie in nahezu allen Karsthöhlen, sogenannte hydromorphe und dynamorphe Raumbestandteile enthalten. Erstere verdanken ihre Entstehung der unmittelbaren Einwirkung von leicht bewegtem oder rinnendem bzw. strömendem Wasser auf das Gestein, letztere der Entspannung und Ablösung von Fels aus den Grenzflächen der Höhle, also dem Verbruch. Beide Formbereiche können Auskunft über die Entwicklungsgeschichte einer Höhle geben.

Besonders geeignet für eine genetische Analyse sind gut erhaltene Gerinnekanäle, die bis zur Anfangszeit der Raumbildung zurückreichen. Das Hölloch enthält viele solche Raumbestandteile; in ihm können die Hauptphasen des Geschehens so gut verfolgt werden, wie es sonst nur selten möglich ist.

Im Bereich des Ursprungsgebietes, am orographischen Beginn der Höhle, ist das Urprofil in der „Windröhre“ und in dem über ihr angeordneten unscheinbaren Kanal enthalten. Beide sind an der Bruchlinie angelegt, die auf dieser 10 m langen, völlig geraden Strecke zwar geschlossen war, an der sich aber doch das älteste Gerinne entlangbohrte und eine nur 10 cm im Durchmesser betragende Gesteinsröhre schuf. Das obere Drittel dieser Röhre ist als Firstlinie der Windröhre noch ausgezeichnet erhalten und nur stellenweise von kleinen Sinterzapfen überkleidet. Nach dieser ältesten Phase, dem eigentlichen Beginn der Hohlraumbildung, erfolgte die Ausweitung der Röhre, wie sie die schematische Darstellung auf Abb. 7 zeigt. Da die Kluftfläche schräg steht und wie überall in diesem Höhlenteil nach West überhängt, erscheint auch das Profil einseitig verschoben. Daraus ist zu ersehen, daß die heutige Stellung der Klüfte unverändert bis zur Entstehungszeit der Höhle zurückreicht. An der Röhrenwand kommt trotz unregelmäßiger Gliederung durch flache Laugnischen eine waagerechte Kehlungsstruktur zum Ausdruck. Sowohl das Kanal-Rudiment in der Firste, als auch die jüngere, darunter anschließende Gesteinsröhre stellen sogenannte „Druckleitungsprofile“ dar. Die Windröhre wurde dann trocken, da sich das Wasser einige Meter tiefer einen neuen Weg bahnte. Dort fließt es heute noch als unbedeutendes Rinnsal, das sich mit dem Hauptbach im Höllochsee vereinigt.

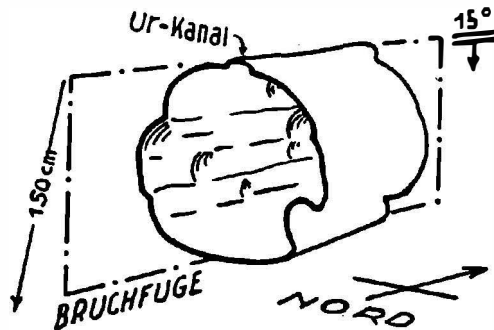


Abb. 7 Schema-Schnitt von der Windröhre.

Aus der Windröhre ist nicht die gesamte Aufeinanderfolge der Entwicklungsstufen ersichtlich, wie sie weiter im Unterlauf erscheint. Aber dieses Urprofil, das in seiner Entstehungszeit ständig unter Wassererfüllung stand, ist flußabwärts auf größere Erstreckung zu verfolgen, soweit es nicht durch Verbrauch inzwischen verändert oder zerstört wurde. An der Ostseite der Seehalle ist die Fortsetzung des Kanals als stark verwitterte Kehle in etwa 7 m Höhe über der Höhlensohle zu beobachten. Dann begegnet er uns wieder sehr gut erhalten zwischen Polygonpunkt 20 und 21, besonders im Querschnitt XI und endlich zwischen Polygonpunkt 14 und 13. Dort ist allerdings das einstige Röhrenprofil nach oben aufgeschnitten, weil Sickerwässer die Firstfuge zu einer ansehnlichen Kluft ausgearbeitet haben und das eintiefende Gerinne auch die alte Sohle zerstört hat (Bild 7). Von hier an schließen sich in der Oberen Wasserklamm jene großartigen unveränderten hydromorphen Profile an, welche die Entwicklungsgeschichte der

Höhle in zusammenhängender Folge auf weite Erstreckung erkennen lassen. Es sind geradezu klassische Profile und Räume; ihr Wert wird für die Höhlenwissenschaft noch dadurch erhöht, daß strömende Höhlenwässer heute wie zur Zeit ihrer Entstehung an der Aus- und Umgestaltung wirken.

Wenn man absieht von dem nur 10 cm Lichtmaß betragenden Urkanal, der hier und dort in Resten erhalten ist, dann sind nunmehr insgesamt drei Etappen der Höhlen-Entwicklung zu erkennen. Die Planschnitte XVIII bis XXI sowie in vereinfachter Form die Abb. 8 zeigen diese Entwicklungsstufen.

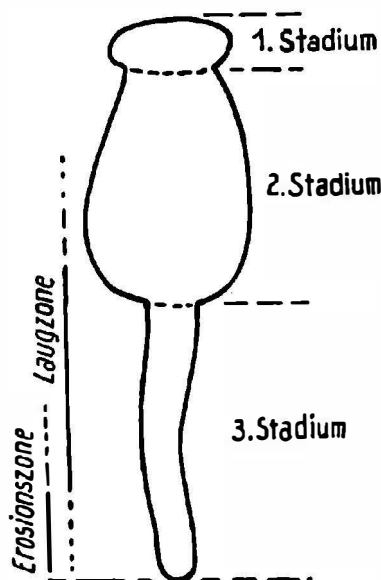


Abb. 8 Schematischer Querschnitt durch die Wasserklamm mit den drei Entwicklungsstufen.

In einer älteren Phase entstand der in den Deckenteilen verlaufende Druckleitungskanal. Er besitzt entweder annähernd Kreisprofil, wie wir bereits sahen, oder er bildet ein flaches, bisweilen sogar sehr flaches, liegendes Oval. Die veränderlichen Profilformen dürften mit einem Wechsel in der Beschaffenheit der Schrattenkalkbänke und ihrer Schichtfugen zusammenhängen. Im Bereich der untersuchten Strecke dieses einstigen Druckleitungskanals in der Oberen Wasserklamm handelt es sich um ein Schichtfugengerinne, das bei Polygonpunkt 3 einer flachen Schichtaufwölbung folgte (Plan-Längsriß auf der Kartenbeilage). Die Grenzflächen dieses alten Kanals sind heute noch kaum angelaugt, geschweige denn sonstwie verformt. Nur schwache Sinteransätze zeigen sich gelegentlich. Seine Abmessungen liegen etwa bei 0,80 m Höhe und bis zu 2 m Breite.

In diesem zur Tiefe völlig aufgeschnittenen Urkanal noch Ablagerungen zu finden war kaum zu hoffen. Und doch fanden sich in einer uferkehlenartigen Nische nahe bei Polygonpunkt 8 geringe Reste eines grauen tonigen Feinsedimentes von 15 cm Mächtigkeit. Sie lassen auf träge Wasserbewegung in dieser ersten Höhlenbildungsphase schließen.

Als zweites Entwicklungsstadium bildete sich ein Gravitationsgerinne heraus, das in die Sohle des Druckleitungskanals eingesenkt wurde. Da diese alte Sohle oft beiderseits noch in den Raum als Gesteinsleiste ragt, entsteht oben im Profil eine halsartige Einschnürung. Die Kanten der Leisten sind zwar etwas abgestumpft, aber doch nur unbedeutend, so daß sie das ältere und das jüngere Element scharf und deutlich voneinander trennen (Bild 8). Das im zweiten Entwicklungsstadium entstandene Profil hat Tropfenform (Bild 9), das heißt, es baucht im unteren Teil aus und besaß einst eine muldenförmige Sohle, die sich

den Wänden übergangslos anschmiegte. Ein besonderes Gepräge erhält dieser Teil dadurch, daß er aus einer nahezu lückenlosen Aneinanderreihung von mehr oder minder seichten Wandnischen von 1 bis 2 m senkrechter Höhe besteht, wie sie bekanntlich „stehende Walzen“ des strömenden Wassers an Felswänden herausarbeiten. Die trennenden Grate der hohlmuschelförmigen Nischen sind nur schwach gestumpft und wie stets in Klammern und Höhlen flußabwärts gerichtet. Der Sohlenverlauf des ehemaligen Gerinneschlauches ist nahezu waagrecht. Eine besondere erosive Wirkung ist an den Höhlenwänden nicht erkennbar; alle vorspringenden Kanten sind verhältnismäßig scharf. Der Reichtum an Lösungsformen ist überraschend, denn es finden sich ausgedehnte Flächen rasterartig angeordneter Lösungsnapfchen in der durchschnittlichen Größe von Daumen-Eindrücken (Bild 10).

Die Durchschnittsbreite des Kanals ist etwa 2 m, seine Höhe beträgt 3 m.

Als dritter und letzter Abschnitt in der Höhlen-Entwicklung folgte hierauf die Herausbildung einer meist sehr engen Klamm (Bild 9). Ohne wesentliche Seitenentfaltung sägte sich das Gerinne ein, und es hat den Anschein, daß von jetzt an vorwiegend erosive Kräfte an der Raumgestaltung wirkten. Auf vorspringenden Leisten und Felsnasen, den Resten der Höhlensohle aus dem vorherigen Stadium, sind Bodenkolke von 20 bis 30 cm Tiefe erhalten, in denen gelegentlich noch die rundgescheuerten Mahlsteine liegen (Bild 10). Die Sohle und die Wände der Klamm aus der jüngsten Entwicklungsphase sind bis etwa 1,50 m Höhe glattgeschliffen und besitzen ein Aussehen, wie es durch Gesteins-Politur erzielt wird. Man hat geradezu den Eindruck einer dunklen Patina als Gesteinshaut. Erst an den höheren Wandpartien dieser Klamm, also über 1,50 m ab Sohle, herrscht heute ausschließlich die Gesteins-Auflösung als Faktor der Raumerweiterung. Das ist im Hochwasserbereich des Höllochbaches. Dort steht nämlich das feine Kalkspat-Geäder des Gesteins in millimeterhohen Netzleisten aus der Wand. Dieser Zustand erlaubt es, die Zone der erosiven Entfaltung des heutigen Gerinnes sehr genau zu verfolgen. Schließlich sind in der Sohle selbst Kessel bis zu 1 m Tiefe ausgewaschen, die vereinzelt Rundschotter enthalten.

Die Breite der Klamm schwankt zwischen 0,20 und 0,80 m. Sie beginnt etwa bei Polygonpunkt 12 mit rd. 3 m Tiefe und endet bei Polygonpunkt 1 mit rd. 8 m Tiefe. Gegenüber der alten, nunmehr aufgeschnittenen Höhlensohle aus der zweiten Phase ist die neue Sohle also in zunehmendem Maße eingetieft. In ihrem Verlauf treten einige Härtingsstufen auf, die kleine rauschende Wasserfälle bedingen. Das Höhlengerinne hat gegenwärtig ganz den Charakter eines Wildbaches im nackten Fels.

Dies ist die „Obere Wasserklamm“ mit ihrem lapidaren hydromorphen Formgehalt. Er setzt sich zur Unteren Wasserklamm unter Zunahme der räumlichen Abmessungen und Erhöhung des Gefälles fort. Wir erkannten an ihr, in zeitlicher Folge zusammenfassend, einen Primärkanal als Druckleitungsgerinne mit langsamer Wasserbewegung und wohl vorwiegend lösender Kraftentfaltung. Dann ein zweites Stadium als Gravitationsgerinne, gleichfalls vorwiegend mit Lösungserscheinungen ausgestattet und schließlich den dritten Abschnitt. Er zeigt eine Klamm, die sichtlich durch vorzugsweise mechanische Kräfte gestaltet wurde und heute noch gestaltet wird, da sie vom Höllochbach durchströmt ist, der Sediment führen kann.

3. Höhlenablagerungen

Die uns bekannt gewordenen Teile des Hölloches sind ungewöhnlich arm an Sedimenten. Das Verbruchgestein erreicht keine nennenswerte Mächtigkeit, da es durch Einwirkung stürzender, strömender und lösender Höhlengerinne rasch aufgearbeitet wird. Zur Lagerung von Feinsedimenten ist bei dem starken Sohlengefälle der mittleren und unteren Räume wenig Gelegenheit. Auch das stoßweise Einschießen des Hochwassers in die Kanäle ist einer Sedimentation abträglich.

Auf der Schachtstufe bei 48 m unter dem Einstieg lagert in der südlichen Nische eine kleine Schutthalde, deren labile Schräglage jeder zur Tiefe steigende Höhlenbesucher mit Argwohn betrachtet. Die nur von einem morschen Baumstamm gestaute Halde zeigt, wie auch der obere Schachtteil durch fortwährendes Ausbrechen kleinerer und größerer Wandstücke seinen Beitrag an den Geröllmassen der tieferen Höhlenräume spendet.

Der Oberlauf bis zum Beginn der Wasserklamm enthält Schrattenkalk-Blöcke und -Gerölle in jeder Größenordnung, darunter gelegentlich in die Klüfte eingekeilte Tonnenblöcke. Die Trümmergesteine sind polyedrisch geformt, meist nur schwach kantengerundet, im Wasserbereich aber vielfach hohlmuschelförmig abgelaugt. Ausgesprochener Rundsotter ist selten. Die Häufung und Verbreitung der Schuttmassen entspricht den jungen hallenartigen Ausweitungen in einem offenbar kritischen tektonischen Bereich, der sich im Gebiet der Seehalle und der Schachthalle befindet. Er dürfte auch deren primäre Ursache sein. Dementsprechend ist dort die Raumgestalt in unruhige Einzelelemente aufgegliedert (Bild 11).

In den Deckenteilen der Natterkluff hängt eine Reibungsbrecce als Begleiterscheinung zu den Harnischresten. Sie ist alt und hat mit jungen Breccien nichts zu tun, die sich beispielsweise in der Sepp-Gerstmaier-Kluff in Wandnischen und Deckenspalten befinden. Dort zeugen sie für eine mindestens stellenweise völlige Querschnittsverlegung des Abflußkanals durch Grobsedimente. Das Gerinne hat die Hindernisse inzwischen bis auf geringe Reste wieder ausgeräumt, Reste, die noch verkittet und gelegentlich übersintert, an geschützten Stellen haften. Von einem mit Verbruchgestein ganz verschlossenen Seitenkanal in der Unteren Wasserklamm wurde schon berichtet.

Die gesamten Trümmermassen können erst nach der zweiten Höhlenbildungsphase oder erstmals wohl auch gleichzeitig mit ihrer Beendigung abgelagert worden sein, da sie sich erst im Raumbereich des dritten Entwicklungsstadiums bemerkbar machen. Man wird kaum fehlgehen, wenn man sie mit der Entstehung des Höllochschachtes in Zusammenhang bringt, der bekanntlich einem älteren Kanalsystem aufgepfropft ist. Dieser und die dynamomorphen Raumerweiterungen der Schachthalle, der Seehalle und der Natterkluff lieferten in der dritten Phase den Stoff zur vorwiegend erosiven Kraftentfaltung des Höllochgerinnes. In diesem Zusammenhang ist daran zu erinnern, daß der eigentliche Höllochschlinger an der Oberfläche schon als junges Gebilde im Rahmen der Gesamt-Orographie erkannt wurde. Entsprechend der Verbreitung der Schotter ist er zeitlich dem dritten und jüngsten Entwicklungsabschnitt der Höhle einzuordnen.

An zwei Stellen des Hölloches sind unbedeutende Ablagerungen braunen Höhlenlehms festzustellen: in der Natterkluff und in der Unteren Wasserklamm. Beide Male liegt das Sediment in nicht mehr durchflossenen Bereichen; es ist der autochthone Rückstand aus der Gesteinsverwitterung, wie er in Trockenhöhlen überall vorkommt. Über die Höhlenentwicklung selbst können die Lehme nichts Entscheidendes aussagen. Das graue Feinsediment in der Oberen Wasserklamm wurde bereits erwähnt. Es wurde von der Bayerischen Landesanstalt für Moorwirtschaft in München untersucht, als Kalktonschlamm definiert und frei von bestimmbarern Beimengungen, wie Pollen, befunden. Die Ablagerung ist allochthon.

Daß als Höhlenablagerung noch Treibholz und sonstige pflanzliche Bestandteile anzutreffen sind, die durch den Schacht ins Innere gelangen, soll nur der Vollständigkeit wegen erwähnt werden. Das Vorhandensein von sperrigem Treibholz, das gelegentlich in die Höhle fällt oder vom Menschen hinabgeworfen wird, kann nur verhältnismäßig kurzzeitliche Abflußstau bewirken, die auf das Gesamtbild der Höhlenentwicklung keinen Einfluß haben.

Was an Sinter und sinter-ähnlichen Gebilden erscheint und gleichfalls zu den Ablagerungen in Höhlen zu zählen ist, wird im nächsten Abschnitt mit behandelt.

4. Kleinformen

Die oft sehr reizvollen Kleinformen der Höhle spielen zwar im großen Gesehen, in dem wir das Hölloch betrachten, nur eine untergeordnete Rolle; auch besitzen sie vielfach nicht den Wert des Einmaligen. Trotzdem würde eine Lücke entstehen, wenn man sie deshalb ganz außer acht lassen wollte. In ihrer Häufung, Vielseitigkeit und Farbenreinheit könnten diese wissenschaftlich weniger bedeutungsvollen Bildungen alle Naturfreunde entzücken, denen die Höhle erreichbar wäre. Gewiß sind keine gigantischen Tropfsteine im Hölloch zu erwarten, aber dafür geben manche Auslaugungsgebilde eine interessante Ergänzung zu dem unerhörten Formenschatz der Karrenfelder auf dem Gottesacker-Plateau. Mitunter sind sie diesen in Gestalt und Entstehung sogar gleichzusetzen.

Nach ihrer Genesis sind zwei Formengruppen zu unterscheiden: Abbauformen und Aufbauformen. In ersteren sind alle eingeschlossen, die aus der Gesteinszerstörung herrühren, unter letztere fallen jene, die aus der Mineralstoff-Ausscheidung durch Wasser oder gegebenenfalls durch Organismen hervorgehen.

Bemerkenswerte Abbauformen sind die senkrechten Karrenrinnen an der Nordwand der Seehalle. Sie beginnen 10 bis 12 m über dem Seespiegel und fallen wie ein scharf gemeißelter Faltenvorhang bis nahe zu ihm ab. Sie erreichen ihn nicht ganz, denn etwas über der Wasserfläche kommt der aus den Karrenrinnen gelöste Kalk wieder in zwei wulstigen Wandtropfsteinen zur Ausscheidung (Bild 4).

Etliche Meter davon entfernt ist übrigens das „architektonisch“ schönste Tropfsteingebilde der Höhle entstanden, eine Kanzel mit 30 cm hohem Baldachin (Bild 12). Die Sintermasse baut sich unmittelbar über lebhaft zerlaugten Gesteinsflächen auf.

Für die oberen Räume ist kennzeichnend, daß typische Ablaugungsflächen unvermittelt neben Sinter-Ausscheidungen stehen. Für die Bildung der weit verbreiteten hohlmuschelförmigen Wandvertiefungen als Lösungsformen (Bild. 5), die bis zu 15 cm Durchmesser erreichen, kann man kaum die Benetzung des Gesteins mit Flußhochwasser allein annehmen. Sie entstehen wohl auch durch schleichende Wandnässe und Schwitzwasser, von welchen die Wände befeuchtet werden. Die Vorgänge befinden sich hier noch in vollem Fluß, Abbau und Aufbau greifen unmittelbar ineinander, oder eines löst das andere in raschem Wechsel ab. Die Erscheinungen sind morphologisch unschwer zu trennen, genetisch wären sie aber nur durch langdauernde Untersuchungen zu erfassen, wozu Forschungen mit zeitlich knapper Begrenzung, wie in unserem Falle, nicht ausreichen.

Eigenartig, aber nicht unbekannt, sind riffelig geformte, manganhaltige Ausscheidungen auf einem Harnisch in der Natterkluft. Bei ihnen ist sicher, daß sie durch flächenhaftes Abrinnen von Wandfeuchtigkeit entstehen. Die Unebenheiten an der Wand, ihre Rauigkeit, die innere Reibung der stoffbeladenen Flüssigkeit und natürlich die Möglichkeit, an dieser Stelle Mangan-Verbindungen aus dem Wasser zu fällen, führt zu Bildungen, die in ihrer Gesamtheit sozusagen ein rhythmisch bewegtes und ungewöhnliches Mikrorelief ergeben. Es ist etwa mit der leichten Wellung von Wasserflächen oder sogenannten Rippelmarken vergleichbar; hier tritt es als Wandverkleidung auf.

Unmittelbar gegenüber ist ein ebenso seltsames Bodenrelief entstanden (Bild 13). Wenn bei ihm ebenfalls ein Vergleich gestattet ist, so entspricht es zwei Miniatur-Gebirgszügen, zwischen denen sich ein schutterfüllter Grund erstreckt. Hier erinnern uns die Formen stark an bestimmte Bildungen aus dem Gottesacker-Plateau. Die rechte Seite ist geradezu die Kleinkopie eines Teiles des Plateaus selbst: der steile felsige Anstieg aus einem Schuttfeld zu zerrissenen Graten und rechts anschließend eine gleichfalls steinige Hochfläche mit unruhigem, welligem Relief. Der linke Teil besteht aus einem kegelförmigen Felskamm, einer Firstkarre, wie sie auch über Tag häufig vorkommt. Sie besitzt einen messerscharfen Rücken und die bekannten fingerbreiten Karrenrillen, die aneinander-

gereiht vom First aus in der Fall-Linie zum Karrenfuß hinabziehen. Man könnte sie als Kammsteine bezeichnen. Im Freien entstehen derart scharfkantige Karrenformen vorwiegend in Höhenlagen von über 1800 m in vegetationsarmen oder vegetationslosen Regionen. Wie bilden sich nun gleiche Formen in einer Höhle, in einem geschlossenen Raum? Durch Sickerwasserfall aus der 15 m hohen Querkluft, die sich bei Polygonpunkt 31 (Planquerschnitt V) befindet! Er ersetzt unter der Erde den gestaltenden Niederschlag der Oberfläche. Hier sind auch sogenannte Friktionsperlen entstanden. Es sind durch Tropfenfall aus größerer Höhe ständig gegeneinander geriebene kleine Gesteinsstücke von Erbsen- bis Nußgröße, die dadurch gerundet und poliert werden. Auch die Ausscheidung von Kalk aus dem Tropfenfall ist daran beteiligt.

In der Höhle ist weit besser als in der Außenwelt und unbeeinflusst von den klimatischen Faktoren zu erkennen, was für sehr viele kleinere und größere Lösungsformen im Schrattenkalk bestimmend ist: es ist das feine Kalkspat-Geäder, das als „ausgeheiltes“ Spaltennetz größere Widerstandsfähigkeit gegenüber den Abtragungskräften besitzt als der umgebende Kalk (Bild 5). Die Firstlinien und Grate, z. B. in unserer kleinen Gebirgslandschaft auf der Höhlensohle der Natterkluft, werden von Kalkspatadern geführt. Ebenso knüpfen sich die seichten Auswaschungen auf der als „Plateau“ bezeichneten Felsfläche, genauer gesagt die erhöhten Dellenränder, an solche Leitlinien. Wo die Tatsache nicht schon aus den erhabenen Rippen ersichtlich wird, welche die Kalkspatadern auf dem Kleinrelief bilden, da wird sie zumindest aus der milchweißen bis glasigen Färbung der Adern erkennbar. Sie bilden vielfach die Grundlinien, an denen Lösungsnapfe, Lösungsgrillen und ähnliche Kleinformen im Hölloch angelegt sind. Besonders häuft sich die Erscheinung in der Oberen Wasserklamm, wo eine Unzahl von Lösungsnapfchen und -schüsseln in mannigfaltiger Kombination nahezu jeden Quadratmeter Wandfläche bedecken (Bild 14).

Damit ist nicht gesagt, daß der gesamte Formenschatz dieser und ähnlicher Typen auf die Kalkspatader als Leitelement zurückgeführt werden muß. An der Reliefgestaltung der Höhlengrenzflächen ist weitgehend auch die normale, also die nicht verheilte Spalte beteiligt. Das feine, im allgemeinen durch tektonische Einwirkung entstandene Spaltengefüge mit oft linearer Anordnung bietet dem Wasser Angriffsflächen, an denen es seine Lösungskraft entfaltet. Bündel und Gitterwerk von Spalten sind in vielen Fällen strukturbedingte Ausgangsstellen für die Gesteins-Auflösung. Sie sind es an der Oberfläche genau so wie in der Höhle.

Daß im Hölloch pyramidenförmige Karrentürme vorkommen, die aus Karstgebieten allgemein bekannt sind, sei nur nebenbei erwähnt. Weit bemerkenswerter sind dagegen Auslaugungsgebilde an der Decke von 50 bis 150 cm Höhe, wie beispielsweise in der Sepp-Gerstmaier-Kluft. Sie entstehen in einer Lage, die über Tag nicht vorkommen kann. Ich bezeichne sie als Laug-Lamellen, die auf den Kopf gestellten Kluftkarren mit scharfen Firsten vollkommen entsprechen (Bild 7; sie sind dort an einem Spaltenbündel angelegt; Plan-Querschnitt XIV), worauf früher schon hingewiesen wurde. Auch diese Formen sind nicht einmalig. Sie können in aktiven Wasserhöhlen aller Karstgebiete der Erde gelegentlich angetroffen werden, scheinen sich aber nur im Inundationsbereich von Höhlenhochwässern, und zwar vor allem in bogenförmig verlaufenden Gangstrecken zu entwickeln. Man hat sich den Vorgang so vorzustellen, daß weniger das Sickerwasser aus dem Gestein gestaltend wirkt, als vielmehr die Flußhochwässer, die von der Höhle aus in die mehr oder weniger senkrechten Parallelspalten eindringen, die den Höhlenraum in schrägem Winkel schneiden. Es ist der gleiche Prozeß, der zur Herausbildung von Kluftkarren aus dem Gestein an lotrechten Oberflächen-Spalten führt; dort dringt Niederschlagswasser in das Spaltengefüge ein und laugt es von außen her keilförmig aus.

Waren es seither vorwiegend markante Abbauförmlichkeiten, denen unser Augenmerk galt, so wollen wir uns noch kurz zwei kennzeichnenden Aufbauformen zuwenden. Die Höhle ist nicht reich an auffälligen Tropfsteinbildungen; sie teilt mit dieser Erscheinung den Zustand aller noch aktiven Wasserhöhlen. Die höhlenklimatischen Verhältnisse erlauben nur eine zeitlich oder auch örtlich beschränkte Verdunstung von Wasser, wodurch die Kalkausscheidung begrenzt ist. Dazu kommt, daß das Hölloch in seiner heutigen Raumgestalt ein sehr junges Gebilde ist, in dem an sich noch keine stärkere Versinterung erwartet werden kann. Allerdings muß in scheinbarem Widerspruch zu dieser Feststellung ergänzend gesagt werden, daß in manchen Teilen des Hölloches wohl eine flächenmäßig ausgedehnte Versinterung besteht, daß sie jedoch ganz unauffällig und vorläufig noch hauchzart entwickelt ist.

Die Höhle befindet sich in fast allen Teilen der Oberen und Mittleren Wasserkamm am Beginn einer neuen Phase der Ausgestaltung, nämlich in den ersten Anlagen einer Profil-Einengung durch Versinterung, soweit das Profil nicht oder doch nur gelegentlich vom fließenden Wasser des Höhlenbaches benetzt wird. Das ist in den Raumteilen des ersten und zweiten Entwicklungsstadiums der Fall. Erkennbar ist der neue Vorgang besonders an einer gelblichen oder milchigen Färbung der Gesteins-Oberfläche, die sich deutlich von den blauschwarzen oder düstergrauen Kammwänden der durchströmten jüngeren und tieferliegenden Raumteile eines beliebigen Profilquerschnittes abhebt. Über die Wände der älteren Phase mit ihrem ununterbrochenen Filigran von Lösungsnäpfchen breitet sich eine feine Sinterhaut, oder es legt sich ein neues Filigran schnurartiger Verdickung von jungem Wandsinter darüber. Die Sinterung folgt bisweilen den Graten der Lösungsnäpfchen, springt mit diesen gelegentlich auch seitlich aus, wie die Wasserstrahlen und -tropfen dem geringsten Widerstand, dem größten Gefälle entlangsickernd, eben ihren Weg nehmen. Auch an der Decke sind gelegentlich die ersten Ansätze zur beginnenden Versinterung als feine Röhrrchen sichtbar, deren Zusammenballung oder gerade Aufreihung Feinspalten nachzeichnen, an denen das kalkausscheidende Sickerwasser austritt (Bild 8 und 9).

Die bezeichneten und im übrigen allgemein bekannten Sintervorkommen haben sich auf anorganischem Wege entwickelt. Ihre Entstehung ist chemisch und physikalisch ohne weiteres deutbar, da sich ihr Bau an das senkrecht tropfende oder rieselnde Sickerwasser knüpft. Die Höhle birgt aber noch Sickerformen, deren Entstehung zunächst nicht erklärbar ist. Es sind waagrecht von der Wand abstehende, dicht an dicht gedrängte kleine Gebilde, die etwa Warzen-, Erbsen- oder Pilzgestalt besitzen. Sie gleichen äußerlich den von Magdeburg (1933) zuerst untersuchten und beschriebenen Kalkalgen-Kolonien, somit organogenen Bildungen. Hier ist jedoch nach den Feststellungen von Karl (s. Seite 104) nicht nachzuweisen, daß sie auf organischem Wege entstanden sind. Diese rasenartig angelegten Kleinformen breiten sich besonders in der Oberen Wasserkamm aus und zeigen dort eine eigentümliche Anordnung. Sie finden sich in den Wandnischen der zweiten Entwicklungsphase, und zwar in den flußaufwärts gelegenen Nischenteilen. Zur Nischenmitte, also flußabwärts gerichtet, verlaufen sie wie ein langsam ausklingender oder verwehender Raster, in dem die Formen allmählich kleiner werden und verkümmern. Wo durch eine frühere Ablagerung der Wände vor Entstehung der „Rasen“ schnurgerade Kalkspatadern um Millimeterbeträge herausragen, bildeten sich auf ihnen perlstabähnliche Leisten. Sie gehören ebenfalls zum Gefüge der „Rasen“, die bisweilen Quadratmeterumfang einnehmen. Diese interessanten Vorkommen bedürfen noch einer eingehenden Untersuchung in der Höhle. Dabei ist zu überlegen, ob das auffallende Gebundensein der rasenähnlichen Flächen an den Strömungsschatten nicht etwa auf eine Entstehung in langsam bewegtem Wasser hindeutet. In diesem Falle wäre auch ihr Wachstum aus den Wandflächen heraus verständlich.

Es ist oft schwer, dem Leser durch Worte den richtigen Eindruck über den Formenschatz einer Höhle zu vermitteln, da bekannte Entsprechungen aus der Welt über Tage meist fehlen. Noch schwieriger ist es, von dem vielfältigen entwicklungsgeschichtlichen Zusammenspiel eine klare Vorstellung zu vermitteln. An einem Bildausschnitt soll zum Schluß ein Beispiel dafür erläutert werden (Bild 15). Es handelt sich um eine Blattverschiebung in der Natterkluft, von der als Rest ein waagrecht gestriemter Harnisch erhalten blieb (untere Bildhälfte auf Bild 15). Im jenseitigen Teil des Gesteinspaketes, also vom Beschauer aus hinter dem Harnisch, entstanden als Folge der tektonischen Beanspruchung Scher- oder Zerrspalten, die 15° gegen die Schubbahn geneigt sind. Die Scherspalten wurden zu einem Kluftbündel erweitert und abgelaut, wo sie nicht mehr vom schützenden Harnisch überdeckt sind. Im Umkreis des Kluftbündels erkennt man auf der linken Bildseite alte Lösungsnapfchen. Das ganze Gebilde wird von oben her durch Überwucherung von jungem Sinter bedroht. Die Struktur wird dadurch korallenähnlich. Das ständig wachsende Sintergebilde rückt langsam auf die Scherklüfte und auf den Harnisch vor; es wird diese dereinst so weit überzogen haben, daß sich ihre Struktur nur noch in einem vielleicht nicht mehr deutbaren Wandrelief verliert. Endlich wird auch das von einer vielgestaltigen Sintermasse überkleidet und verborgen sein. Die Blattverschiebung und ihre Folgen sind dann nicht mehr erkennbar.

Das Beispiel zeigt, wie sehr es bei einer Höhle davon abhängt, in welchem Stadium der Entwicklung man sie vorfindet, um aus ihrem Formenschatz eine treffsichere und möglichst weitreichende genetische Analyse geben zu können. Daß das Hölloch ein Objekt ist, dessen heutiger Zustand dies erlaubt wie wenige unserer alpinen Höhlen, wurde eingangs erwähnt. Wir sind uns allerdings auch darüber klar, daß mit nur zwei Kundfahrten, die noch dazu teilweise durch widrige Verhältnisse behindert waren, nicht alle Erscheinungen erfaßt werden konnten.

V Datierung zur Morphogenese

Das Hölloch ist ein Abflußsystem im Rahmen der Landschaft. Als solches hat es einen Werdegang. Will man eine zeitliche Koordinierung der Etappen seines Werdens durchführen, dann ist dieser Versuch mit Vorbehalten belastet, die sich aus zwei Faktoren ergeben. Einmal aus der Tatsache, daß nur ein kleiner Teil der Gesamtanlage, nämlich der von den Ursprungsklüften bis zur Unteren Wasserklamm, zugänglich und die Fortsetzung von dort ab bis zur Sägebachquelle unzugänglich ist. Zum anderen, weil der Verlauf der Drusberg-Schichten, die den undurchlässigen Untergrund unter dem Schrattenkalk bilden, im einzelnen nicht genau bekannt ist.

Das älteste Stadium der Höhlen-Entwicklung fällt in eine Zeit, als der Schrattenkalk der Mahdtal-Mulde eben zu verkarsten begann. Ob die Geländeoberfläche damals bereits geologisch und geographisch dem heutigen Zustand entsprach, ist nicht bekannt. Als sicher kann nur gelten, daß die stratigraphisch auflagernden Gesteine: Leistmergel und Brisisandstein größere Verbreitung hatten als heute (s. Seite 15 und 41; Brisisandstein-Gerölle in der Mittleren Wasserklamm).

Die Druckleitungsstrecken der ersten Phase setzen voraus, daß der Gesteinskanal ständig mit Wasser erfüllt war, andernfalls es nicht zur Kreis- oder Ellipsenform des Querschnittes kommen konnte. Dieser Zustand bedingte seinerseits wieder, daß ein ständiges Übersoll an Abflußmenge, das von dem noch verhältnismäßig kleinen Kanal nicht aufgenommen werden konnte, anderweitig zutal ging. Nach Lage der Dinge erfolgte dieser Abfluß an der Geländeoberfläche, d. h. im Mahdtal-Graben. Mit anderen Worten: während zu Beginn der Verkarstung in der Mahdtal-Mulde noch ein Teil des Niederschlages oberirdisch abfloß, suchte

sich ein permanenter Anteil seinen Weg unterirdisch. Mit der Vergrößerung der Leitungsquerschnitte infolge Auslaugung nahm der unterirdische Anteil zu.

Wenn auch nicht feststeht, wo — außer in den Ursprungsklüften — der heutige Höllochbach die Drusberg-Schichten im Liegenden anschneidet, so ist doch wenigstens für den Primärkanal erwiesen, daß er erheblich über ihnen im Schrattenkalk angelegt ist. Er verläuft z. B. am Ende der Mittleren Wasserkamm mindestens 20 m über den Drusberg-Schichten.

Nach den Gesetzen der Karsthydrologie mußte der Verlauf des Gerinnes im vertikalen Richtungsbereich von einem Übertaggewässer (Vorfluter) oder von einer undurchlässigen Schwelle bestimmt und dort festgehalten worden sein. In beiden Fällen ist es ein Schnittpunkt, durch den die Erosionsbasis für das Höllochgerinne verläuft. In gewissem Sinne ist er jeweils eine zeitliche Höhenmarke. Der Schnittpunkt kann zur Höhe, zur Tiefe und auch seitlich durch mancherlei Vorgänge verlagert werden. Eine Erörterung der Anlässe dafür würde hier zu weit führen.

Seit der ersten Höhlenbildungsphase tiefte der Höllochbach in der Folgezeit ständig ein. Das Druckleitungsgerinne wurde zum Gravitationsgerinne. Im großen gesehen liegt heute ein klammartiges Gebilde vor, wenn man es zu ähnlichen Erscheinungen an der Oberfläche in Vergleich bringen will. Es hat gegenüber dem Primärkanal beispielsweise an der tiefsten von uns einzusehenden Stelle, am Übergang von der Mittleren zur Unteren Wasserkamm um etwa 20 m eingeschnitten. Eine nennenswerte Seitenentfaltung der gestaltenden Kräfte: durch Lösung und Ausschauerung bestand nicht. Dafür fehlen u. a. die kennzeichnenden „Lauffazetten“ in der Höhle. Somit sind auch keine Voraussetzungen zur Annahme langanhaltender Stillstandslagen während der dreiphasigen Entwicklung gegeben. Man hat sich das Eintiefen des Gerinnes in das Gestein vielmehr als einen verhältnismäßig kontinuierlichen und auch von Trockenperioden kaum unterbrochenen Vorgang zu denken. Das etappenweise kurze Festhalten der Erosionsbasis an bestimmten, nacheinander tiefer wandernden „Höhenmarken“ genügte jedoch, um die erste von der zweiten und die zweite von der dritten Entwicklungsstufe unterscheiden zu können.

Welche äußeren Einflüsse das vorübergehende Festhalten bzw. das anschließende Tieferlegen mit dem nachfolgenden Einschneiden des Höllochbaches bewirkten, ist bei dem gegenwärtigen Stand der Höhlenerkundung nicht sicher zu erkennen.

Das Hölloch ist nach seinem morphologischen Gehalt ein junges Gebilde. Es ist geologisch weit jünger als die bekannten alpinen Höhlen im Dachstein, Tennengebirge und andere. Im morphogenetischen Zyklus hat die Höhle bis heute eine vollkommen normale Entwicklung genommen. Sie befindet sich gegenwärtig — soweit unsere Erkundung reicht — in einem frühen Stadium der Reife.

B Färbversuche

Über den Austritt des Höllochwassers in irgendeiner Quelle der weiteren Umgebung bestanden bisher nur Vermutungen. Genannt wurden von Einheimischen die Sägebachquelle und die Aubachquelle. Daß es eine davon oder vielleicht auch beide zugleich sein konnten, war naheliegend, doch muß in der Karsthydrographie mit Überraschungen gerechnet werden. Um Klarheit zu schaffen, erfolgten im Zeitabstand von 6 Jahren zwei Färbversuche.

Der erste Versuch wurde 1949 durchgeführt. Am 2. September dieses Jahres wurde das Höllochwasser im Schachtgrund um 18.20 Uhr mit 2 kg, in Kaliumlaugelauge gelöst, Fluoresceins (Uranin A) eingefärbt. Hierauf erfolgte am 3. September um 11.50 Uhr eine zweite Beschickung mit 1,8 kg des gleichen Farbstoffes. Zwei Einfärbungen zu verschiedenen Tageszeiten waren deshalb ratsam,

um bei raschem Farbstoffdurchgang an einer Quelle mindestens einmal die Einfärbung bei Tageslicht sicher beobachten zu können.

Die erste sichtbare Farbstoffwelle erschien am 5. September um 7.15 Uhr an der Sägebachquelle, also nach rd. 61 Stunden. In die klare Wasseransammlung im Staubecken der Quelle schob sich um diese Zeit langsam eine Farbstoffzunge, die sich zusehends ausbreitete. Die Farbe war schon aus großer Entfernung erkennbar. Die im Labor unter der Quarzlampe untersuchte Probe vom 5. September, 6.00 Uhr, war noch negativ und die in gleicher Weise untersuchte Probe vom 6. September, 6.30 Uhr, bereits wieder frei von Farbstoff.

Sämtliche von der Aubachquelle in verschiedenen Zeitabständen gezogenen Proben hatten zwar eine grünliche Fluoreszenz, diese war aber nach Angabe des Chemikers weder identisch mit einer Uranin-A-Vergleichsprobe noch mit einer Chlorophyll-Vergleichsprobe. Bei der Aubachquelle lag somit noch kein völlig eindeutiges Ergebnis vor. Aus diesem Grunde wurde eine Gelegenheit abgewartet, die für eine Wiederholung des Versuches geeignet erschien.

Der niederschlagsreiche Sommer 1955 und vor allem die heftigen Regenfälle Ende Juli und Anfang August dieses Jahres gaben Anlaß zur Durchführung eines zweiten Färbeversuches. Da das Rinnsal aus dem Mahdtal-Graben mit genügender Wassermenge in den Hölloch-Schacht stürzte, war eine Einfahrt in die Höhle nicht erforderlich. Das einschießende Wildwasser wurde mit einem Stoß von 10 kg in Kaliumlauge gelösten Fluoreszein am 5. August 1955 um 9.30 Uhr, versetzt. Am 6. August um 7.00 Uhr begann die Entnahme an der Aubachquelle zunächst in zweistündlichen Abständen. Die Entnahme wurde mit zeitlich immer größer werdenden Abständen bis zum 22. August um 17.10 Uhr fortgesetzt; insgesamt wurden in dieser Zeit an der Aubachquelle 71 Wasserproben gezogen. An der Sägebachquelle unterblieb die Probenentnahme, da die Verhältnisse dort durch den ersten Färbeversuch als geklärt galten. Nebenbei wurde aber auch diesmal festgestellt, daß die Quelle am dritten Tage nach erfolgter Einfärbung intensiv grün lief. Demgegenüber enthielten sämtliche Proben aus der Aubachquelle keinen Farbstoff. Sie wurden im Labor sowohl einzeln als auch zusammengefaßt als Konzentrat mit allen bekannten Verfahren geprüft.

Das Ergebnis war nunmehr eindeutig. Das Wasser aus dem Höllochbach erschien allein in der Sägebachquelle wieder. Die Aubachquelle erhielt aus ihm kein Wasser.

Die Analysen aus beiden Färbeversuchen wurden von Herrn Oberchemiker Dr. Pfeiffer, Chemische Untersuchungsanstalt der Stadt Nürnberg, ausgeführt, wofür auch an dieser Stelle verbindlichst gedankt wird.

C Schriftenhinweise und Aufsätze über die Hölloch-Kundfahrten 1949 und 1950

A K.: Erinnerungen um das Hölloch. — Der Walser, Riezler 1949.

Höhlenforscher im Allgäu. Mit Seilwinden und Grubenlampen im Innern des Hohen Ifen. — Süddeutsche Zeitung Nr. 134 v. 14. 10. 1949.

E. F.: Mit Nürnberger Forschern unter der Erde. — Nürnberger Nachrichten vom 12. 9. 1949. hf: Höhlenforschung im Walsertal. — Die Neue Zeitung vom 24. 8. 1949.

HF: Moderne Höhlenforscher im Allgäu. — Die Neue Zeitung Nr. 149, 1949.

Häuser, J.: Die Niederschlagverhältnisse in Bayern und in den angrenzenden Staaten. Atlas mit Tabellen und Textband 1901—1925. — Bayer. Landesstelle f. Gewässerkunde, 76 S., 51 K., München (Riedel) 1930.

Horn, H.: Kampf um das Hölloch. — Süddeutsche Sonntagspost München vom 20. 1. 1951.

Magdeburg, P.: Organogene Kalkkonkretionen in Höhlen. — Beitrag zur Biologie der in Höhlen vorkommenden Algen. — Sitz.-Ber. der Naturforsch. Ges. zu Leipzig 1933.

N. R.: Ein Berg muß sein Geheimnis lüften. Zur Sendung „Für den Bergsteiger und Naturfreund“. — Gong, die Radiowelt, H. 1, 1951.

Pfeiffer, E. A.: Das Kleine Walsertal. Ein Alpenjuwel. — V. Aufl., 276 S., 148 Abb., Immenstadt (Allgäuer Anzeigblatt) 1956.

- Spöcker, R. G.: Das Hölloch am Hohen Ifen wurde erforscht. — Mitt. d. Deutschen Alpenvereins, München, H. 11, Nov. 1949.
- Plauderei um die letzten Höllochforschungen. — Der Walser, Riezlern, Nr. 43, 1950.
 - Forschungsbericht über die zweite Erkundung des Hölloches bei Riezlern im Kleinwalsertal. — Mitt. d. Deutschen Gesellschaft f. Karstforschung, Nürnberg, H. 3, 1950.
 - Zweite Hölloch-Expedition abgeschlossen. — Kemptener Zeitung „Lug ins Land“, Kempten 1951.
- Wagner, G.: Rund um Hochifen und Gottesackergebiet. — 116 S., 41 Abb., 80 Taf., Öhringen (F. Rau), 1950.
- Anonym: Ein Berg gibt sein Geheimnis preis. Wissenschaftliche Expedition in die Höhlenwelt des Hohen Ifen. — Beilage Fränkische Heimat vom 18. 3. 1950.

Bei der Redaktion eingegangen am 18. April 1956.



Bild 4 Die Seehalle und ein Teil des Oberen Höllochsees. Hinter der Kulisse rechts verbirgt sich der etwa 25 m hohe Wasserfall, der sich zunächst auf eine 8 m hohe Felsstufe und dann in den Höllochsee ergießt. An der rechten Wandseite Karrenrinnen, die etwas über dem Seespiegel in zwei wulstigen Gebilden aus Kalksinter endigen.
Foto: Zitzelsberger.

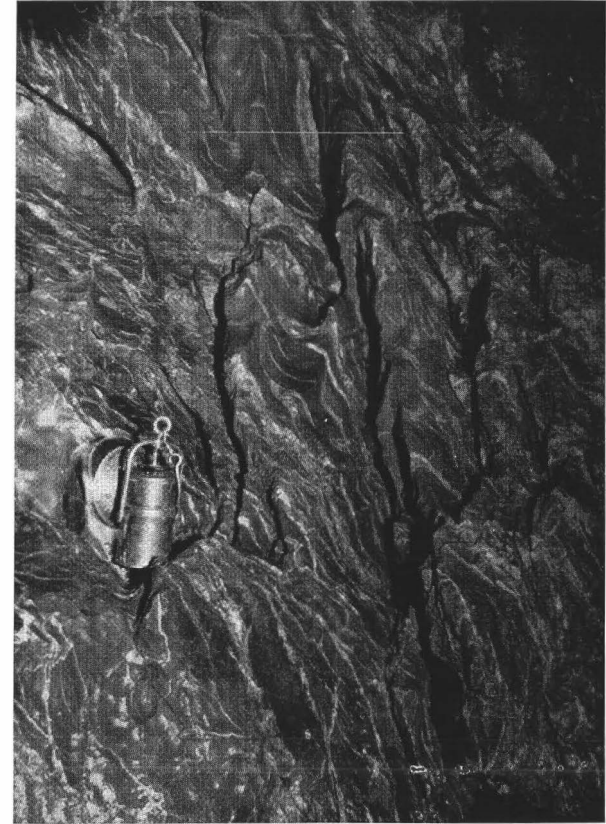


Bild 5 Ablaugungen im dunklen Schrattenkalk, der von weißen Kalkspatadern durchsetzt ist. Foto: Natter.

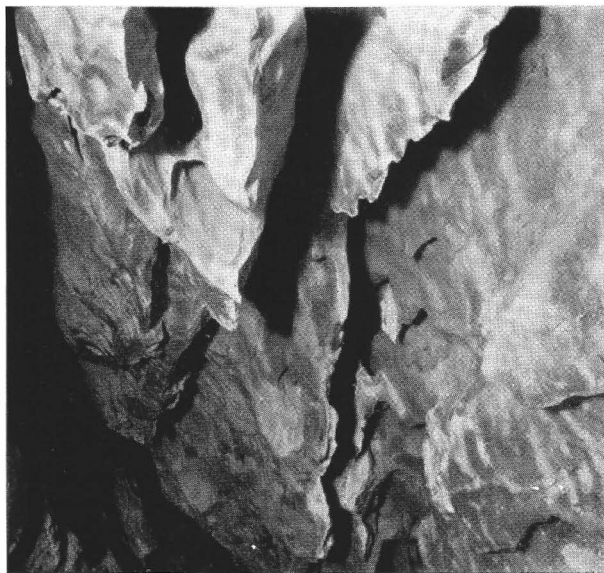


Bild 6 Sepp-Gerstmair-Kluft. Lauglamellen an der Decke. Ausgelangtes Spaltenbündel. Dem entsprechen Kluftkarren über Tage. Foto: Hördegen.



Bild 7 Xaver-Lutz-Kluft. Reste des Urprofiles, eines einstigen Druckleitungschanals der ersten Entwicklungsphase; nach oben durch Sickerwässer und nach unten durch Gravitationsgerinne aufgeschnitten. Blickrichtung Ost. Foto: Zitzelsberger.

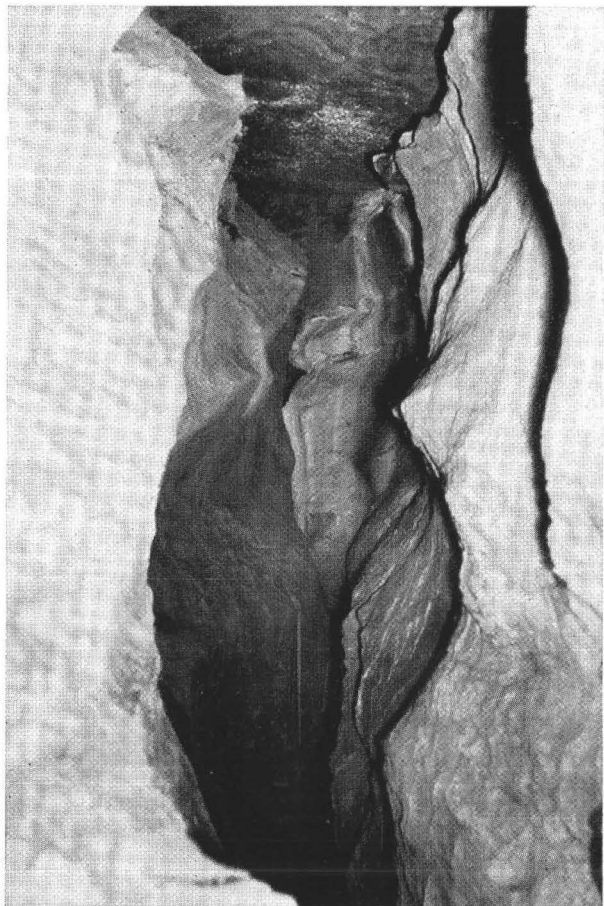


Bild 8 Obere Wasserklamm. Das erste Entwicklungsstadium in den Deckenteilen; das zweite Entwicklungsstadium darunter in den Wandflächen; das dritte Entwicklungsstadium in die Sohle des vorangegangenen als Klamm eingeschnitten. Die hellen Punkte an der Decke sind junge Sinterzapfen. Blickrichtung Südost. Foto: Zitzelsberger.

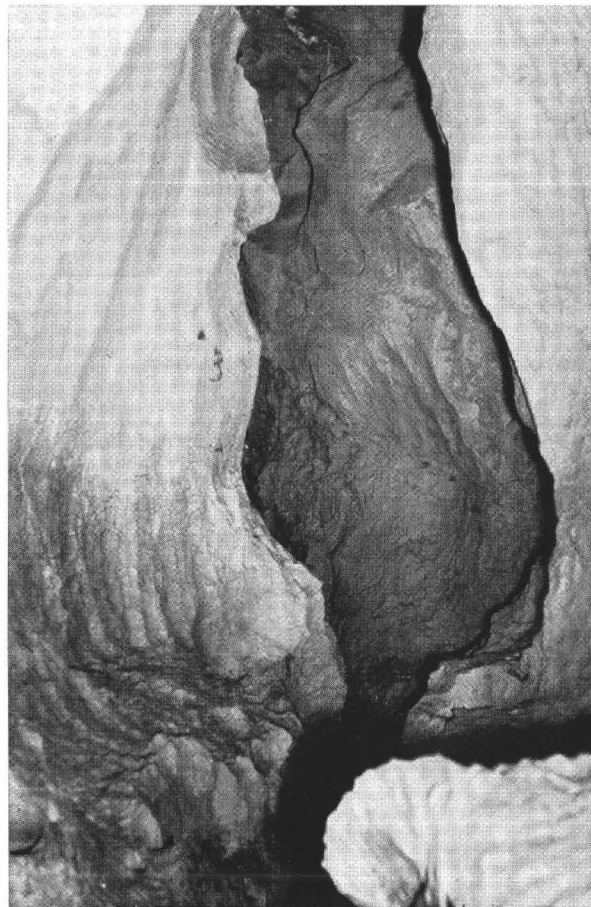


Bild 9 Obere Wasserklamm. Das zweite Entwicklungsstadium in kennzeichnender Tropfenform. Rechts und links Sohlenreste aus der zweiten Phase als Leisten. Zur Tiefe anschließend als Klamm die dritte Phase. Wände und Leisten sind mit Laugnapfen übersät. Blickrichtung Ost. Foto: Zitzelsberger.

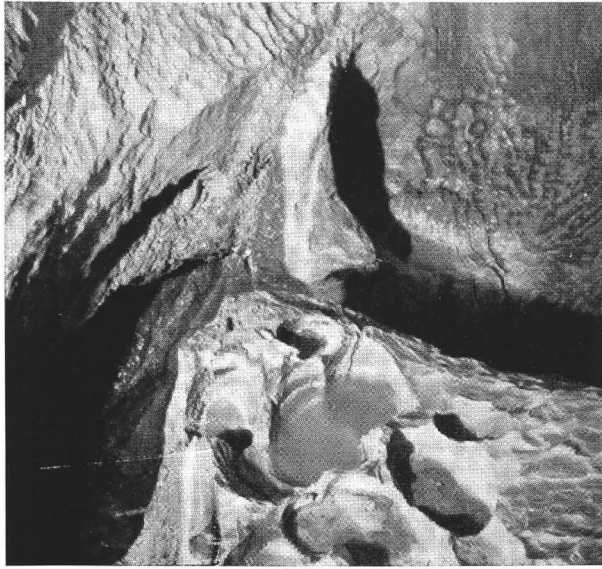


Bild 10 Obere Wasserklamm. Sohlenrest aus der zweiten Phase als Felsnase. Strudellöcher auf ihr. An den Wänden rasterartig angeordnete Laugnäpfchen. Foto: Hördegen

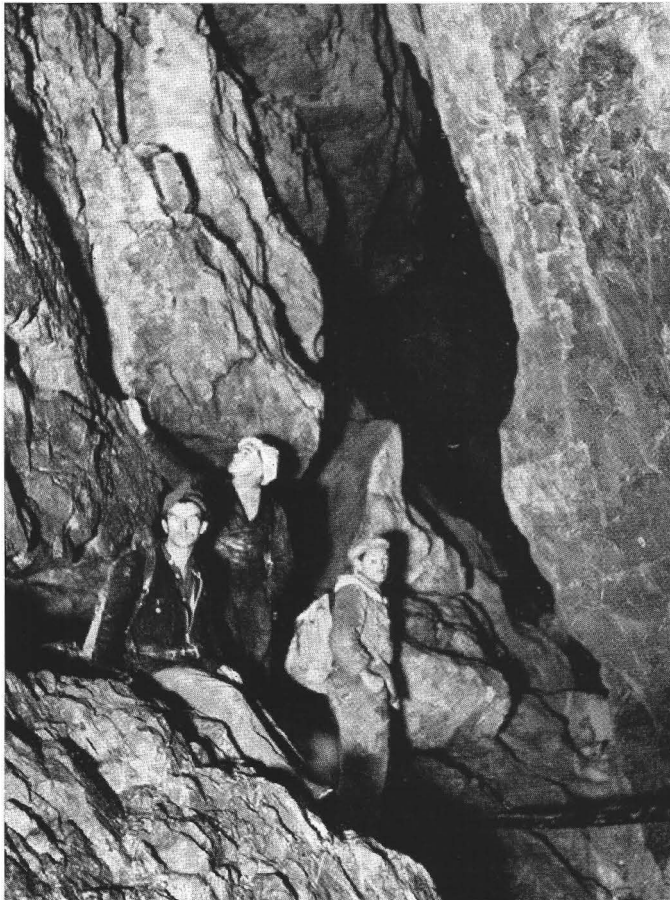


Bild 11 Verbruchformen in der Seehalle bei Polygonpunkt 23. In den Kluftwänden beiderseits erhalten gebliebene Reste des tropfenförmigen Profils aus dem zweiten Entwicklungsstadium. Darunter anschließend die Klamm der dritten Phase. Blickrichtung Nord. Foto: Zitzelsberger.

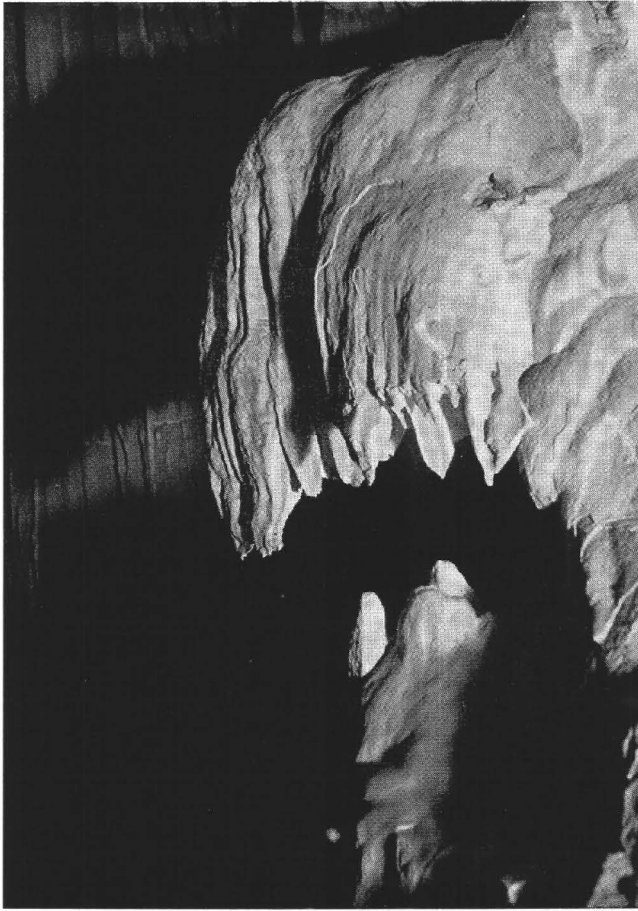


Bild 12 „Kanzel“ und „Baldachin“ in der Seehalle. Das schönste Tropfsteingebilde der Höhle. Im Hintergrund Teile der Karrenrinnen an der Wand der Seehalle. Breite der Rinnen im Durchschnitt 10 cm. Foto: Zitzelsberger.



Bild 13 Sohlenrelief in der Natterkluft. Links Kammstein mit Karrenrillen. Rechts Ablaugungsflächen mit erhabenen Kalkspat-Adern. Dazwischen Schotter. Foto: Natter.

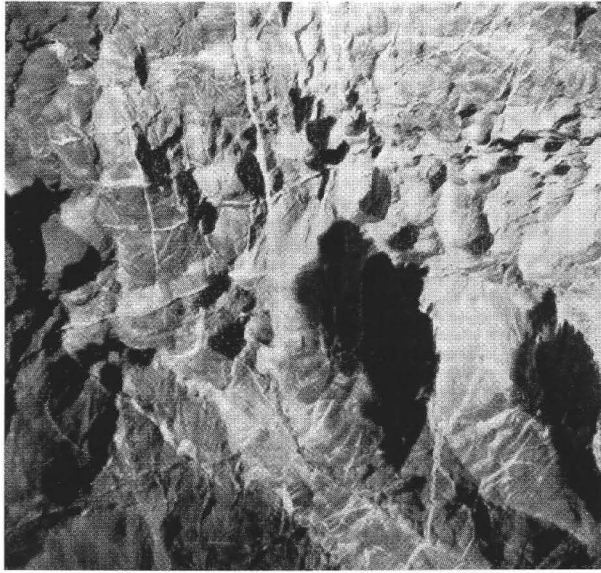


Bild 14 Obere Wasserklamm. Lösungsschüsseln und Lösungsnapfe; sie sind teilweise in das Geflecht der Kalkspatadern eingebettet. Foto: Hördegen.



Bild 15 Natterklüft-Ostwand. Harnisch, Scherklüfte, Lösungsnapfchen und Wandsinter in Wülsten und Wucherungen. Foto: Zitzelsberger.

DAS KLIMA DER GEBIRGSLANDSCHAFT AM HOHEN IFEN UND DAS KLEINKLIMA DER KARRENFELDER

Von A. Baumgartner¹

I N H A L T

	Seite
A Einleitung	55
B Das Großklima	55
C Das Mikroklima der Karrenfelder	57
D Literatur	60

A Einleitung

Es steht fest, daß die eigenartigen Züge dieser Landschaft ihre Entstehung den besonders gelagerten geologischen Verhältnissen verdanken und durch die stetigen Einwirkungen seitens der Klimafaktoren geformt worden sind. Die wirksamen Kräfte: das Niederschlagswasser, die Temperaturschwankungen bei Ein- und Ausstrahlung, Frostwechsel und Wind sowie die organische Natur haben im Laufe der Zeiten das Gestein zersetzt und zerstört, Schicht für Schicht gelockert, abgetragen oder weggeblasen und zur Ausbildung der Karrenfelder, Klüfte und Höhlen geführt.

Es erhebt sich dagegen die Frage, ob die vielfältigen und eigenartigen Formen der Karstlandschaft auch durch ein eigenes und von der Umgebung abweichendes Klima verursacht wurden. Eine eindeutige Antwort ist darauf wohl schwer zu geben, da Klima und Gestalt der Bodenoberfläche zwei in Wechselwirkung stehende Faktoren einer Landschaft sind und ein Faktor den anderen fortlaufend zu beeinflussen vermag. Nun zeigen aber die meteorologischen Beobachtungen, daß das Großklima des Ifenstockes in den Niederschlagsverhältnissen mindestens einen ausgeprägten, Erosion fördernden Faktor aufweist. So hindert es also nicht anzunehmen, daß die vorliegenden geologischen Verhältnisse zwar die Voraussetzung für die Verkarstung boten, daß aber auch der Klimafaktor an der Ausgestaltung des „Gottesackers“ maßgeblich beteiligt war und ist. Die Sonderformen des freiliegenden Gesteins — gegenüber den Alpen oder einem Gebirgstock nur Miniaturformen — haben daneben selbstverständlich auch ein eigenes Mikroklima, das wiederum nicht ohne Rückwirkung auf die Formenbildung bleiben kann.

B Das Großklima

Eine Hochgebirgslandschaft weist naturgemäß wegen der geringen Besiedlung kaum ein dichtes meteorologisches Beobachtungsnetz auf. Das Klima der Hochlagen muß daher meist mit Hilfe der Messungen aus ähnlichen Höhenlagen der engeren oder weiteren Umgebung erschlossen werden. Dies gilt auch für den Ifenstock.

Geben wir der Betrachtung der Niederschlagsmengen den Vorrang. Eine eigene Niederschlagsstation am Gottesacker-Plateau existiert nicht. Man findet aber doch in den Karten von K. Knoch & E. Reichel(10) sowie I. Schnetzer

¹ Anschrift des Verfassers: Meteorologisches Institut der Universität München, Amalienstra ß e 52/III.

(17) und in dem Tabellenwerk „Klimakunde des Deutschen Reiches“ (14) sowie bei J. Häuser (4, 5) genügend schlußsichere Vergleichsmöglichkeiten. Längere Niederschlags-Beobachtungsreihen weisen die benachbarten Orte Riezlern (Klinik Dr. Backer) sowie Rohrmoos und Mittelberg auf. Die Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde (5) unterhielt an einem nordöstlich gelegenen Vorberg, dem Hochgrat, (1600 m) und bei der Kemptener Hütte im Mädelegabelgebiet (1900 m) zwei Totalisator-Regenmesser und stellte z. B. für den Hochgrat im Durchschnitt von 4 Jahren 1980 mm Niederschlag im Jahr, und für die Kemptener Hütte 2950 mm fest. Nach J. Häuser fielen im Mittel 1901–1925 in Riezlern und Rohrmoos und nach (8) im Zeitraum 1901–1950 in Mittelberg folgende Niederschlagsmengen (mm):

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J
Riezlern (1150 m)	146	98	114	142	135	216	221	216	158	120	120	158	1844
Rohrmoos (1070 m)	200	137	164	200	187	302	294	264	210	157	170	210	2495
Mittelberg (1124 m)	141	118	116	136	154	215	240	228	168	135	134	137	1922

Nimmt man an, daß die Jahressumme des Niederschlags bei einer Höhenzunahme von 100 m jeweils um 70 bis 80 mm ansteigt, so käme man für die Höhenlage des Gottesacker-Plateaus (etwa 1700 m) von Rohrmoos aus auf 2900 bis 3000 mm und von Riezlern aus auf etwa 2300 mm. Nun liegt aber Riezlern, wie O. Hoelper (6,7) mit Hilfe der Bewölkungs- und Sonnenscheindauer-Statistiken nachwies, im Regenschatten des Ifen und der Gottesacker-Wände, weist also entsprechend seiner Höhenlage zu wenig Niederschläge auf. Rohrmoos liegt dagegen am Ende eines von Westen her ansteigenden Tales und bekommt daher, wie Untersuchungen über die Niederschlagsmengen in Harztälern zeigten, relativ große Niederschlagsmengen. Da es sich außerdem mehr und mehr herausstellt, daß die Niederschlagsmessungen, und zwar nicht nur der Hochlagen, oft um 5 bis 10 % hinter den wirklich gefallenen Mengen zurückbleiben, geht man in der Annahme nicht fehl, für die Höhenlagen des Ifenstockes eine Jahressumme des Niederschlags anzusetzen, die über 2500 mm liegt. Schnetzer ordnete den Stock in seine letzte Isohyete „größer als 2000 mm“ und K. Knoch & Reichel in die Stufe zwischen 2000 und 2500 mm ein. H. Uttinger (19) gab 2400 bis 2800 mm an. Neuerdings stellte auch F. Steinhauser (18) im Text zu der neuen Niederschlagskarte von Österreich fest, daß die Totalisatormessungen gesichert haben, daß u. a. auch am Hohen Ifen im Jahr durchschnittlich mehr als 2500 mm Niederschlag fällt.

Es bleibt nun noch übrig, Vergleiche mit anderen z. T. nicht verkarsteten Höhenlagen zu ziehen. Am Nebelhorn (1930 m) wurden mit dem Totalisator im Mittel 2537 mm, am Wendelstein (1727 m) 2869 mm, an der Zugspitze Plattacher (2962 m) 2390 mm und an der Acker-alpe bei Traunstein (1400 m) 2500 mm Jahresniederschlag gemessen. Wir erkennen somit im Ifenstock eines der niederschlagsreichsten Gebiete und nach den Beobachtungen im Rohrmoostal sogar das regenreichste Gebiet der deutschen Alpen. Es gehört der regenreichen Stauzone der Voralpen an. Die von Westen und Norden herankommenden Regensfronten und Luftmassen treffen hier auf ihr erstes großes Hindernis und werden durch die Strömung zum Aufstieg gezwungen. Dabei wird der Wasserdampf durch Abkühlung in Form von Niederschlag zur Ausscheidung gebracht. Im Sommer entstehen hierbei häufig Gewitter, welche sich ebenfalls in dem Gebiet entladen.

Eine Beobachtung, die gelegentlich der Höllochuntersuchung gemacht werden konnte, mag für die Erklärung des außergewöhnlichen Niederschlagsreichtums des Rohrmoostales von Bedeutung sein. An zwei verschiedenen Tagen, am 1. 9. 1949 und 7. 9. 1949 brachen abends bzw. nachts zwei schwere Gewitter herein und brachten ausgiebige Niederschläge. Diese Gewitter standen am Nachmittag über den Oberstdorfer Bergen, wuchsen dann vom Hölloch aus gesehen über den Widderstein und den Ifenkopf nach Nordwesten zur Windeck-Scharte, um dann

abends von dort her hereinzubrechen. Diese Wanderung des Gewitterherdes von Südwest über West nach Nordwest kann man sich teilweise als eine Wirkung der Sonnenwanderung im Laufe des Tages erklären. Mittags werden vor allem die südlichen Hänge aufgeheizt; mit der Sonnenwanderung über Süd nach West im Laufe des Nachmittags verlagert sich die stärkste Bestrahlung an die Westwände, um dort am Abend den Gewitterherd zu verlassen. Die hufeisenförmige Einfassung des Walsertales, wobei die Gottesacker-Wände und der Torkopf den westlichen Eckpfeiler darstellen, lassen diese Erklärung für das Wandern der Gewitterherde um das Walsertal plausibel erscheinen. Ähnliches beobachtete A. Dechant während seiner Tätigkeit am Zugspitzobservatorium für das Wettersteingebiet. Als Eingangspforte für schlechtes Wetter hat die zwischen den Oberen und Unteren Gottesacker-Wänden liegende Windeck-Scharte somit auch vom Volksmund ihren treffenden Namen erhalten. Hierfür kann auch das gelegentliche, an Strahlungstagen beobachtete Übergreifen der beiderseitigen Talwinde über die Scharte herangezogen werden. Nach Ansicht des Mahdentalmsenners „kämpfen“ an der Windeck-Scharte die Winde! Das lokale Schönwetter-Windsystem in diesem Gebiet wäre einer eigenen Untersuchung wert. Am 1. 9. 1949 lag über dem lokalen Talwindssystem am „Schärtle“ ein kühler Westwind, während über die Gottesacker-Wände hinweg die Aufwind-Cumuli nach Nordwest zogen. Das Hangwindssystem führte also zu einer dreifachen Überlagerung entgegengesetzt gerichteter Winde.

Die Stellung des Ifenkopfes und der Gottesacker-Wände als Windfang gegen Nordwestwinde macht es auch erklärlich, daß außerordentlich hohe Tagesniederschläge auftreten können. So fielen z. B. in Rohrmoos am 14. 12. 1918 162 mm. Solchen Niederschlagsmengen in derart kurzer Zeit wohnt eine gewaltige erodierende Kraft inne. Sie sind ein Kennzeichen der niederschlagsreichen Stauzone in den Voralpen.

Von Ende Oktober bis Mitte Mai liegt über dem Gestein meist eine geschlossene Schneedecke (mittlere Tage der ersten bzw. letzten Schneedecke: 26. 10. bzw. 13. 5.), wobei die Schneedecke Ende Dezember oder im Januar nicht selten über 2 m beträgt. Nach E. Kossina (11) hält sich die Schneedecke sogar über 210 Tage im Jahr. Bei einer mittleren Schneedichte von 0,3 bis 0,4 g/cm³ Schnee tragen die Schneemassen bei rasch eintretender Schneeschmelze erheblich zur Erweiterung der Klüfte, Spalten und Höhlen bei.

Ein wesentliches Moment bei der Verwitterung des Gesteins bildet die Höhenlage des Karstgebietes. Es liegt innerhalb jener Zone der Atmosphäre, die nach Schneider-Carius (16) „Grundschicht“ genannt wird und in der sich die wirksamsten Wettervorgänge abspielen sowie die Frostwechselhäufigkeit ihre stärkste Rolle spielt. In dieser Höhe ist auch die Niederschlagshäufigkeit besonders groß, während das Niederschlagswasser beim Fallen in die tiefer gelegenen Täler teilweise bereits verdampft. Wolken und Nebel hüllen diese Höhenlagen häufiger ein, benässen sie und fördern die Verwitterung. Die Stürme erreichen in dieser Höhe unbeeinflusst von Bodenreibung ihre größte Energie und zerstörende Kraft. C. Rathjens (13) bezeichnet die Höhenstufe 1600 bis 2000 m geradezu als charakteristisch für das Auftreten der Karrenfelder.

C Das Mikroklima der Karrenfelder

Niederschlag und Wind äußern sich oft in scheinbar wirkungsvollerer Art und aufdringlicher als die Temperatur. Die Temperaturwirkungen vollziehen sich mehr im Mikroklima der bodennahen Luftschicht.

Das Mikroklima der Bodenoberflächen des Gebirges ist in besonderem Maße gegenüber jenem der Tieflagen ausgezeichnet. R. Geiger (3) hat als Hauptgründe dafür die vermehrte Strahlung und die Inhomogenisierung des Windfeldes angeführt.

Die direkte Sonnen- und Himmelsstrahlung nimmt mit wachsender Seehöhe zu, aber die Ausstrahlung bleibt nahezu konstant. Sofern gleiche Reflexionsbedingungen der Bodendecken im Gebirge und in der Ebene vorliegen, was etwa für Gestein und Rasen, aber nicht bei Schnee- und Eisflächen angenommen werden darf, verbleibt aus den verschiedenen Strahlungsströmen, die zur Oberfläche hin- oder wegführen, im Gebirge mehr Strahlung als in den Niederungen. Bei windruhigem Strahlungswetter kann es daher im Gebirge im windstillen Raum oft zu höheren Temperaturen der Bodenoberfläche kommen als in den Niederungen.

Neben windstillen Plätzen pfeift im Gebirge oft der Sturm. Die großen Unterschiede des Luftaustausches führen dann bei sonnigem Wetter an dem einen Orte zu ausgeprägten mikroklimatischen Zuständen, an dem anderen Orte zu völliger Beseitigung von meteorologischen Unterschieden in der bodennahen Luftschicht sowie zur Angleichung an die meteorologischen Verhältnisse der freien Atmosphäre. In der freien Atmosphäre nimmt die Temperatur im Durchschnitt mit $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ab, so daß beispielsweise eine Karsthochfläche in 2000 m Höhe im Vergleich zum Alpenvorland mit 500 m Seehöhe von einer Luft umspielt wird, deren Temperatur 10°C niedriger ist als dort. Für den Wärmeübergang Oberfläche/Luft spielt die Temperatur der zugeführten Luft und die Windgeschwindigkeit eine wesentliche Rolle. Man geht daher wohl in der Annahme nicht fehl, daß es im Gebirge eine bestimmte Höhenzone gibt, in der ausgeprägte Mikroklimata besonders häufig anzutreffen sind.

Über die vorkommenden Oberflächentemperaturen ist man durch einige Messungen unterrichtet. Über das Pflanzenklima in den Höhenlagen um 1600 m am Walsertal haben die ökologischen Studien an der alpinen Baumgrenze von G. & P. Michaelis (12) Material beigebracht. Zur Bestimmung der ökologischen Verhältnisse von Algen auf Felsstandorten der Schweiz wurden von O. Jaag (9) auf breiter Grundlage Messungen der Oberflächentemperaturen verschiedener Gesteine mit Thermoelementen vorgenommen. Bei Vergleichsversuchen in Zürich wurden dabei im August folgende Extremwerte ($^{\circ}\text{C}$) gemessen:

Gesteine:	Diabas	Granit	Sandstein	Kalk	Marmor	Luft
Minimumtemp. (Nacht)	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,6
Maximumtemp. (Mittag)	49,1	41,4	40,8	36,2	33,9	28,0
Tagesschwankung	34,6	26,9	26,3	21,7	19,4	13,4

Mittags betrugen die Übertemperaturen der Gesteine bis 21°C , nachts waren gegenüber der Lufttemperatur kaum Unterschiede aufgetreten. Auch im Winter und im Hochgebirge wurden Übertemperaturen von 20°C festgestellt. Die Exposition hat einen großen Einfluß. Am Weißfluhjoch ergaben sich in 2700 m Höhe mittags um 12.30 Uhr in Abhängigkeit von der Exposition folgende Gesteinstemperaturen:

O.-Exp.	S.-Exp.	W.-Exp.	Luft
$14,3^{\circ}\text{C}$	10°C	$-3,4^{\circ}\text{C}$	$-9,5^{\circ}\text{C}$

Die Tagesschwankung ist vor allem von der Windgeschwindigkeit abhängig. I. Dirmhirn (2) stellte am Sonnblickgipfel in 3050 m Höhe auf einer 6 cm dicken Steinplatte, die mit 2 bis 3 cm Luftraum auf gewachsenem Fels locker auflag, Gesteinstemperaturen von 29°C fest. Die Lufttemperatur betrug $6,3^{\circ}\text{C}$ und die Windgeschwindigkeit ca. 8 km/h. Bei mittlerem Wind ging die Tagesschwankung auf 26°C und bei starkem Wind von ca. 75 km/h auf 18°C zurück. In gewachsenem Fels war die Tagesschwankung ca. ein Drittel geringer. Dünne locker liegende Steine haben größere Temperaturextreme, da die Erwärmung oder Abkühlung neben den Strahlungseigenschaften, der spezifischen Wärme und der Temperaturleitfähigkeit auch von dem Verhältnis Oberfläche/Volumen abhängig sind. Den Einfluß der Temperaturleitfähigkeit auf die Oberflächentemperatur des Bodens lassen Messungen von H. Aulitzky (1) gut erkennen. In einer

schwach geneigten Lichtung im Zirbenwald an der Baumgrenze bei Obergurgl wurden die Bodentemperaturen gemessen, denen die Jungpflanzen ausgesetzt sind. Zwischen Juni und August 1955 wurden in 1 cm Bodentiefe im schlecht wärmeleitenden Rohhumus in 6 Fällen sogar noch Bodentemperaturen von nahe 65° C gemessen. An der Bodenoberfläche stiegen die Temperaturen sogar bis über 80° C an! Die Extreme im Hochgebirge umfassen also Temperaturen zwischen jenen der Wüste und der polaren Gebiete.

Karsthochflächen dürften die Merkmale der Hochgebirgsmikroklimata in besonders umfangreicher und extremer Weise enthalten. Das Hauptmerkmal des Gottesacker-Plateaus ist die „rauhe Oberfläche“. Dolinen, Klüfte, Spalten und Karren, darunter solche mit oft messerscharfen Kanten vergrößern die Erdoberfläche. Diese Oberflächenformen vermehren die Angriffsmöglichkeiten für Wetter und Witterung. Sie haben zur Folge, daß die Temperaturschwankungen teilweise wesentlich vergrößert oder sogar verkleinert werden. Die oft regelmäßigen Formen der Schratten: „Töpfe“, „Blätter“ usw. erzeugen örtlich genau definierbare Mikroklimata. So vermag sich die äußere Kante eines Gesteinsblattes infolge besseren Wärmeüberganges an die Luft mittags weniger stark zu erwärmen als eine tiefer liegende Partie. Die Südseite erwärmt sich tagsüber viel stärker als die im Schatten liegende Nordseite. Temperaturunterschiede führen zu Spannungen, die täglich in der gleichen Richtung wirken. Die höchsten lokalen Temperaturunterschiede ergeben sich am frühen Vormittag und am späten Nachmittag. Unterschiede in Höhe von 30 bis 40° C auf wenige dm Abstand dürften möglich sein und manche Abblätterung des Gesteins erklären. Man muß R. Saar (15) zustimmen, daß die klimatologische Erforschung der Karsthochflächen gefördert werden sollte.

Risse, Töpfe und Spalten sind Niederschlagssammler und fördern ihrerseits die Vertiefung. Durch häufigen Frostwechsel wird sodann das Gestein richtungsgebunden zerlegt. Die Klüfte und Dolinen werden im Winter mit Schnee ausgefüllt, so daß sich dort die Schneetiefe um mehrere Meter vergrößert. Infolge niedriger Temperaturen kann viel Kohlensäure im Schneewasser gebunden werden. Die Kohlensäure des Schmelzwassers hat hier noch bis in den Sommer Gelegenheit, das Kalkgestein zu zersetzen.

Die Frage, wie weit das selbständige Kleinklima einer solchen Landschaft die Sonderformen auflöst oder bildet, kann mit Hilfe der bekannten Klimadaten allein nicht entschieden werden. Sicherlich sind die Wirkungen der einzelnen Witterungselemente teilweise entgegengesetzt gerichtet, sie brauchen aber nicht generell zur Einebnung zu führen. Das wäre nur ein zufälliges Gleichgewicht der Kräfte, welche die Erosion fördern oder beseitigen. Schließlich ist ja auch der Ablauf der Witterung nicht gleichförmig; so überwiegen einmal die Vorgänge, die auf Temperatureffekten beruhen, ein andermal jene des Wasserhaushaltes. Es ist daher äußerst wahrscheinlich, daß die Karrenfelder bereits im Laufe verfolgbarer Zeiträume ihr Gesicht verändern. Auch der gegenwärtige Klimaablauf hat seinen Einfluß bemerkbar gemacht. Nach Ansicht Einheimischer hat die Vegetation mehr und mehr auf das Gottesacker-Plateau übergegriffen. Im Zuge der Erwärmung und Niederschlagsanreicherung der letzten Jahrzehnte ist die Baumgrenze höher gestiegen. Daß der gegenwärtige Vorgang nichts Einmaliges ist, zeigten die vermorschten Stümpfe von Baumriesen, welche an den Unteren Gottesacker-Wänden oberhalb der jetzigen Baumgrenze gefunden wurden. Auch die organische Welt übt also im Laufe von Klimaschwankungen durch das Kommen und Gehen ihrer Pflanzen und Pflanzengesellschaften verschiedenartig auf die Karrenböden ein.

D Literatur

1. Aulitzky, H.: Die Bedeutung meteorologischer und kleinklimatischer Unterlagen für Auf-
forstungen im Hochgebirge. — *Wetter und Leben*, 7, 241—252 (1953).
— Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentralalpinen Hanglage beiderseits der Wald-
grenze I. Teil. Die Bodentemperatur oberhalb der zentralalpinen Waldgrenze. — *Archiv*
f. Meteorologie, Geophysik u. Bioklimatologie, Serie B, 10, 4, 1961, S. 445—532.
2. Dirmhirn, J.: Oberflächentemperaturen der Gesteine im Hochgebirge. — *Archiv f. Meteor.,*
Geophys. u. Biokl. Serie B, 4, 43—50 (1952).
3. Geiger, R.: Probleme der Mikrometeorologie des Hochgebirges. — *Wetter und Leben*, 5,
21—27, (1950).
4. Häuser, J.: Niederschlagsmessungen in unbewohnten Hochlagen der bayerischen Gebirge.
— Veröff. d. Bayer. Landesstelle f. Gewässerkunde, München 1925.
— Die Niederschlagsverhältnisse in Bayern und in den angrenzenden Staaten. — Veröff. d.
Bayer. Landesstelle f. Gewässerkunde, München 1930.
6. Hoelper, O.: Meteorologische Beobachtungen in Kleinen Walsertal. — *Meteorologische*
Zeitschrift, 41, 1924, 180—184.
— Strahlungsmessungen im Allgäu. — *Ebenda* 346—352.
8. Hydrographischer Dienst in Österreich: Die Niederschlagsverhältnisse in Österreich im Zeit-
raum 1901—1950, Teil I. Beitr. z. Hydrographie Österreichs, Heft Nr. 26, Wien 1952.
9. Jaag, O.: Das Klima der Gesteinsoberfläche. — Beitr. z. Kryptogamenfl. d. Schweiz, 9,
Heft 3, Bern 1945.
10. Knoch, K. & Reichel, E.: Niederschlagskarte der Alpen. — *Abh. d. Preussisch-Meteorolog.*
Inst. 9, 1930, Nr. 6; Ref. in *Mitt. d. D. u. OeAV.*, N. F., 47, 1931, Nr. 2, p. 49.
11. Kossina, E.: Die Schneedecke der Ostalpen. — *Wissenschaftliche Veröffentlichungen des*
deutschen Museums für Landeskunde zu Leipzig, N. F., 7, 1939; s. a. *Zeitschrift d. D. u.*
OeAV. 1937; E. Kossina: Die Dauer der Schneedecke in den Ostalpen. T, 1 (22).
12. Michaelis, G. & P.: Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze, Teil I, *Ber. d. Dt. Bot.*
Ges. 52 (1932), 31—42; Teil II, *Beih. z. Bot. Zentr.-Bl.*, 52 (1943), 310—332; Teil III, *Beih.*
z. Bot. Zentr.-Bl., 52 (1943), 333—377; Teil IV; Teil V, *Jahrb. f. wiss. Bot.*, 80 (1934),
337—362.
13. Rathjens, C.: Der Hochkarst im System der klimatologischen Morphologie. — *Erdkunde*, 5,
310—315 (1951).
14. Reichsamt für Wetterdienst: Klimakunde des deutschen Reiches, Band II, Tabellen, Berlin
1939.
15. Saar, R.: Zur klimatolog. Erforschung der Karsthochfläche. — *Wetter und Leben*, 7 (1955),
263.
16. Schneider-Carius: Der Schichtenbau der Troposphäre. — *Meteorologische Rundschau*, 1
(1947) 79—83.
17. Schnetzer, J.: Bewässerung und Klima von Vorarlberg. — *Schulwiss. Verlag*, Wien 1931,
26 pp., 2 Taf., 1 Karte, 1 Figur. — *Heimatkunde von Vorarlberg*, hg. v. Vorarlberger
Landesmuseum, H. 2.
18. Steinhauser, F.: Die neue Niederschlagskarte von Österreich. — *Wetter und Leben*, 7,
95—100 (1955).
19. Uttinger, H.: Die Niederschlagsmengen in der Schweiz, mit Beilage Niederschlagskarte
der Schweiz, Zürich 1949, Verlag d. schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes.

Bei der Redaktion eingegangen am 20. Jänner 1958.

METEOROLOGISCHE BEOBACHTUNGEN AM HÖLLOCH

Mit 14 Abbildungen im Text

Von A. Baumgartner¹

I N H A L T

	Seite
A Allgemeines über Höhlenmeteorologie	61
B Das Hölloch als meteorologisches Forschungsobjekt und die Untersuchungsmethoden	63
I Die Aufgaben des Meteorologen	63
II Die Meßgeräte und deren Verteilung	64
C Die meteorologischen Beobachtungen am Schachtmund	65
I Die Witterung während der Befahrung 1949	65
II Die Lage des Höllochs und das Kleinklima am Schachtrand	66
III Die Registrierung am Schachtrand	66
D Die Messungen im Höhlenschacht	70
I Die Lufttemperatur und Feuchte	70
II Die Verteilung des Lichts	73
E Die Beobachtungen in der Höhlenklamm	75
I Die Temperatur der Luft, des Wassers und des Gesteins und die Verdunstung im Innern der Höhle	75
II Der Luftstrom in der Klamm und im Schacht	76
III Witterung und Wasserführung im Höhlenbach	79
IV Sonstige Beobachtungen und Überlegungen	80
F Zusammenfassung und Folgerungen	81
G Literatur	82

A Allgemeines über Höhlenmeteorologie

Vielfältig sind die Beziehungen, die den Höhlenbefahrer mit den besonderen meteorologischen Erscheinungen, dem Mikroklima in Höhlen verbinden. Der Mangel an Licht, die Ausgeglichenheit der Temperatur, die hohe Luftfeuchtigkeit und die gefilterte Ruhe in den fast abgeschlossenen Räumen beeinflussen die Ausrüstung und die Befahrung, belasten oder befreien die Sinne und gestalten die Erlebnisse. Vorgänge, wie das Rauchen der Höhlen zu gewissen Tages- und Jahreszeiten, die Luftbewegungen in Windröhren und die Bildung spezieller Formen des Eises und die Eiserhaltung in Höhlen, selbst über den Sommer hinweg, erwecken stets das Interesse zur Untersuchung des meteorologischen Zustandes. Die Frage nach der Ursache dieser Erscheinungen und die Existenz von Sonderformen der Tier- und Pflanzenwelt, die sich durch Anpassung an die Elemente des Höhlenklimas gebildet haben, oder die das spezielle Milieu der Höhlen aus früheren Klimaepochen erhalten hat, gaben frühzeitig den Anlaß zur wissenschaftlichen Erforschung des Höhlenklimas.

Von den zahlreichen Stichprobenmessungen zur quantitativen Erfassung des meteorologischen Zustandes der Höhlen seien hier nur jene von P. A. Buxton (5), E. G. Feruglio (12), W. Gressel (15), M. Marchetti (26), Pollis (32), A. Roschkott (33) und F. Vercelli (39) genannt. Die Temperatur des Höhleninneren ist von vielen Einflüssen abhängig und u. a. eine Funktion der Ortshöhe

¹ Anschrift des Verfassers: Meteorologisches Institut der Universität München, Amalienstraße 52/III.

und der Höhlentiefe, der Jahreszeit und der Durchlüftung. Die Tagesschwankung verringert sich, die Temperaturruhe und die relative Luftfeuchtigkeit erhöhen sich mit zunehmendem Abstand vom Höhleneingang und laufen auf gleichbleibende, für die Höhle charakteristische Grundwerte zu. Besonderen Wert erlangen Einzelmessungen, wenn sie systematisch vorgenommen werden. Aus den Tages- und Jahresschwankungen solcher Meßreihen leitete G. Abel (1) folgende Gliederung des Höhlenverlaufes in 6 Zonen ab: Außen, Eingang, Kältesack, Übergang, Höhle und Höhlengrund (Inneres). Als Charakteristikum fand er für alle Höhlen die relativ niedrigen Temperaturen nach dem Höhleneingang im Kältesack. F. Skrivánek (42) führte die höhlenwärts dann wieder folgende Temperaturzunahme auf die Erdwärme proportional der geothermischen Tiefenstufe zurück.

In einzelnen, leicht zugänglichen Höhlen sind Registrierungen über mehrere Jahre hinweg durchgeführt worden. Bearbeitungen solcher Meßreihen liegen u. a. von D. Berenyi & J. Justyak (41) C. Crestani & F. Anelli (9), E. Dudich (11), E. Hauser & R. Oedl (17), L. Steiner (36) und R. v. Saar (34) vor. Wertvolle Hinweise zur Deutung der Vorgänge des Höhlenwetters und sichere Grundlagen zur Beurteilung des Bioklimas der Höhlen konnten dadurch gewonnen werden.

Für die Luftbewegung in Höhlen gelten die allgemeinen Gesetze der Luftstatik und Dynamik. Ihre Ursachen haben die Höhlenwinde meist in Temperaturgegensätzen zwischen der Außen- und Höhlenluft. Vereinzelt greift auch die allgemeine, wetterlagenbedingte Außenluftströmung durch. Schon 1838 beschrieben F. Keller (21), 1891 E. Fugger (13), 1899 H. Crammer (8) und 1913 H. Bock (3) die meteorologischen Verhältnisse in Windröhren und Eishöhlen. Neuere Erklärungen für die Zirkulationssysteme gaben K. Wolf (40), R. Streiff-Becker (35) und vor allem R. Oedl (29). Dieser hat die Höhlen nach der Art der Luftschichtung oder Luftbewegung eingeteilt. Es lassen sich unterscheiden:

- a) Einseitig offene und mehrseitig offene Höhlen (Durchgangshöhlen), weil die Durchlüftung entscheidend von der Zahl und der Lage der Eingänge abhängig ist.
- b) Statische Höhlen (Luftsäcke, Kältespeicher), wenn die Luft in Schächten entsprechend ihrer Dichte stabil geschichtet wird.
- c) Dynamische Höhlen (Windlöcher, Windröhren), mit mindestens zwei oder mehreren Eingängen, die meist in verschiedenen Orthshöhen liegen und von der Luft durchströmt werden.
- d) Gemischte Höhlen, die eine Koppelung von b und c darstellen. Auch in statischen Höhlen gibt es Zirkulationen, da die absinkende Kaltluft die wärmere Luft im Höhleninneren verdrängt und angewärmte Kaltluft konvektiv die Höhle zu verlassen sucht.
- e) Trockene und Nasse Höhlen, je nach dem Vorhandensein von Wasser und Gewässern. A. Penk (30) fand z. B. für die Grotte von St. Canzian bei Triest eine Jahrestemperaturschwankung von 25° C, die er auf die Wirkung des Wasserdurchflusses der Reka zurückführen konnte.
- f) Höhlen in Fels und Höhlen in Eis. Diese Unterscheidung ist zweckmäßig, wenn man die Höhlen und Klüfte in Gletschern und die künstlichen Schächte für Expeditionen im Eis der Polargebiete in die Betrachtung hineinnimmt. Arbeiten von L. Handl (16), H. Heß (18), W. R. B. Battle & W. V. Lewis (2), R. v. Klebelsberg (22), E. G. Triloff (37), H. Carol (7), H. Jülg, E. Sorge & K. Wegener (20) u. a. befassen sich damit.

Höhleneis gestaltet das Höhleninnere und das Höhlenklima. R. Saar (34) schreibt: „Nicht nur Massen ewigen Eises, die zu spiegelnden Seen sich breiten, sondern auch die bizarren Formen des Höhleneises und seine leuchtenden Farben verwandeln die sonst oft öden Höhlenräume in ein märchenhaftes Zauberreich.“ A. Stifter flocht die Schilderung der Schönheiten einer Eishöhle in seiner dramatischen Dichtung „Bergkristall“ ein. Größere Beiträge zum Studium der Vereisung in Windröhren haben neben den bereits erwähnten Autoren (1, 3, 8, 13, 29, 34) W. Czoernig-Czernhausen (10), M. Hell (19) und O. Lehmann (25) gefertigt. Auf Grund von Beobachtungen in der Eisriesenwelt im Tennengebirge fanden E. Hauser & R. Oedl (17), daß das Gestein im Winter durch die durchströmende Kaltluft stark abgekühlt wird und deshalb bis in den Sommer hinein als Kältespeicher dient. Im Sommer wird der vereiste Höhlenteil nur in

geringerem Umfange erwärmt. Aus neunjährigen Beobachtungen folgerte L. Steiner (36) für die Eishöhle von Dobsina die verallgemeinerungsfähige und den Gesetzen der Luftstatik zwangsläufig entsprechende Tatsache, daß die Temperatur in der Höhle im Winter der Außenluft entspricht, ihr im Sommer dagegen nur in sehr abgestumpftem Maße folgt. Die Erhaltung des Eises über die warme Jahreszeit hinweg in nach unten führenden Schächten führte H. Mrose (28), am Beispiel der Eisbinge bei Platen im Erzgebirge, auf die Verlangsamung des Schmelzprozesses, durch die bei diesem entstehende und über dem Eis liegen bleibende Kaltluft zurück. W. Pfaff (31) wies nach, daß die aus Eislöchern fließende Kaltluft die Vegetation am Höhlenmund stark beeinflusst.

Gebildet wird das Eis in Höhlen vorwiegend im Spätwinter, wenn das Schmelzwasser von außen durch Klüfte und Spalten in die eiskalten Höhlenräume eindringt und dort gefriert.

Bedeutung erlangen die Höhlenklimauntersuchungen bei der Betrachtung der Pflanzen- und Tierökologie, wofür A. de Candolle (6), F. Morton (27), H. Trimmel (38) und vor allem E. Dudich (11), der das Klima der Aggteleker Höhle Baradla untersuchte, Beispiele lieferten.

Zu den wichtigsten Quellen, die Auskunft über das Kleinklima der Höhlen geben, gehören die Zusammenfassungen von G. Kyrle (23), E. N. Lawrence (24) und R. Geiger (14), der in seinem „Klima der bodennahen Luftschicht“ im Abschnitt V eine moderne Darstellung der „Höhlenmeteorologie“ gab. Ein allgemeiner bibliographischer Nachweis über die Arbeiten zur Klimatologie abgeschlossener Räume (Cryptoclimates) ist von C. E. P. Brooks und G. I. Evans (4) erschienen. Der Wert der wissenschaftlichen Behandlung der Probleme durch Zusammenfassungen liegt vor allem darin, daß durch die Ordnung des Erfahrungsgutes dieses in rationeller Weise auf wenige allgemein gültige Regeln und Gesetzmäßigkeiten zurückgeführt wird. Voraussetzung für das Erreichen dieses Zieles ist allerdings das Vorliegen gut erläuterter systematischer Beobachtungen. Auch Stichproben haben ihren Wert, wenn Ortslage, Zeit und sonstige wesentliche Parameter beschrieben sind.

B Das Hölloch als meteorologisches

Forschungsobjekt und die Untersuchungsmethode

I Die Aufgabe des Meteorologen

Vor der Höllochuntersuchung 1949 waren keine Beobachtungen bekannt, die auf Besonderheiten der meteorologischen Verhältnisse am und im Hölloch hinwiesen. Man konnte lediglich zuweilen in der kalten Jahreszeit feststellen, daß es aus dem Schacht dampfte. Die Teilnahme eines Meteorologen schien aber dennoch aus mehreren Gründen zweckmäßig.

a) Der Meteorologe sollte durch Wetterbeobachtung und Wetterberatung die Betriebssicherheit bei der Befahrung der eigenartig gelegenen Höhle erhöhen. Da der Schacht im Talboden des Mahdtales liegt, nimmt er das Wasser des Höllobachs auf, das dieser aus dem großen Einzugsgebiet zwischen den Gottesacker-Wänden bezieht. Bei Regen und Tauwetter (Schneeschnmelze) ergießt sich der Bachinhalt in Form eines Wasserfalles ins Hölloch. Durch einen solchen Wassereinbruch ist im Jahre 1936 der Bergsteiger Gerstmaier im Schacht tödlich verunglückt. Die Befahrung des Schachtes ist zwar auch bei Regenwetter möglich, aber nur bei niederschlagsfreiem Wetter ratsam, und die erste Aufgabe des Meteorologen war, vor stärkeren Regenfällen rechtzeitig zu warnen.

b) Durch Messung der Temperatur von Luft, Wasser und Gestein, der Luftfeuchtigkeit, Luftströmungen und des Lichtes sollte den an der Befahrung teilnehmenden Biologen Material für die Beurteilung des Bioklimas in der Höhle zur Verfügung gestellt werden.

c) Schließlich bot die Eigenart des relativ glatten und geradlinig ca. 78 m in die Tiefe führenden Höhlenschachtes eine gute Gelegenheit, als selbständige Aufgabe des Meteorologen die meteorologischen Gesetzmäßigkeiten in einer solchen Röhre zu studieren, die den einfachsten Fall eines Höhlensystems repräsentiert.

II Die Meßgeräte und deren Verteilung

Die schwierige Zugänglichkeit der Höhle und die Art der Befahrung am Stahlseil erforderten die Auswahl geeigneter und vor allem handlicher Meßinstrumente. Es stellte sich heraus, daß die handelsüblichen meteorologischen Geräte für eine solche Untersuchung viel zu zerbrechlich sind. In Kisten verpackt wurden durch einen Maulesel 4 Thermographen, 4 Hygrographen, davon ein Spezialgerät für hohe relative Luftfeuchtigkeiten, 1 Barograph und 1 Kontaktanemometer mit Kontaktschreiber zur Höhle gebracht. Ein Hitzdrahtwindmesser für geringe Windgeschwindigkeiten, sowie ein in Form eines Bauchladens zusammengebautes Lichtmeßgerät mit Selen-Photozellen und mit Lichtmarkengalvanometer Hartmann & Braun, ein Aspirationspsychrometer und mehrere Glasthermometer ergänzten die Ausrüstung. Zu Beginn und am Ende der Versuche wurde je $\frac{1}{2}$ Tag zu Vergleichsmessungen der nebeneinander aufgestellten Registriergeräte genutzt.

Für die Verteilung der Meßgeräte waren die vorstehend skizzierten Aufgaben und das Ergebnis einer Temperatursondierung am Schachtmund maßgebend. Am Spätnachmittag des 1. 9. 1949 wurde festgestellt, daß, ausgehend vom talwärtigen Schachtrand sehr kalte Luft in einer flachen Schicht talwärts strömt. Die Kaltluft war am oberen Höllochrand und seitlich am Talboden nicht vorhanden. Es mußte sich somit um höhleneigene Kaltluft handeln, die am tiefstgelegenen Schachtrand überlief. Keinesfalls war es abfließende Ausstrahlungskaltluft aus dem Mahd tal, was folgende Werte, die mit dem Aspirationspsychrometer am 1. 9. 1949, 17.45 Uhr gemessen wurden, belegen sollen:

	Lufttemperatur	Luftfeuchtigkeit
Bergwärts vom Höllochmund	17,9° C	84 %
Talwärts vom Höllochmund	10,2° C	86 %

Mit dieser Erkenntnis war während der Höllochbefahrung im Jahre 1949 eine weitere selbständige Aufgabe des Meteorologen, nämlich die Klärung des Zustandekommens des Kaltluftflusses aus der Höhle gegeben.

Angepaßt an die Aufgaben sind die in Abb. 1 eingezeichneten Plätze als Aufstellungsorte für die Registriergeräte gewählt worden. Es befanden sich bei:

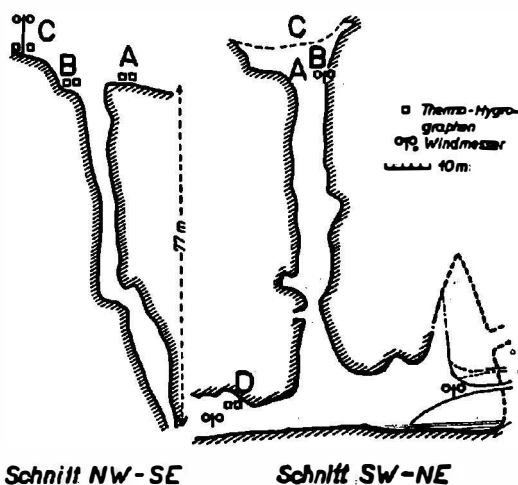


Abb. 1 Verteilung der Registrierinstrumente vom 1. bis 7. 9. 1949 am und im Hölloch.

A: 1 Thermo- und 1 Hygrograph an der tiefsten Ausflußstelle der Höhlenkaltluft am Boden, 1 m vom Schachtrand entfernt.

B: 1 Thermo- und ein Hygrograph auf einer seitlichen Stufe, aber noch unter dem Ausflußniveau im Schachtmund.

C: 1 Thermo- und 1 Hygrograph an einer Stange, 1 m über dem Talboden und 15 m vom Schachtrand entfernt. Auf der Stange in 2 m Höhe war der Schalenkreuz-Kontaktwindmesser angebracht. Der zum Windmesser gehörige Chronograph wurde mit Trockenbatterien betrieben.

D: Thermo- und Spezialhygrograph in der Höhlenklamm, 5 m talwärts von der Schachtsohle auf einem vorstehenden Felssockel.

E: Baro- und Thermograph an der Grafen-Küren-Alpe. Alle Meßfühler waren mit einem Strahlungs- bzw. Tropfschutz aus hochglanzpoliertem Aluminiumblech versehen und die Geräte mit Tagesuhren (Trommelumlauf in 24 Stunden) ausgestattet. Die Geräte bei E enthielten Wochenuhren. Für die Messungen bei B standen die Geräte von D zur Verfügung, nachdem eine eintägige Registrierung an der Schachtsohle völlige Feuchte- und Temperaturkonstanz ergeben hatte.

Die Unterrichtung über die Wetterlage erfolgte telefonisch von der Wetterwarte Oberstdorf zum Forsthaus Riezern-Schwende. Dem Leiter des Wetteramtes München, Herrn Direktor Dr. Arenhold, Herrn WD-Inspektor Waldau und Herrn Oberförster Rupprechter sei hier für ihre Unterstützung herzlich gedankt.

Die meteorologischen Beobachtungen umfaßten nur den Zeitraum von etwa einer Woche. Dies ist, gemessen am gesamten Jahr, eine verhältnismäßig kurze Periode. In vollem Umfange gelten die folgenden Feststellungen und Schlüsse daher nur für die Versuchszeit. Im Prinzip dürfte aber ihrer Übertragung auf ähnliche Jahreszeit und Witterung nichts entgegenstehen.

C Die meteorologischen Beobachtungen am Schachtmund

I Die Witterung während der Befahrungen 1949 und 1950

Der Höhlenbefahrung im Jahre 1949 ging eine niederschlagsreiche Witterung voraus. Vom 25. bis 31. 8. fielen etwa 60 mm Niederschlag. Die Befahrung erfolgte in einer Periode mit mildem und trockenem Spätsommerwetter. Die Tagesmitteltemperaturen bewegten sich im benachbarten Oberstdorf bei 18° C. Mittags stiegen die Temperaturen auf 28° C, nachts sanken sie bis etwa 9° C ab. Im Mahdtal wurden bei C (s. Abb. 1) folgende Mittel und Extreme der Lufttemperatur und Feuchte gemessen:

	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Sept.
Temperatur-Mittel	—	14,0	15,9	16,8	16,8	15,3	° C
Temperatur-Maximum	18,0	20,3	23,6	23,5	24,9	23,6	° C
Temperatur-Minimum	11,1	9,7	11,2	11,2	12,0	9,4	° C
relative Luftfeuchte Mittel	—	72	73	68	62	73	%

Diese Witterung wurde durch Gewitter am 2. 9. nachts und am 7. 9. abends unterbrochen.

Aus der Beobachtung des Zusammenhanges zwischen Niederschlagsmenge und Wasserführung des Höllbachs ließen sich Folgerungen für die Befahrung des Schachtes bei Regenwetter ziehen. Der Niederschlag im Gefolge des Gewitters vom 2./3. 9. betrug etwa 7 mm. Am anderen Morgen tropften die Höllbachwasser nur mehr in einem schwachen Gerinsel in den Schacht. Das Gewitter vom 6. 9. wirkte sich über dem Oberallgäu als Unwetter aus. Es fielen am Hölloch etwa 25 mm Niederschlag (an der Grafen-Küren-Alpe in einem Kochtopf aufgefangen, mit einem Meßbecher ausgemessen und auf 1 m² umgerechnet). Die Folge war ein unmittelbarer Wasserstrom von etwa 1 m Breite und 5 bis 10 cm Tiefe, der sich wasserfallartig in den Höhlenschacht ergoß. Am anderen Morgen war das Regenwasser verlaufen oder in den vielen Dolinen versickert.

Die Befahrung im Jahre 1950 erfolgte bei wesentlich ungünstigerer Witterung, wie nachstehende Tabelle nach Beobachtungen an der Bioklimatischen Station Oberstdorf belegen soll.

	August 1950							September 1950			
Datum:	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	1.	2.	3.	° C
Lufttemperatur	17	20	19	18	14	14	15	11	12	11	
Niederschlag	22	3	3	3	2	4	0	4	54	6	mm

	September 1950											
Datum:	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	° C
Lufttemperatur	10	14	13	17	12	15	17	16	16	15	14	
Niederschlag	11	19	1	7	15	2	12	.	.	.	0	mm

Durch das Regenwetter wurde in der Höhle Hochwasser ausgelöst. Dadurch wurde die Befahrung zwar erheblich behindert, aber nicht unmöglich gemacht, und es zeigte sich, daß der Schacht auch unter sehr schlechten Witterungsbedingungen zu bezwingen ist.

II Die Lage des Höllochs und das Kleinklima am Schachtmund

Das Großklima am Hölloch deckt sich weitgehend mit den Merkmalen, die im Beitrag „Das Klima der Gebirgslandschaft am Hohen Ifen und das Kleinklima der Karrenfelder“ Seite (55—60) beschrieben worden sind. Die Lage des Schachteinganges an der Sohle des von Nordwesten nach Südosten verlaufenden Mahdthalgrabens hat verschiedene Eigenschaften des Kleinklimas zur Folge, die für die meteorologischen Beobachtungen von unmittelbarem Interesse sind:

a) Mit dem Wasser, das vom Höllbach her in den Schacht fließt, werden der Höhlenluft in einem gewissen Umfange die Eigenschaften des Außenklimas aufgeprägt.

b) Die Tal- und Hanglage bedingt die hiefür eigentümlichen, an Schönwettertagen ausgeprägten Luftbewegungen: tagsüber warme (Tal-) Hangaufwinde, nachts kalte (Berg-) Hangabwinde. Sie greifen im oberen Schachtteil ein und sorgen für „Atmung“ der Höhle. In kalten Strahlungsnächten sinkt die talwärts strömende Kaltluft, sobald sie kühler als die Höhlenluft ist, in den Schacht ein, und die dann wärmere Höhlenluft verläßt ihn. Die Bewaldung reicht von der Nordseite her direkt bis an das Loch, während die Talsohle baumlos ist und die Südhänge von Latschen bestanden sind. Tagesperiodische Erscheinungen sind daher im wesentlichen nur aus der Richtung des Mahdtales zu erwarten.

c) Von Einfluß auf das Mikroklima ist auch der Schattengang durch die Oberen Gottesacker-Wände. Der Schatten wechselt tages- und jahreszeitlich. Während der Untersuchungszeit lag der Höllochmund zwischen 8 und 9.30 Uhr und ab 16 Uhr im Schatten. Die Beschattung senkt die Temperatur am Höhleneingang und verschlechtert die Lichtverhältnisse im Schacht.

Durch den Wechsel der Windsysteme, die verschieden temperierte Luft transportieren, und durch den Schattengang kam es zu dem in Abb. 2 dargestellten, für einen Südhang im Gebirge charakteristischen Temperaturgang.

Man erkennt die unvermittelt einsetzende Erwärmung nach Sonnenaufgang durch die bald senkrecht am Hang auftreffende Strahlung und gegen 9 Uhr durch den warmen Hangaufwind. Mittags stiegen die Temperaturen nur gering. Am Nachmittag führte die Beschattung mit dem nun einsetzenden kühlen Hangabwind zu einem raschen Temperaturabfall.

III Die Registrierungen am Schachtrand

Während die Registrierungen am Höhlenrand ursprünglich nur zu dem Zweck vorgesehen waren, das Höhlenwetter unter Tage in Beziehung zu den Vorgängen in der Außenluft zu bringen, so ließ sich nun auch der Kaltluftfluß

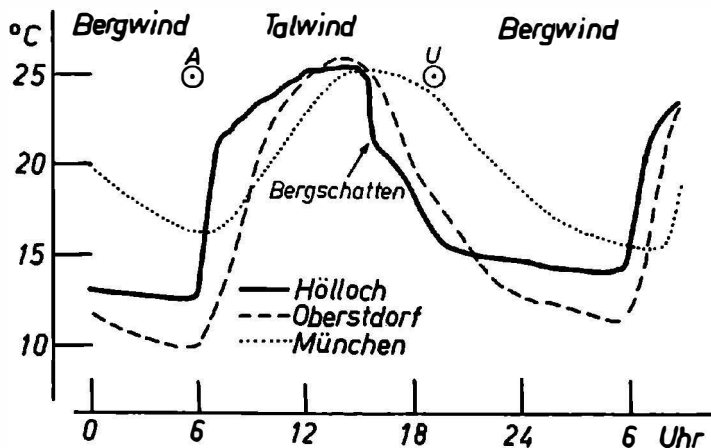


Abb. 2 Tagesgang der Lufttemperatur am Südhang vor der Graf-Küren-Alpe am 4. 9. 1949, verglichen mit dem Temperaturgang im Tal (Oberstdorf) und im Alpenvorland (München).

aus dem Schacht kontrollieren. In Abb. 3 sind die mittleren Tagesgänge der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und der Windgeschwindigkeit an den Meßstellen A, B und C (s. Abb. 1) gegenübergestellt.

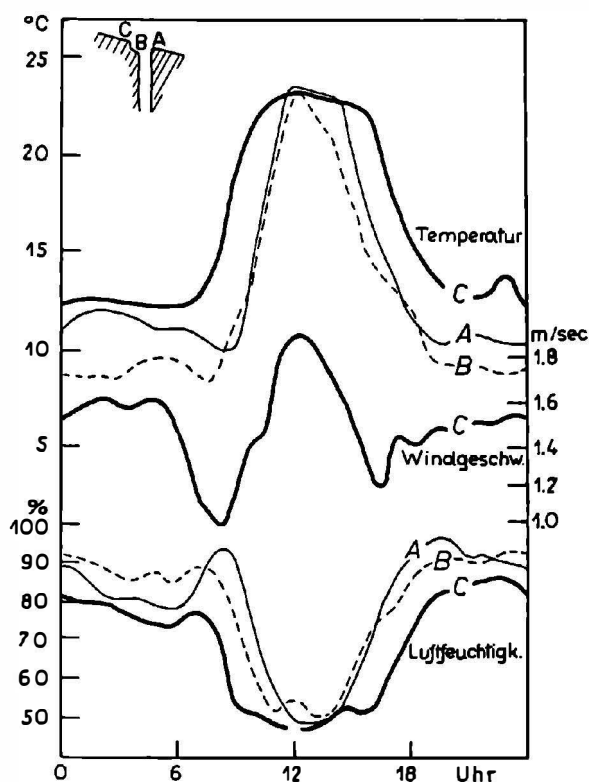


Abb. 3 Mittlerer Tagesgang (4. 9. bis 7. 9. 1949) der Lufttemperatur ($^{\circ}\text{C}$), der relativen Luftfeuchtigkeit (%) und der Windgeschwindigkeit (m/sec) am Schachtmund.

Der Vergleich zeigt, daß die Lufttemperatur am talseitigen Schachtrand (A), mit Ausnahme der Mittagszeit, wesentlich tiefer lag als an der Bergseite bei C. Mittags waren die Temperaturen an den drei Stellen fast gleich. Auch im Felsabsatz (B), der unter dem Ausflußniveau des Schachtes liegt, stieg die Lufttemperatur infolge intensiver Erwärmung des Gesteins auf die Höhe der Lufttemperatur bei C an. Diese Gesteinserwärmung im Schachtmund war an dem Dampfen des Wassergerinsels, das aus dem Höllbach kam und über den Fels sickerte, sichtbar gemacht.

Die Kurven der relativen Luftfeuchtigkeit stehen in Übereinstimmung mit dem Temperaturgang. Zwischen 9 und 10 Uhr vormittags war die Luft am unteren Schachtrand, bei A, um 40 bis 50 % feuchter als die Außenluft bei C. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die bei C gemessene Luftfeuchtigkeit wegen der in der Nähe vorbeisickernden Höllbachwasser und stehender Wasserlachen gegenüber der freien Luft schon etwas erhöht war.

Die Windgeschwindigkeit wies den für Schönwettertage bekannten Tagesgang der Gebirgswinde auf. Nach dem nächtlichen Bergwind trat 1 bis 2 Stunden nach Sonnenaufgang, manchmal auch erst zwischen 10 und 11 Uhr, eine relative Windruhe ein. Es ist dies die Zeit des Windwechsels vom Berg- zum Tal- oder Hang-Aufwind. Der Talwind verstärkte sich gegen Mittag bis auf ein Maximum von 2 m/sec. Oft schon am Spätnachmittag, aber noch kurz vor Sonnenuntergang, erlosch der Talwind und nach einer kurzen Pause begann erneut die kühle Luft des Bergwindes talwärts zu fließen. Da die Windstillen beim Wechsel vom Berg- zum Talwind und vom Tal- zum Bergwind nur $\frac{1}{2}$ bis 1 Stunde andauern und die Eintrittzeiten sich von Tag zu Tag ändern, so sind sie bei der stundenweisen Auswertung im mittleren Tagesgang nur mehr als windruhige Zeiten erkennbar.

Durch Berechnung der Unterschiede zwischen den Lufttemperaturen von C und A läßt sich die Tagesperiodik des Kaltluftflusses aus dem Höhlenschacht beurteilen. Abb. 4 zeigt, daß der Kaltluftstrom in den Vormittagsstunden

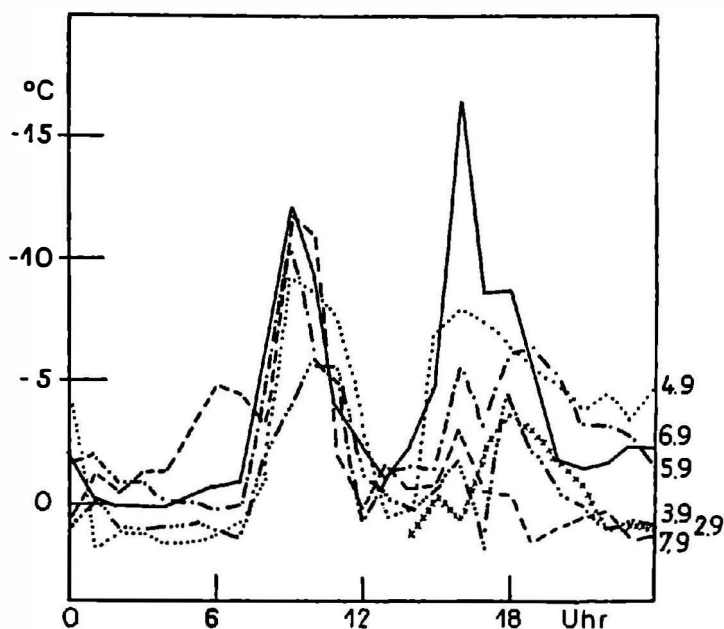


Abb. 4 Tagesgang der Temperaturunterschiede (2. bis 7. 9. 1949) zwischen der Außenluft bei C und der Höhlenkaltluft, die bei A aus dem Schacht floß.

zwischen 8 und 11 Uhr und in den Nachmittagsstunden am besten fühlbar war. In Einzelfällen betrug der Temperaturunterschied sogar bis zu 20° C! Nachts waren die Differenzen natürlich deswegen kleiner, weil zu dieser Zeit die Temperatur der Außenluft ebenfalls tief und nahe jener der Höhlenluft war.

Der Kaltluftaustritt vollzog sich meist ballenweise, wofür die in Abb. 5 wiedergegebenen Feuchtigkeitsregistrierungen vom 6. 9. 1949 zwischen 9 und 12 Uhr ein Beispiel geben sollen. Die Feinstruktur der Feuchtereistrierung bei A besagt, daß der Kaltluftfluß meist 10 bis 20 Sekunden, oft aber nur 3 bis 4 Sekunden voll wirksam und dann wieder abgeschwächt war. Am Dunst war gelegentlich die Aufwärtsbewegung der Kaltluft im ganzen Schachtquerschnitt zu erkennen.

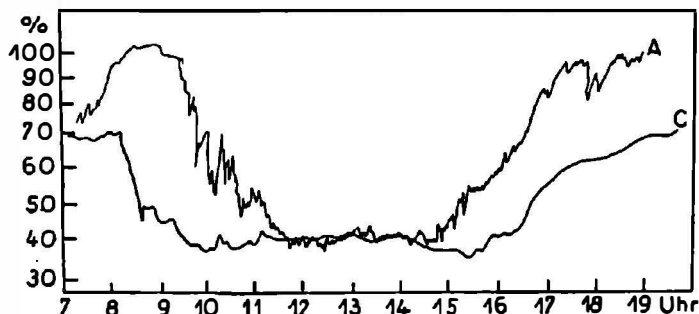


Abb. 5 Registrierung der relativen Luftfeuchtigkeit am 6. 9. 1949 in der Außenluft am bergseitigen Schachtrand (C) und in der Höhlenkaltluft am talseitigen Schachtrand (A).

Im Mittel, berechnet aus den Tagen vom 2. bis 7. 9. 1949, folgten die Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschiede (C—A) dem nachstehend angegebenen Tagesgang.

Tageszeit:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Uhr
T	0,5	0,2	0,0	0,2	0,1	0,6	0,6	4,0	11,8	8,0	4,7	1,0	° C
R	-6	-4	-3	-5	-2	-3	-9	-19	-38	-13	-11	-3	%
Tageszeit:	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Uhr
T	0,9	1,1	2,9	4,5	3,6	5,1	3,7	2,7	2,1	1,9	1,5	1,6	° C
R	-3	-2	-5	-15	-16	-13	-17	-15	-9	-8	-9	-8	%

Die Gegenüberstellung der mittleren Differenzen von Temperatur und Feuchte mit der Windgeschwindigkeit im Mahdtal in Abb. 6 erklärt, warum der Kaltluftfluß um die Mittagszeit nicht beobachtbar war. Die größten Temperatur- und Feuchteunterschiede traten nämlich zur Zeit der Windstillen zwischen den Wechseln von Tal- und Bergwind auf. Mittags war der Kaltluftfluß nur scheinbar erloschen. Der Talwind hatte seine größte Geschwindigkeit erreicht und griff turbulent in den Höhlenschacht ein, durchmischte die Luft und trieb sie über B hinweg an die erwärmte Nordwand des Schachtes. Sie verlor dabei die Merkmale der Höhlenluft, und am talwärtigen Höhlenrand setzte der Kaltluftstrom aus.

Die Geschwindigkeit der austretenden Kaltluft, die tagsüber dem Talwind entgegen und nachts mit dem Bergwind strömt, ließ sich mit dem Feinwindmesser ermitteln. Es ergab sich z. B. am 3. 9. 1949 um 10.15 Uhr in dem Kaltluftstrom am talseitigen Höhlenrand folgendes Windprofil (v):

Höhe über dem Boden	5	10	20	50	100	150	200	cm
v	10	15	22	35	47	54	52	cm/sec

Unmittelbar über dem Boden war die Strömungsgeschwindigkeit infolge Bremsung durch die Vegetation klein. In 150 cm Höhe über dem Boden fand sich ein Windmaximum, darüber wehte der Talaufwind.

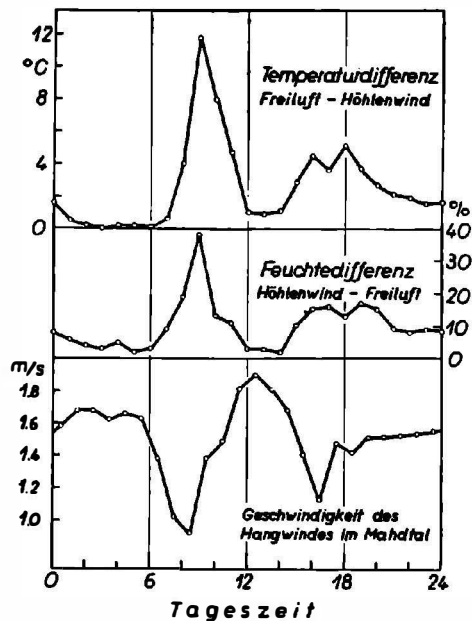


Abb. 6 Mittlere Tagesgänge (2. bis 7. 9. 1949) der Windgeschwindigkeit bei C und der Temperatur- und Feuchteunterschiede von Freiland und Höhlenluft.

Leider war es nicht möglich, die Reichweite des Höhlenwindes in der Umgebung des Schachtmundes messend zu verfolgen. Jedoch ließ sich erkennen, daß hiervon noch die Lichtung bis etwa 150 m unterhalb der Höhle betroffen werden kann.

D Die Messungen im Höhlenschacht

Wegen der schwierigen Befahrungsmöglichkeit war es versagt, innerhalb des Schachtes zu registrieren. Trotzdem gelang es, auch von dort genügend Meßwerte zu bekommen, die das Mikroklima des Höhlenschachtes kennzeichnen. Frei am Drahtseil des Grammingengerätes in der Schachtmitte hängend und über das Kehlkopfmikrophon mit der Seilmannschaft verbunden, wurden beim Einfahren durch stufenweises Anhalten Profile der Lufttemperatur und Feuchte sowie der Lichtverteilung durchgemessen.

I Die Lufttemperatur und Feuchte

Als Gerät zur Messung der Lufttemperatur diente das Aspirationspsychrometer. Dieses besteht aus zwei Thermometern, wovon über die Quecksilberkugel des einen ein feuchter Mullstrumpf gezogen ist. Beide Thermometer werden mittels eines Ventilators belüftet. Die Ablesung erfolgte im Lichte der Taschenlampe. Leider zerschlug ein nachfallender Stein am Ende der ersten Meßreihe eines der Thermometer, so daß die in Abb. 7 dargestellten Feuchteprofile im unteren Schachtteil nicht durch mehrere Meßreihen überprüft werden konnten.

Am Schachtmund wurde am 2. 9. 1949 zur Mittagszeit eine Lufttemperatur von 15,8° C gemessen. Im Schachttrichter nahm die Temperatur höhlenwärts

rasch ab und erreichte schon in rund 20 m Tiefe die Innentemperatur der in 1400 m Seehöhe liegenden Höhle von rund 5° C. Unter der Schachtstufe gab es eine geringe Temperaturzunahme.

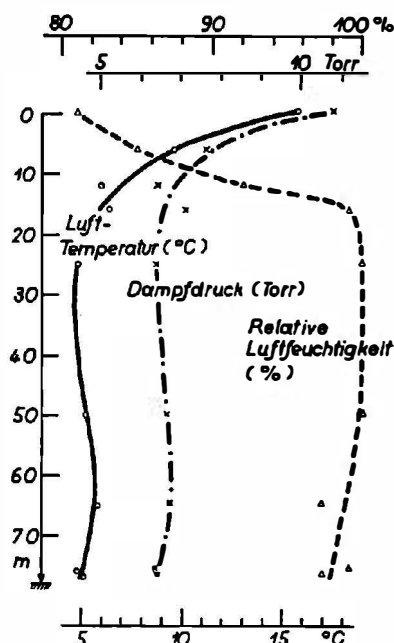


Abb. 7 Temperatur und Feuchte der Luft im Höllochschaft am 2. 9. 1949 mittags.

Die relative Luftfeuchtigkeit verläuft invers zur Lufttemperatur. Den hohen Temperaturen im Schachtmund entsprachen niedrige relative Luftfeuchten. Scharf tritt die Eingangsregion heraus. Sie umfaßte den oberen Schachtteil bis ca. 15 m Tiefe. In ihr nahm die Feuchte von 81 auf fast 100 % zu. Die auffällig hohe Feuchte von 99 bis 100 % im Schachtteil zwischen 20 bis 40 m Tiefe führte zwar nicht zu Nebel, sie war aber als Dunstschicht zu erkennen. In dieser Zone bildete sich beim Ausfahren an Kleidung und Stahlseil Beschlag, der dann oberhalb 15 m Tiefe lebhaft verdampfte. Unterhalb der Schachtstufe nahm die Luftfeuchte, wohl unter dem Einfluß des fließenden Wassers im Höhlenbach, auf etwa 97 % ab.

Der Dampfdruck folgte im wesentlichen dem Temperaturverlauf. 1 Torr (= 1 mm Quecksilbersäule) entspricht angenähert 1 g Wasserdampf je Kubikmeter Luft. Am Schachteingang enthielt ein Kubikmeter Luft bis zu 11 g, unterhalb der Eingangsregion jedoch nur ca. 6 g Wasser in Dampfform.

Prinzipiell ergibt sich aus allen drei Profilen eine klare Abgrenzung der Eingangsregion. Durch die Brüchigkeit des Gesteins in der Verwitterungszone bis 4 m Tiefe und durch die Besiedlung mit Pflanzen unterschied sie sich z. T. auch morphologisch von den übrigen Höhlenteilen. Die Zone der relativ niedrigen Temperatur und der hohen Luftfeuchte zwischen Eingangsregion und Schachtstufe bei — 48 m läßt sich im Sinne von G. Abel (1) als Kältesack bezeichnen. Das eigentliche Höhleninnere beginnt demnach unterhalb der Schachtstufe.

Zu verschiedenen Tageszeiten im oberen Schachtteil vorgenommene Temperaturmessungen belegten, daß die Grenze zwischen Eingangsregion und Kälte-

sack im Laufe des Tages wandert. Aus der Lage der Umbiegungsstellen der Temperaturkurven in Abb. 8 ist ersichtlich, daß die Grenze unter dem Einfluß des Luftaustausches mittags tiefer im Höhlenschacht lag als früh am Morgen.

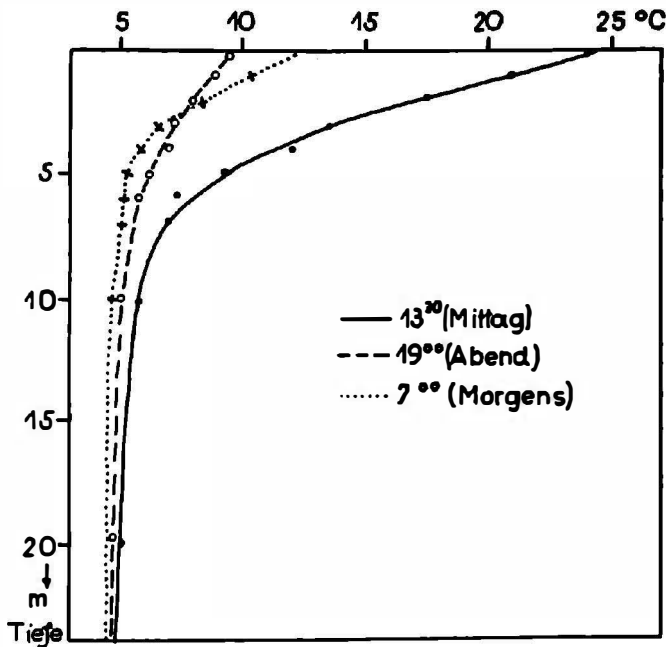


Abb. 8 Verlauf der Lufttemperatur im oberen Schachtteil zu verschiedenen Tageszeiten.

Die Abb. 8 gibt auch eine Übersicht über die Tagesschwankung der Lufttemperatur. Das Profil am Morgen gibt etwa das Profil zur Zeit des Temperaturminimums, das Profil am Mittag des Temperaturmaximums an. Die Differenz zwischen den beiden Kurven repräsentiert also die Tagesschwankung. Sie nahm mit zunehmendem Abstand vom Höhleneingang mit der Tiefe rasch ab. Am Schachtrand betrug das Temperaturmaximum 25° C, das Minimum 9° C, die Tagesschwankung 16° C. In 10 m Tiefe betrug die Tagesschwankung nur mehr 2 bis 3° C.

Die beträchtliche Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innenluft wird an folgenden zwei Beispielen klar: Zur Mittagszeit nahm die Temperatur der Luft für einen Ausfahrenden innerhalb einer Wegstrecke von 10 Metern um rund 20° C zu. Zur Überquerung des Sees in der Wasserfallhalle wurden ein prall aufgeblasenes Schlauchboot und luftgefüllte Autoschläuche nach unten geseilt. Sie kamen an der Schachtschale zusammengefallen an. Die Änderung der Luftdichte mit der Temperatur wurde hier drastisch demonstriert.

Die tageszeitliche Verschiebung der Zone, die als Eingangsregion betrachtet werden kann, wurde auf folgende Weise genauer untersucht. An einem dünnen Draht war ein strahlungsgeschütztes Minimumthermometer an den Enden so festgemacht, daß es fast waagrecht hing. Dann wurde der Draht über einen vorne gegabelten Stock geführt und das Thermometer nach Art eines Angelgerätes in die gewünschte Schachttiefe eingetaucht. Nach einer Anpassungszeit von etwa 2 bis 5 Minuten wurde das Thermometer hochgezogen, abgelesen, neu eingestellt und wieder in die Höhlenluft, aber in größere Schachttiefe, gebracht. Dieses Verfahren wurde an mehreren Tagen stündlich durchgeführt und so ergab

sich die in Abb. 9 durch Isothermen dargestellte Temperaturverteilung im Schachtmund. Sie unterrichtet über den Einfluß des Außenwindes auf die Durchmischung der Luft in der Eingangsregion des Schachtes. Aus der Figur läßt sich für jede Tageszeit ablesen, welche Temperaturen in den Tiefen bis 20 m geherrscht haben.

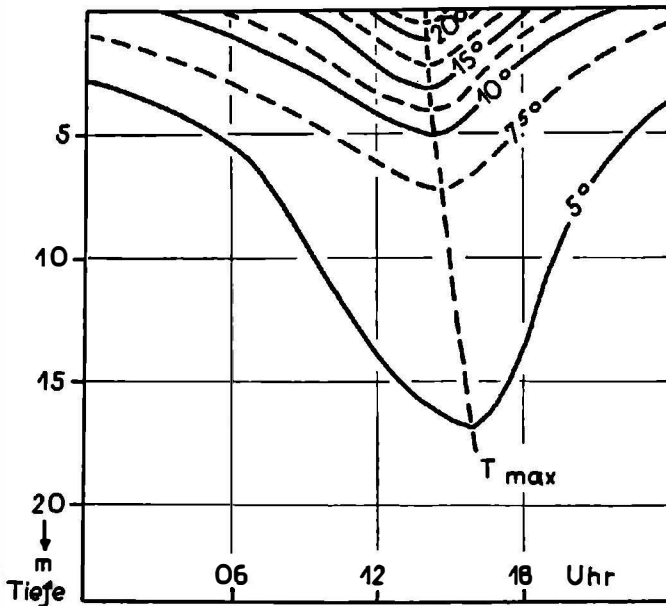


Abb. 9 Verteilung der Lufttemperatur in der Eingangsregion des Schachtes an einem Schönwettertag.

Das Ergebnis der in Abb. 9 verarbeiteten Meßreihen gibt weiteren Einblick in den Mechanismus des Kaltluftflusses aus dem Schacht. Aus dem Verlauf der 5°C-Isotherme ersieht man, daß die höhleneigene Kaltluft nachts den Schacht bis zum Rand ausfüllte und tagsüber von außen her die wärmere Außenluft in die Höhle vorstieß. Die Außenluft griff turbulent ein und durchmischte die Höhlenkaltluft. Die Durchmischungszone (Eingangsregion) war nachts auf wenige Meter beschränkt, tagsüber hingegen bis zu 15 m tief. Zur mittäglichen Durchmischung gesellte sich natürlich auch die Eigenerwärmung des Schachtmundes durch die eindringende und am Fels in Wärme umgesetzte Strahlung. Eigenerwärmung und turbulente Durchmischung lösten also zur Mittagszeit im oberen Schachtteil die Charakterzüge der Kaltluft auf. Durch die leicht gekrümmte, gestrichelte Linie in der Mitte der Abb. 9 ist darauf hingewiesen, daß das Vordringen des Temperaturmaximums sich mit der Tiefe verzögert.

II Die Verteilung des Lichtes

Mit den Temperatur- und Feuchtemessungen waren die bioklimatischen Verhältnisse des Höhlenschachtes schon weitgehend festgelegt. Der scharfe Abfall der Temperatur und die rasche Zunahme der Feuchte besagten, daß die Stufe: 10 bis 15 m Tiefe eine charakteristische Milieugrenze darstellt und darunter ein ausgesprochenes Höhlenklima herrschte. Diese Feststellung ist durch die Lichtmessungen im Höhlenschacht weiterhin gefestigt worden.

Die Lichtmessung erfolgte mit Selenzellen. Deren Wirkungsweise ist vom Belichtungsmesser her bekannt. Auftreffendes Licht erzeugt einen Photostrom,

der den Zeiger des Meßwerks bewegt. Die spektrale Empfindlichkeit ist im Bereich des sichtbaren Lichtes ziemlich homogen. Als Meßgerät wurde ein Lichtmarkengalvanometer großer Empfindlichkeit (10^{-8} A) verwendet). Das ganze Gerät war in einen Holzkasten eingebaut, der nach Art eines Bauchladens umhängbar war. Die Photoelemente lagen etwa 50 cm vom Körper entfernt so, daß das Außenlicht senkrecht einfiel. Obwohl beim Ein- und Ausfahren mit dem Stahlseilgerät beide Hände frei waren, ergaben sich wegen der Pendelung Schwierigkeiten, bis die Ruhelage des Lichtmarkengalvanometers erreicht wurde.

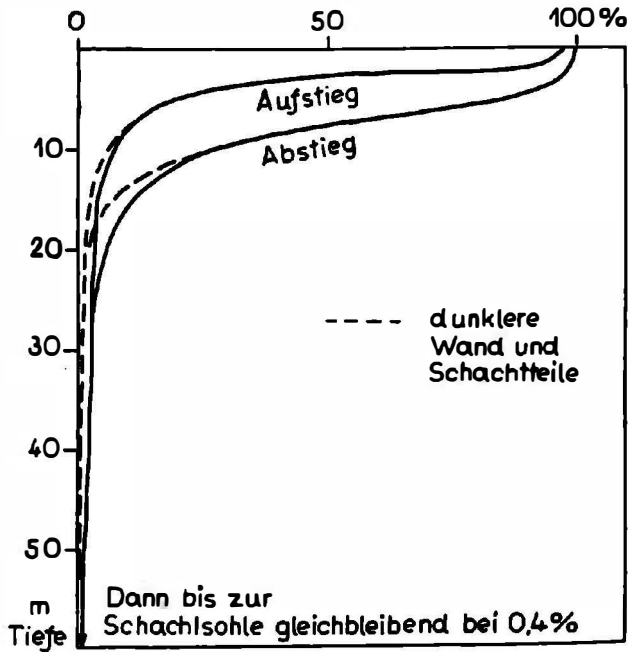


Abb. 10 Lichtverteilung im Höllochsacht bei heiterem (Abstieg) und trübem (Aufstieg) Himmel in % der maximalen Mittagshelligkeit (bei heiterem Himmel) am Schachtrand.

Die gemessenen Lichtprofile sind in Abb. 10 wiedergegeben. Eine Meßserie nahm etwa 1 Stunde in Anspruch. In dieser Zeit änderte sich am Meßtag, dem 3. 9. 1949, die Bewölkung. Das Profil beim Einfahren (Abstieg) gibt Werte bei völliger Besonnung des Schachtmundes, das Profil beim Aufstieg gilt für wolken bis bedeckten Himmel. Für die Lichtverteilung ist der Querschnitt des Schachtes und der Höhlenverlauf von großem Einfluß. Durch Wandausbuchtungen und Wülste hervorgerufen, schwankten die Meßwerte. Für die dargestellte Verteilung fanden jeweils die höchsten gemessenen Lichtwerte Verwendung.

Die Profile gleichen dem Verlaufe nach jenen der Temperatur und Feuchte (vgl. Abb. 7 und 8). Das Licht nahm in der Eingangsregion stark ab. Ab 10 m Tiefe ist das Tageslicht bereits auf den zehnten Teil zurückgegangen. Von dort ging es allmählich in das diffuse Streulicht über, bis schließlich an der Schachtsohle weniger als 0,4% der Freilandhelligkeit gemessen worden sind. Während man sich beim Einfahren nach der Schachtstufe in vollkommener Dunkelheit wähnt, kann man nach einer gewissen Anpassungszeit von der Schachtsohle aus die Umrisse der Höhlenwände im unteren Schachtteil gerade noch — ohne künstliche Beleuchtung — erkennen. In die seitlich von der Schachtsohle gelegenen Höhlenteile der Klamm dringt mit Sicherheit keine diffuse Strahlung mehr ein.

Für die biologischen Betrachtungen ist die Übereinstimmung der Profile von Temperatur, Feuchte und Licht wesentlich. Alle drei grenzen die Eingangsregion etwa in 15 m Tiefe nach unten hin ab. Bemerkenswert ist das Meßergebnis unmittelbar in dem Schachtrichter: Bis knapp unter dem Schachtmund nahm das Licht kaum ab. Der Schachtrichter hat also in hohem Maße Eigenschaften des Außenklimas. Für Zwecke der Pflanzenökologie ist aus Strahlungsgründen die Höhle einzuteilen in Schachtrichter, Eingangsregion, diffuse Übergangszone und dunkle Innenhöhle.

E Die Beobachtungen in der Höhlenklamm

I Die Temperatur der Luft, des Wassers und des Gesteins und die Verdunstung im Inneren der Höhle

Nach den Feststellungen am Höhleneingang und im Schacht durfte man annehmen, daß das Raumklima des Höhleninneren auf dem Wege über den Schacht nur wenig gestört wird; es sei denn, daß in Strahlungsnächten oder in kühleren Jahreszeiten Kaltluft unter 5°C einsickert oder bei Wassereinbrüchen fremdbürtige Einflüsse mitgebracht werden. Während des Untersuchungszeitraumes vom 1. bis 9. 9. 1949 lagen die Temperaturen der Außenluft höher als die Temperatur der Luft in der Höhle. Es war also an diesen Tagen nicht möglich, daß Außenluft bis auf die Schachtsohle durchkam.

Eine Bestätigung hierfür lieferten in der Zeit vom 2. zum 3. 9. 1949 die Registrierungen der Lufttemperatur und der Luftfeuchte an der Meßstelle D (s. Abb. 1). Die Geräte: 1 Thermograph und 1 Spezialhygrogroph mit Cellophanfolie als Meßelement, waren etwa 5 m unterhalb der Schachtsohle auf einem vorstehenden Sockel 3 m über dem Höhlenbach aufgestellt. Nach der Angleichung des Meßkörpers an die Temperatur der Höhlenluft schrieben die Zeiger bei $5,2^{\circ}\text{C}$ und bei 99 % gerade aus. Es waren nicht die geringsten kurzzeitigen aperiodischen oder tageszeitlich periodische Schwankungen feststellbar. Der meteorologische Zustand der Höhle war autochthon. Nach der Feststellung der Temperatur- und Feuchtekonstanz im Höhleninneren wurden die Geräte wieder nach oben gebracht und wie beschrieben am Schachtmund eingesetzt.

Die weiteren Untersuchungen in der Höhlenklamm waren Einzelmessungen. Die Lufttemperaturen in den verschiedensten Höhlenteilen schwankten gering. Sie blieben innerhalb der Grenzen $4,6$ und $5,4^{\circ}\text{C}$. Eine gewisse Aufwärmung der Höhlenluft durch die Flamme der Karbidlampen von den verschiedenen, jeweils in der Klamm befindlichen Untersuchungsteilnehmern, war nicht immer vermeidbar. Dieser Einfluß dürfte aber über wenige Zehntel Grad nicht hinausgegangen sein, da die Höhlenluft in Bewegung ist.

Die Fels- und Wassertemperaturen wurden durch Stichproben erfaßt. Von der Lufttemperatur wichen sie nur um einige Zehntel Grad ab. Im allgemeinen lagen die Gesteinstemperaturen (gemessene Werte zwischen $3,8$ bis $4,6^{\circ}\text{C}$) etwas unter der Wassertemperatur ($4,4$ bis $5,2^{\circ}\text{C}$), während die Lufttemperatur sich über der Wassertemperatur befand. Die Schwankungsbreite der Temperaturmeßwerte ergibt sich aus der höchsten gemessenen Lufttemperatur $5,4^{\circ}\text{C}$ minus der tiefsten gemessenen Gesteinstemperatur $3,8^{\circ}\text{C}$ zu $1,6^{\circ}\text{C}$. Den Ursachen der einzelnen Temperaturdifferenzen konnte bei der Kürze der Untersuchungszeit nicht nachgegangen werden. Die Beobachtung, daß die Wassertemperaturen bei niedrigem Wasserstand tiefer lag als bei höherem Wasserstand, weist auf eine stärkere Angleichung an die Gesteinstemperatur zu den Zeiten des langsamen Wasserdurchflusses hin. Nach dem Gewitterregen am 7. 9., in dem auch Hagel fiel, betrugen die Wassertemperaturen $2/10^{\circ}\text{C}$ weniger als die Gesteinstemperatur mit $4,6^{\circ}\text{C}$. Dies ist auf das eingedrungene Schmelzwasser des Hagels zurückzuführen.

Der Einfluß des eindringenden Niederschlagswasser auf die Luft- und Wassertemperaturen ließ sich 1950 gut beobachten. Vor einem Hochwasser, das etwa am 10. 9. die Höhle beherrschte, und nach dessen Abflauen hat R. Spöcker folgende Temperaturmessungen in der Höhle vorgenommen:

	9. 9. 1950	11. 9. 1950	Differenz
	vor Hochwasser	nach	
Wassertemperatur in der Seehalle	5,1	3,9	-1,2° C
Lufttemperatur an der Schachtschle	.	4,8	
am Eingang zur Seehalle	.	5,3	
am Eingang zur Natterkluff	5,0	4,6	-0,4° C
in der Natterkluff	4,8	4,4	-0,2° C
in der Trockenhalle	5,0	4,9	-0,1° C

Die Wassertemperatur hatte durch das Hochwasser um 1,2° C abgenommen, die Lufttemperatur dagegen nur um 0,2 bis 0,4° C. In der Trockenhöhle war die Temperaturänderung mit 0,1° C am geringsten.

Da die Lufttemperatur 1949 etwas über den Wasser- und den Gesteinstemperaturen lag, war der Fels meist fein mit Wasser beschlagen, aber nur selten mit Kondensationstropfen versehen. 1950 waren in der Windröhre und im Unterlauf häufig ganze Flächen der Decke mit Kondenswasser belegt. Die Psychrometerdifferenz (Temperatur des trockenen minus Temperatur des feuchtgehaltenen Thermometers) betrug 0 bis 3/10° C, d. h. die Luftfeuchtigkeit lag nahe an der Sättigung. Zur Nebelbildung dürfte es kaum kommen, da es in dem meist ganz abgeschlossenen, wasserdurchflossenen System geringe Temperaturdifferenzen zwischen Gestein, Luft und Wasser immer wieder geben wird.

Die Wasserverdunstung ist sehr gering. Über die Größenordnung unterrichtet eine energetische Überlegung. Bei den Temperaturunterschieden von 0,2 bis 0,5° C werden aus langwelligen Strahlungsströmen bis zu etwa 5 cal/cm² Tag und durch Wärmeübergang aus der Luft bei Sättigungsdefiziten von 1 bis 5 % rel. Feuchte etwa 0,5 bis 3 cal/cm² Tag als Verdunstungsenergie zugeführt. Die Wärmeleitung aus dem Fels dürfte unter diesen Beträgen bleiben. Demnach kann die tägliche Verdunstungshöhe 0,1 bis 0,2 mm wohl kaum überschreiten.

Kleine runde Kolke, die einen Meter oder mehr über dem gegenwärtigen Wasserspiegel des Höhlenbaches in Wandabsätzen der Klamm bei Meßpunkt 9 zu finden sind, waren im September 1949 noch mindestens drei Viertel voll Wasser. Der Kolkdurchmesser betrug etwa 20 cm, das Fassungsvermögen ca. 5 Liter. Wenn das Kolkwasser vom Frühjahr herrühren würde, so müßten täglich rund 0,3 mm verdunstet sein. Da dies aus energetischen Gründen unwahrscheinlich ist, so muß man annehmen, daß sie schon vor einem oder mehreren Jahren im Frühjahrshochwasser aufgefüllt worden sind.

Die hohe Luftfeuchtigkeit und die geringe Transpiration sind wohl auch dafür verantwortlich, daß für die Höhlenbefahrer kein Durstgefühl aufkommt.

II Der Luftstrom in der Klamm und im Schacht

Um weitere Anhaltspunkte über den Kaltluftfluß im Schacht zu gewinnen, wurde den Luftbewegungen in der Höhle besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Die Messungen der Windgeschwindigkeit an wesentlichen Höhlenquerschnitten erlaubten die quantitative Berechnung der transportierten Luftmenge. Sie klärten schließlich die Frage, was die Höhlenkaltluft veranlaßt, scheinbar entgegen den Gesetzen der Luftstatik im Schacht aufzusteigen und am Höhleneingang auszufließen. In dem Hitzdrahtmesser nach F. Albrecht stand ein geeignetes Meßgerät zur Verfügung, um geringe Windgeschwindigkeiten zu messen.

a) Höhlengang unterhalb der Schachtschle:

Die Aussondierung der Strömung im unteren Teil der Klamm ergab die in Abb. 11 eingetragene Windverteilung. In dem besonders engen Querschnitt (Trockengang) bei Meßpunkt 15 fehlte das Wasser, weil der Bach vorher im Geröll verschwand. In der Sekunde traten durch diesen Querschnitt etwa $1,5 \text{ m}^3$

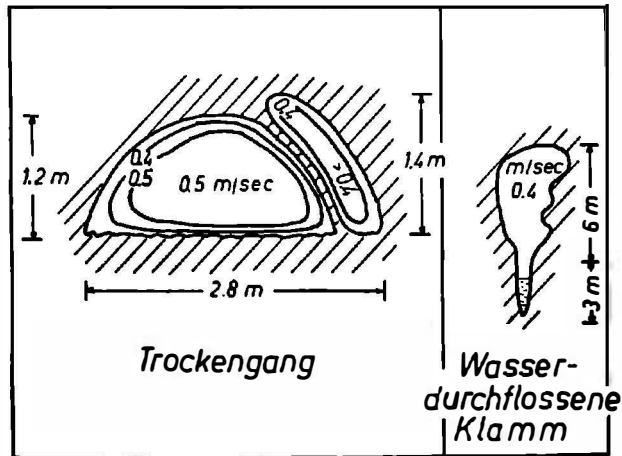


Abb. 11 Verteilung der Windgeschwindigkeit an zwei Querschnitten im Höhlengang unterhalb der Schachtsohle.

Luft. Das rechte Teilbild enthält einen Querschnitt in der wasserdurchflossenen Klamm. Als mittlere Geschwindigkeit wurden dort $0,4 \text{ m/sec}$ gemessen. Der Durchfluß betrug etwas weniger als $2 \text{ m}^3/\text{sec}$. Eine gewisse Mitführung von Luft durch das schnell fließende Wasser des eingegengten Höhlenbaches ist darin enthalten.

b) An der Schachtsohle:

An der Schachtsohle war die Windgeschwindigkeit infolge Ausweitung des Raumes wesentlich geringer als im engen Stollen. Sie betrug in 10 cm Höhe über dem Wasserspiegel des Baches $0,2 \text{ m/sec}$, in 20 bis 100 cm über dem Wasser $0,1 \text{ m/sec}$ und in 1,5 m Höhe etwa $0,2 \text{ m/sec}$. Aus der Beobachtung des Dunstes im Schacht ist auf eine Steiggeschwindigkeit der Luft im Schacht von ca. 5 bis 10 cm/sec zu schließen.

c) Höhlengang oberhalb der Schachtsohle:

Im oberen Höhlenteil gelang die Erforschung mit Hilfe des Floßes oder Schlauchbootes nur bis unterhalb des Wasserfalles. Unter dem Wasserfall betrug die Geschwindigkeit der mitgerissenen Luft etwa 2 m/sec . Die Masse der bewegten Luft läßt sich nicht abschätzen, weil der Querschnitt der sehr hohen Wasserfallhalle nicht auszusondieren war.

Das wichtigste Bindeglied für die Erklärung der Luftbewegungen lieferten die Messungen in den Windröhren, die in die Wasserfallhalle einmünden. Vor der Ausräumung des großen Windröhrenspaltes durch Bergführer Natter liefen Windmessungen an den Stellen, die in Abb. 12 angegeben sind. Die untere Windröhre, das ist der jetzige Zugang zur Trockenhöhle, befindet sich etwa 3 m über dem Wasserspiegel des Sees. Sie verengte sich zur Zeit der Messung so, daß man gerade noch den Kopf hineinstecken konnte. Von dort aus sah man über sich einen etwa 1 m breiten und in der Mitte 18 cm weiten Spalt, aus welchem die Luft so stark herabströmte, daß die Flamme der Karbidlampe ausgeblasen wurde. Von der Decke der Windröhre hingen Kondenswassertropfen, was darauf hinwies, daß das Gestein kälter als die Luft war.

Die Windmessung erfolgte mit dem Kontaktanemometer. An dieses war über Draht eine Taschenlampe angeschlossen, so daß außerhalb der Röhre die Zeit zwischen dem Aufleuchten der Lampe — also zwischen zwei Anemometerkon-

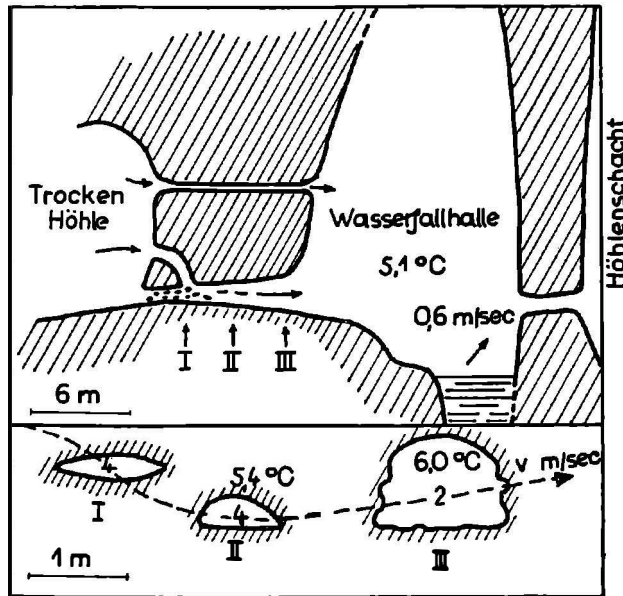


Abb. 12 Windgeschwindigkeit und Temperaturverteilung in der Windröhre zur Trockenhöhle vor der Ausräumung.

takten — gestoppt werden konnte. Ebenfalls wurden die Temperaturen gemessen. Die Windgeschwindigkeit von 4 m/sec (= 5 Beaufortgrade) ist sehr hoch. Der Durchfluß, berechnet aus den Werten der drei Querschnitte, beträgt sekundlich 3 bis 4 m³. In der oberen sekundären Windröhre von etwa 60 cm Durchmesser, die etwa 1 m seitlich der unteren Röhre und 5 m über dem See ebenfalls in die Wasserfallhalle mündet, betrug die Windgeschwindigkeit etwa 2,5 m/sec und der Durchfluß etwa 0,5 m³ Luft.

Insgesamt strömten somit im Höhlengang oberhalb der Schachtsohle mindestens 5 m³ Luft ein. Im Höhlengang unterhalb der Schachtsohle strömen aber nur 1 bis 2 m³ Luft talwärts weiter. Der Rest mußte also über den Schacht aus der Höhle entweichen.

Die Windführung in den Windröhren nimmt bei Zunahme der Wasserschüttung im Wasserfall zur Seehalle ab. Diesen interessanten Zusammenhang beobachtete R. Spöcker 1950. Er schrieb: „Der Wasserfall am oberen Höllochsee führte bei Hochwasser maximal etwa 0,5 m³ Wasser/sec. Bei derartigen Ergiebigkeiten in der Wasserführung läßt der Luftzug in der Windröhre ganz bedeutend nach. Man kann sagen, daß nahezu Windstille herrschte. Sobald die Wasserführung auf 100 bis 50 l/sec oder noch tiefer sinkt, nimmt der auswärts gerichtete Luftzug in der Windröhre rapid zu.“ Die Ursache dieser Variation der Windgeschwindigkeit kann einerseits darin liegen, daß bei Starkregen die vielen Spalten mit Wasser ausgefüllt werden und damit der Luftzugang zur Höhle unterbrochen wird. Andererseits müßte man annehmen, daß ein direkter Zusammenhang zwischen Trockengang und Wasserfallröhre besteht, welcher der Höllochforschung nützlich werden könnte.

III Witterung und Wasserführung im Höhlenbach

Bei dem Gewitter am 2. 9. drangen nur geringe Wassermengen in den Schacht ein, benetzten die Wände und erhöhten die Feuchtigkeit der Luft, so daß diese dampfartig den Schacht ausfüllte. Die Wasserführung des Höhlenbaches wurde nicht beeinträchtigt. Der Bach war an der Schachtsohle etwa 40 cm tief. Im Laufe der folgenden niederschlagsfreien Tage tropften die Schachtwände ab und die Bachtiefe ging bis auf 15 cm zurück.

Nach dem Unwetter am 7. 9. flossen die Niederschläge nachts einige Stunden über den Schacht in die Höhle ein. Bis zum nächsten Morgen stieg die Wassertiefe des Baches an der Schachtsohle wieder auf 30 bis 40 cm an. Die Wände waren sehr naß und über die Schachtstufe hinweg lief nur mehr ein schwaches Gerinsel auf den Kopf des Einfahrenden.

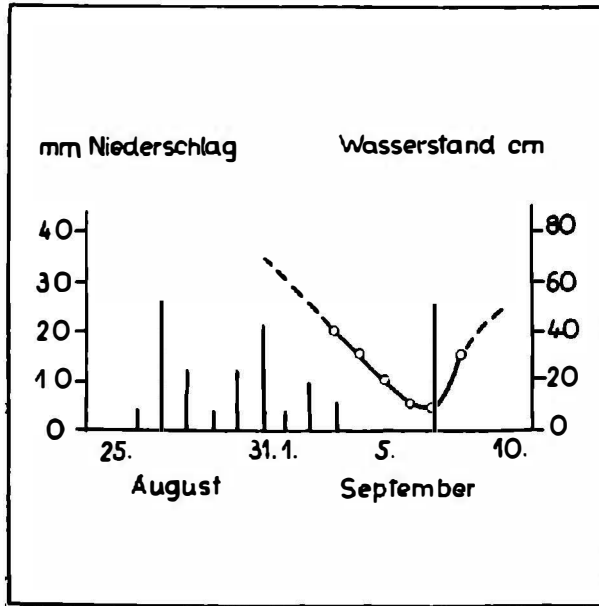


Abb. 13 Niederschlagsmengen und Wasserstand an der Schachtsohle.

In der Abb. 13 sind die Niederschlagsmengen am Höhleneingang mit den Wasserständen an der Schachtsohle in Beziehung gesetzt. Es zeigte sich, daß das Höhlenwasser vom oberirdischen Niederschlag z. T. direkt gespeist wird. Es handelt sich also beim Höhlenbach-Inhalt neben Speicherwasser um den laufenden Niederschlag.

Im Verlaufe des Stollens wechselte die Wasserführung des Höhlenbaches. An einer 1 m breiten Klammstelle wurden am 6. 9. eine mittlere Wassertiefe von 10 cm und eine Strömungsgeschwindigkeit von 1,5 m/sec gestoppt. Dies bedeutet eine Wasserführung von etwa 150 l/sec. An einer anderen Bachstelle ergab sich die doppelte Menge. Es sind oft mehrere Wasserläufe unter- und nebeneinander gelagert.

Abb. 13 gibt einen wichtigen Hinweis für spätere Befahrungen, die besonderen Erfolg in Trockenzeiten versprechen. Günstige Befahrungszeiten sind die Herbstmonate, zur Zeit des Altweibersommers Ende September, bzw. die Wintermonate. In dieser Zeit trifft man wenig Wasser an. Störungen der Befahrung durch Wassereinbrüche bei Platzregen scheiden fast aus. Im Winter dürften die Temperaturen wegen des Wasserdurchflusses noch über 0° C liegen. Die Früh-

jahrsmonate scheiden mehr oder weniger aus, da zur Zeit der Schneeschmelze und Schauerregen der Höhlenbach wahrscheinlich viel Wasser führt. Im Sommer ist das Gefahrenmoment durch die Starkregen erhöht. Die Frühjahrshochwasser dürften den wasserdurchflossenen Höhlenteil weitgehend ausfüllen und durchspülen. Für diese Ansicht spricht der Zustand des Gesteins. Es ist glatt und ohne Verwitterung, während es in der Trockenhöhle brüchig und schmierig ist.

Gar mancher unliebsame Zwischenfall infolge von plötzlichen unvorhergesehenen Wassereinbrüchen hätte sich in der Höhlenforschung vermeiden lassen, wenn man systematisch Material über den Gang der Wasserstände in Abhängigkeit von den Niederschlägen gesammelt und sich vor den Höhlenbefahrungen eine Beurteilung der Wetterlage verschafft hätte.

IV Sonstige Beobachtungen und Überlegungen

Bei einer kritischen Betrachtung der Erscheinungen in der Höhle bleibt es nicht aus, daß man sich auch über solche Beobachtungen Gedanken macht, die zwar nicht in das eigene Fachgebiet gehören, aber damit zusammenhängen.

An den Öffnungen der Windröhren und auch in ihnen fand sich feine lößartige Erde, die sich leicht wie Puder, aber schmierig anfühlte. Die Anlegestellen im Windschatten legen die Frage nahe, ob es sich um äolische oder um fluviatile Ablagerungen handelt. An den oberen Windröhren fanden sich Platten, die blätterteigartig geschichtet sind und aus dem feinen Belag mit Einschlüssen von rundem Kies bestanden. Die Schichtung weist auf periodisch oder aperiodisch un stetig wirksame Vorgänge hin.

Die Überlegung liegt nahe, ob für die Sinterbildung, seien es Tropf- oder Fließsinter, die Verdunstung des Wassers das Maßgebende ist, oder ob nicht molekulare Diffusionserscheinungen zwischen der Benetzungsfläche Wasser-Gestein ausschlaggebender sind. Meist gehen die Wasserbewegungen — Gleiten, Fließen und Fallen — viel zu schnell vor sich, um bei dem geringen Sättigungsdefizit über die Verdunstung zu Mineralstofflösung und Konzentration zu führen. Die Sinterbildung an Stellen, an denen ein geologischer oder hydrologischer Anlaß nicht erkennbar ist, z. B. die hauchdünnen Sinterbeläge an den Wandpartien, die dem Gestein die warme gelbliche Farbe geben, wäre dann leichter zu erklären.

Die ständige Strömung der nahezu gesättigten Höhlenluft kann wohl nicht ohne Einfluß auf die Formenbildung bleiben. So stehen die fingerartigen Formen der Tropfsinter an Wandkanten sicher im Zusammenhang mit dem Höhlenwind. Sie wachsen z. T. dem Winde entgegen. Im Luv großer Wandkehlen des Unterlaufes findet sich oft eine eigenartige muschelförmige Riffelung des Gesteins, die durch die dünenartige Struktur den Windeinfluß verrät. Möglicherweise handelt es sich aber auch um Lösungsnapfchen. Die „Banane“ über der Windröhre, der „Baldachin“ (s. Seite 47) in der Seehalle und der Flächensinter bzw. die Sinterstumpen an der Deckenleitlinie der Windröhre sind ohne Betrachtung der Windeinflüsse un motivierte Gebilde. Zum Beispiel wachsen die Finger des Baldachins dem Wind entgegen, d. h. auf die Windröhre zu. Die dem Winde entgegenwachsenden Sinter entstehen wohl dadurch, daß an den stärker belüfteten Stellen durch bevorzugten Wärmeübergang mehr Verdunstungsenergie zugeführt wird als im Windschatten. Als Analogiefall kann man den Vorgang der Reifbildung betrachten, deren Eiskristalle verstärkt an den luvseitigen Kanten von Hindernissen wachsen.

Gelegentliche Beobachtungen der Quellwassertemperaturen an der Windeck-Scharte, am Tor-Kopf und an der Gottesacker-Scharte ergaben, daß diese zum Teil unter der Temperatur des Höhlenbaches lagen. Da die Quellreservoirs wahrscheinlich auch den Höhlenbach speisen, dürfte der Durchfluß von den höheren Ortslagen bis zum Hölloch relativ langsam erfolgen, so daß eine Temperaturanpassung zustande kommt.

F Zusammenfassung und Folgerungen

Durch die meteorologischen Messungen in der kurzen Periode während der Höhlenbefahrung 1949 wurden die prinzipiellen Züge des Raumklimas (Strahlung, Temperatur, Feuchte, Wind, Verdunstung) im Schacht und im Verlauf der Klamme untersucht. Die Grundtemperatur der Höhle betrug im Herbst etwa 5°C , die Luft war nahezu mit Wasserdampf gesättigt. Die Höhlenluft war in ständiger Bewegung.

Die Beobachtungen am Höhleneingang zeigten, daß aus dem Schacht permanent Kaltluft aufstieg und am tiefstgelegenen Schachtrand aus der Höhle ausfloß. Durch quantitative Bestimmung des Luftdurchflusses an verschiedenen Stollenquerschnitten ließ sich nachweisen, daß im oberen Höhlenlauf aus dem Trockengang und der Wasserfallröhre je Sekunde mindestens 5 m^3 Luft antransportiert wurden, daß im unteren Höhlengänge jedoch nur 2 m^3 talwärts flossen und daß somit etwa $3\text{ m}^3/\text{sec}$ über den Schacht die Höhle verlassen mußten. Das Aussetzen des Kaltluftflusses in der Mittagszeit ließ sich als Folge der Durchmischung der Höhlenluft in der ca. 15 m tiefen Eingangsregion mit dem warmen Talaufwind und durch die Gesteinserwärmung am Schachtmund erklären.

Die im Schacht aufwärts steigende Kaltluft macht aus statischen Gründen die Annahme erforderlich, daß die Höhle sich bergwärts noch mindestens so weit fortsetzt, daß die höchstgelegenen in Verbindung stehenden und von Kaltluft ausgefüllten Räume den Schachtmund an Meereshöhe mindestens überragen. Aus dynamischen Gründen müssen die dort vorhandenen Hohlräume dem Inhalt nach dem Raume des Schachtes und der Wasserfallhalle mindestens entsprechen, damit genügend Energie für das Hinausdrücken der Kaltluft aus dem Schacht vorhanden ist. Ob es sich um zusammenhängend begehbare oder um zersplitterte, aber lose verbundene mehr oder minder senkrechte schmale Klüfte handelt, ist hierbei nicht entscheidend.

Der Kaltluftfluß am Höllochrand scheint also ein Teil eines stationären Strömungssystems zu sein, das etwa nach dem in Abb. 14 dargestellten Schema funktioniert. Die Verengungsstellen wirken als Windröhren. Die Wasserfallhalle

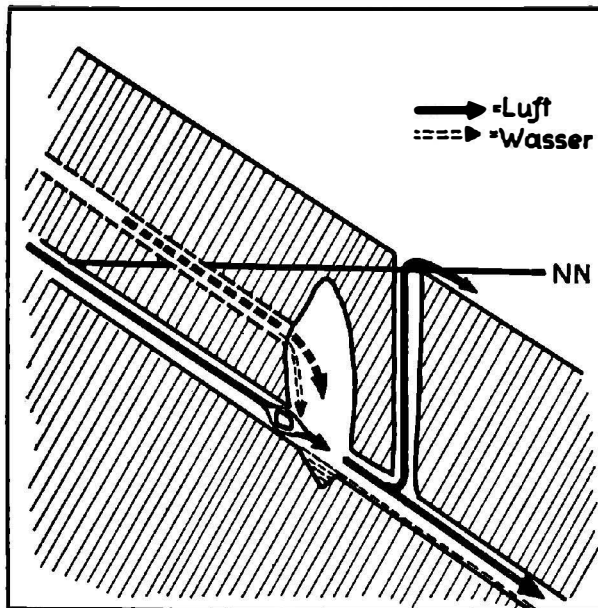


Abb. 14 Schematische Darstellung der Luftbewegung im Hölloch.

hat den Charakter einer Druckausgleichsflasche. In sie münden drei Luftzuflüsse und ein Luftausfluß. Wo die Höhle die Luft herbeizieht, die sie über dem Schacht abgibt, ist nicht zu übersehen. Es genügen dafür lose Verbindungen über die vielen verschütteten Dolinen, schmalen Spalten usw. Jedoch besagt das Fehlen der Tagestemperaturschwankung, daß diese Verbindung wahrscheinlich über viele Gesteinsfilter geht, so daß die Außenluft Zeit zur Angleichung an die Höhlentemperatur hat. Nach den statischen, dynamischen und hydrologischen Verhältnissen ist das Hölloch in die Gruppe der „gemischten Naßhöhlen“ einzuordnen.

Aus den Erkenntnissen ergeben sich verschiedene Folgerungen für die weitere Erforschung der Höhle.

1. Bei späteren Befahrungen sollte besonders auf die Luftströmungen geachtet werden. Sie führen bergwärts in Richtung zur Trockenhalle. Dort wäre zu prüfen, wo die Luft, die durch die Windröhren fließt, herkommt. Von besonderem Interesse ist der Zusammenhang zwischen der Wasserführung im Wasserfall zur Seehalle und dem Luftdurchfluß an der Windröhre.
2. Ein Vergleich der Lage von Höhlenräumen und Dolinen an der Oberfläche könnte zur Klärung des Luftnachscheses nützlich sein. Der Lufteintritt ist vor allem dort zu erwarten, wo nach Starkregen das Wasser bevorzugt versickert.
3. Die „meteorologische Sicherheit“ der Befahrung ist bei besserer Kenntnis des Zusammenhanges zwischen Niederschlagsmenge, Wasserführung des Höhlbaches, des Höhlenbaches und der Wasserschüttung im Wasserfall zu erhöhen.

Abschließend sei festgestellt, daß die meteorologischen Beobachtungen gezeigt haben, daß es lohnend sein kann, auch in meteorologisch scheinbar uninteressanten Höhlen zu messen. In jeder Höhle stecken eine Fülle von mikroklimatologischen Problemen. Durch methodisch richtige Meßweise ist es möglich, viele dieser Probleme selbst in kurzer Zeit zu lösen. Ja, die vorgegebenen Randbedingungen erlauben es sogar, die Höhlen gewissermaßen als Experimentierfelder für gewisse Fragen zu betrachten.

G Literatur

1. Abel, G.: Temperature et formation de glace dans les grottes du Salzbouurg (Autriche). — 1. Congr. Int. de Speläologie. Bd. II, Section 2, Paris 1953.
2. Battle, W. R. B. & Lewis, W. V.: Temperature observations in Bergschrunds and their relationships to cirque Erosion. — The Journ. of Geology, 59, 537—545 (1951).
3. Book, H.: Mathematisch physikalische Untersuchungen der Eishöhlen und Windröhren. — In: „Höhlen im Dachstein“, Sammelwerk. Graz 1913.
4. Brooks, C. E. P. & Evans, G. I.: Annotated Bibliography on the Climates of Enclosed Spaces (Crypto climates). — Meteorol. Abstracts and Bibliography, 7, 211—264 (1956).
5. Buxton, P. A.: Climate in caves and similar places in Palestine. — Journ. of Animal Ecology, 1, 152—159 (1932).
6. Candolle, A. de: Geographie botanique. Paris 1855.
7. Carol, H.: Strudelloch im Gletscher. — Alpen 1954; s. a. Mitt. d. Geogr. Ethnogr. Ges. Zürich, 42, 134—135.
8. Crammer, H.: Eishöhlen und Windröhren Studien. — Abh. d. geogr. Ges. Wien, 1 (1899).
9. Crestani, G. & Anelli, G.: Ricerche di Meteorologia Ipogea Nelle Grotte di Postumia. — Ufficio Hydrografico, publ. Nr. 143, Rom 1939.
10. Czoernig-Czernhausen, W.: Die Eishöhlen des Landes Salzburg und seiner bayerischen Grenzgebirge. — Mitt. d. Geogr. Ges. f. Salzburger Landeskunde, 64 (1924).
11. Dudich, E.: Biologie der Aggteleker Tropfsteinhöhle „Baradla“ in Ungarn. — Speläograph. Monogr., 13, Wien 1932.
12. Feruglio, E. & G.: Il Bus de la Lûm. — Le Grotte d'Italia, 2 (1929).
— A. proposta di altimetria Barometria nelle Voragini. — Le Grotte d'Italia, 6, 190—192 (1932).

13. Fugger, E.: Eishöhlen und Windröhren. — 24. bis 26. Jahresbericht der Oberrealschule Salzburg 1891, 92, 93.
— Beobachtungen in den Eishöhlen des Untersberges bei Salzburg. — Mitt. d. Ges. f. Salzburger Landeskunde, 28 (1888).
14. Geiger, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 4. Aufl. Braunschweig 1961.
15. Gressel, W.: Meteorologische Beobachtungen und Temperaturmessungen in den Ötscherhöhlen. — Wetter und Leben, 1, 336—338 (1949).
— Meteorologische Beobachtungen in der „Kreidelucke“ im Toten Gebirge. — Wetter und Leben, 2, 72—73 u. 169—170 (1949).
— Zur Bewetterung alpiner Höhlen. — Ber. deutsch. Wetterdienst., 8, Nr. 54, S. 216—217 (1959) und Meteorolog. Rdsch., 11, S. 54—57 (1958).
16. Handl, L.: Von der Marmolata-Front. — II. Ztschr. d. D. u. OeAV., 48, 149—161 (1917).
17. Hauser, E. & Oedl, R.: Die Eisriesenwelt im Tennengebirge (Salzburg). — Speläolog. Monogr. VI, 77—105, Wien 1926; s. a. Speläolog. Jahrb., 4, 17—47 (1923).
— Eishöhlen, die Erklärung dieser eigenartigen Naturerscheinung nach den neuesten Forschungsergebnissen. — Kosmos 1922 (Heft 6).
— Eishöhlen, ein Beitrag zu ihrer physikalisch-meteorologischen Erklärung. — Die Naturwiss., 9, 720—725 (1921).
— Bericht über die Eisverhältnisse der Höhlen im Tennengebirge. — Akad. d. Wiss. Wien, math. nat. Kl. 1921.
18. Heß, H.: Leo Handls Temperaturmessungen des Eises und der Luft in den Stollen des Marmolata-Gletschers und denen des Ortler-Gebietes 1917—1918. — Ztschr. f. Gletscherkunde, 27, 168—171 (1921).
19. Hell, M.: Die kalten Winter von Kaltenhausen bei Hallein in Salzburg und das Windröhrensystem. — Speläolog. Jahrb. 15/17, 49—57 (1934/36) und Forschungen u. Fortschritte, 10, 336 (1934).
20. Jülg, H., Sorge, E., Wegener, K.: Die glaziologischen Beobachtungen an der Weststation. Glaziologische Untersuchungen in Eismitte, die Temperatur des Eises. — Wiss. Ergebnisse d. Dt. Grönland-Exped. Alfred Wegeners 1929 u. 1930/31. 3. u. 7. Bd. Leipzig 1940.
21. Keller, F.: Wetterlöcher und Windhöhlen. — Neujaarsbl. Nat.-forsch. Ges. Zürich auf das Jahr 1838.
22. Klebelsberg, R. von: Glaziologische Erfahrungen aus Gletscherstollen. — Ztschr. f. Gletscherkunde, 11, 156—184 (1920).
23. Kyrle, G.: Grundriß der theoretischen Speläologie. — Speläogr. Monogr. Bd. 1, Wien 1923.
24. Lawrence, E. N.: The microclimatology of caves. — Weather, 10, 152—155 (1955).
25. Lehmann, O.: Die große Eishöhle im Tennengebirge. — Speläol. Jahrb., 3, 51—121 (1922).
26. Marchetti, M.: La "Vestricia" e l'Abisso Enrico Revel nelle Alpi Apuane. — Le Grotte d'Italia, 5, 145—154 (1931).
— La Tana di Urba. — Le Grotte d'Italia, 6, 1—11 (1932).
— Grotte della Alpi Apuane. — Le Grotte d'Italia, 5, 119 (1932).
27. Morton, F.: Das Klima der alpinen Höhlen und deren Pflanzenwelt. — Verh. d. klimatolog. Tagung in Davos 1925 (1—3).
— Pflanzen und Höhlenklima. — Wetter und Leben, 1, 105—108 (1948).
28. Mrose, H.: Eine seltsame Höhlenvereisung. — Ztschr. f. angewandte Meteorologie, 56, 350 bis 353 (1939).
29. Oedl, R.: Über Höhlenmeteorologie mit besonderer Rücksicht auf die Große Eishöhle im Tennengebirge (Eisriesenwelt). — Meteorolog. Ztschr., 40, 33—37 (1923).
30. Penk, A.: Die Temperaturverhältnisse der Grotte von St. Canzian bei Triest. — Meteorolog. Ztschr., 24, 161—164 (1889).
31. Pfaff, W.: Windlöcher im Überetsch. — Schlern-Schriften, Heft 24. Innsbruck 1933.
32. Pollis: Meteorologia ipogea nelle grotte giganti presso Trieste. — Publ. Istr. Tassalog. Nr. 300, Triest 1953. Ref.: Alpi Giulie, Trieste, 52, 22—32 (1953).
33. Roschkott, A.: Über Temperaturverhältnisse in Höhlen. — Meteorolog. Ztschr., 38, 33 bis 38 (1921).
34. Saar, R. von: Eishöhlen und Höhleneis. — Speläolog. Jahrb. 5/6, 141—142 (1925).
— Meteorolog.-Physik. Beobachtungen in der Dachsteinrieseneishöhle, Oberösterreich. — Wetter und Leben, 7, 87, 213—219 u. 263 (1955).
— Eishöhlen ein meteorolog.-geophysik. Problem. — Geogr. Ann., 38, 1—63 (1956).
35. Streiff-Becker, R.: Windlöcher. — Die Alpen, 18, 207—210 (1942).
36. Steiner, L.: Die Temperaturverhältnisse in der Eishöhle von Dobsina. — Meteorolog. Ztschr., 39, 193—199 (1922).
37. Triloff, E. G.: Eine Überwinterung auf Nordost-Grönland. Erfahrungen über das Leben im Packeis und in Gletscherhöhlen. — I. Polarforschung, 2, 85—88 (1946), II. ebd., 2, 150—154 (1947).
38. Trimmel, H.: Temperaturbedingtes Massensterben von Fledermäusen in Höhlen. — Wetter und Leben, 2, 13—16 (1949).

39. Vercelli, F.: Il Regime Termico nelle grotte de San Canciano. — *Le Grotte d'Italia*, **5**, 49—62 (1931).
40. Wolf, K.: Über die Luftbewegung in Höhlen. — *Speläolog. Jahrb.* 10/12, 91—97 (1929/31).
41. Berenyi, D. u. Justyak, J.: Mikroklimatische Beobachtungen in der Tropfsteinhöhle bei Aggtelek. — *Wiss. Mitt. Meteorolog. Inst. Univ. Debrecen (Ungarn)*, Nr. 17, 1960.
42. Skrivánek, F.: Karst und Karsthöhlen der Tschechoslowakei und ihre Untersuchung. — *Zschr. Die Höhle*, **2**, 17—22, Wien 1960.

Bei der Redaktion eingegangen am 5. Februar 1958.

CHEMISCHE WASSERUNTERSUCHUNGEN IM HÖLLOCH-BEREICH

Von G. Lukas¹

Die chemischen Untersuchungen während der Hölloch-Kundfahrt 1949 an den Gewässern des Hölloches sollten in erster Linie Material zur Klärung der Frage nach der Entstehung des Höhlensystems liefern. Insbesondere interessierte es, ob Erosion oder Korrosion für die Ausräumung solcher Hohlräume die ausschlaggebende Rolle spielt. Doch dürften die Ergebnisse auch für biologische Fragen von Wert sein.

Das Hölloch liegt in einer ungefähr 100 m mächtigen Schichtserie von Schrattenkalk etwa folgender Zusammensetzung²:

Calciumkarbonat	98,0%
Magnesiumkarbonat	1,0%
Siliciumdioxid	0,8%
Aluminiumoxyd plus Eisen(III)oxyd . . .	0,2%

Es handelt sich also um ein basisches Gestein. Zur Prüfung der Frage, ob chemische Ursachen, also Korrosion, bei der Ausräumung dieses Höhlensystems entscheidend mit beteiligt gewesen sind, beschränkten sich die Untersuchungen speziell auf die Probleme der Kalklösung. Als Agens kommt vor allem die im Regenwasser gelöste Kohlensäure in Betracht, in weit geringerem Maße andere Säuren (organische Säuren). Es wurde deshalb anfänglich großer Wert auf die Messung der H-Ionen-Konzentration gelegt, doch stellte sich bald heraus, daß weder an den verschiedenen Stellen des Höhlenbachlaufes noch an den Kolken und an den Tropfstellen wesentliche Unterschiede zu verzeichnen waren. Der p^H -Wert betrug im Bach gleichmäßig 5,9, ebenso im Kolk, an der Sägebachquelle 6,0. Das entspricht dem p^H -Wert von abgekochtem Wasser, der mit 5,8 bis 6,0 angegeben wird. Über den p^H -Wert des Regenwassers liegen für das Gebiet keine Angaben vor, doch wären solche Messungen zur Beantwortung der oben gestellten Frage sicher wertvoll.

Alle unterirdischen Wässer waren klar und von einem faden, leeren Geschmack. Die Temperatur betrug gleichmäßig 4,4° C (s. Seite 75). Bei der qualitativen Analyse war weiter allen Proben gemeinsam die Abwesenheit von Chlorid und Sulfat, Silikat wurde in Spuren nachgewiesen.

Im einzelnen wurden untersucht

I Oberhalb der Höhle:

1. Schuttquelle „Im Mahd“ (Quelle 3); s. Seite 20, Nr. 3 auf Abb. 5; ferner Seite 107.
2. Quelle unterhalb der Windeck-Scharte (Quelle 4).
3. Brunnen an der Mahdtal-Alpe (= Quelle 3, gefaßt).

II In der Höhle:

1. Das Wasser des Höhlenbaches.
2. Das Wasser einer Tropfstelle.
3. Das Wasser eines Kolkes (oberhalb Polygon-Punkt 7).

III Unterhalb der Höhle:

Die Sägebachquelle (Austritt des Höhlenbaches).

¹ Graz, Krottendorferstr. 74.

² Aus: Wagner, G.: Rund um Hochifen und Gottesackergebiet. Öhringen 1950, S. 79.

Für das Ziel der Untersuchungen genügte es, jeweils einige charakteristische „Leitwerte“ zu bestimmen. Als solche wählte ich den Abdampfdruckstand (zur Erfassung aller gelösten Stoffe) und den Eisengehalt. In den Höhlengewässern wurde außerdem noch der Gehalt an freier Kohlensäure und Sauerstoff bestimmt. Die Ergebnisse waren:

	Quelle 3	Quelle 4	Quelle 3 (gefaßt)
Abdampfdruckstand:	—	121,8	102,0
Härte:	5,0	4,0	3,4
Eisen (III):	0,05	0,18	(0,57)

I Quellen oberhalb der Höhle

Im großen und ganzen zeigt sich hier kein anderes Bild als beim Höhlenbach selbst, der vermutlich aus diesen Quellen mitgespeist wird. Chlorid ist abwesend; nur bei Quelle 3 konnte Sulfat in Spuren nachgewiesen werden (mit BaCl_2 Trübung nach 6 Minuten). Diese Quellen treten zwar in einer anderen Schicht (Brisisandstein) zutage, kommen aber vermutlich aus dem Schrattenkalk der Gottesacker-Wände, bzw. dem Schrattenkalk-Schutt darunter. Daher stammt der, wenn auch geringe, Calciumgehalt. Der hohe Eisenwert der Quelle 3 ist zum Vergleich unbrauchbar, da sich offenbar die Eisenteile der Quellsfassung und der Wasserleitung auswirken.

II In der Höhle

	Bach	Tropfstelle	Kolk
Freie Kohlensäure:	10,22	8,33	11,31 mg/l
Sauerstoff:	14,64	12,80	10,92 mg/l
Abdampfdruckstand	109,40	104,20	186,80 mg/l
Härte:	4,8	3,9	7,3 DH
Eisen (III):	0,12	0,20	0,28 mg/l

Man sieht deutlich das Ansteigen des Gehaltes an gelösten Stoffen bei längerer Einwirkung des Wassers auf das Gestein. Umgekehrt geht, wie zu erwarten, der Gehalt an Sauerstoff in stehendem Wasser zurück. Auf den ersten Blick auffallend ist der gegenüber dem Wasser des Baches geringere Gehalt des Tropfwassers an gelösten Stoffen. Hier könnte man erwarten, daß das von der Oberfläche einsickernde Wasser durch die innige Berührung mit einer großen Gesteinsoberfläche genügend Gelegenheit zur Sättigung hätte. Daß dies nicht so ist, kann m. E. nur dadurch erklärt werden, daß es sich um ein Durchlaufen auf feinen Klüften handelt und die immerhin doch recht dicke Höhlendecke in verhältnismäßig sehr kurzer Zeit passiert wird.

Vor allem ist bei den untersuchten Proben die niedrige Härte auffallend. Wenn man als Vergleich etwa das Münchener Leitungswasser mit 14 bis 15 DH oder gar das Würzburger Leitungswasser mit ca. 42 DH heranzieht, so ist selbst das Wasser in dem Kolk als sehr weich zu bezeichnen; mit anderen Worten: die Menge an gelöstem Calcium und Magnesium (berechnet als Calciumoxyd) ist außerordentlich gering. Wenn man aber berücksichtigt, daß ein Härtegrad einer Menge von 10 mg CaO oder 17,8 mg/l Calciumkarbonat entspricht, und daß auch in Trockenzeiten die Höhle an der Stelle der Probenentnahme von einer Wassermenge von rund 150 l/sec durchflossen (s. Seite 37 u. Seite 79) wird, der Bach also pro Sekunde 2,67 Gramm Calciumkarbonat gelöst mit sich trägt, so wird doch klar, daß im Laufe der Zeit recht große Mengen des Gesteins herausgelöst und wegtransportiert werden. Allerdings muß berücksichtigt werden, daß die Härte-Werte der Quellwässer bereits oberhalb des Hölloches den Härte-Werten des Höhlenbaches annähernd gleich sind, daß also das in Lösung gegangene CaCO_3 nur z. T. aus dem Höhlenbereich selbst stammt.

III Unterhalb der Höhle: Sägebachquelle

	Sägebachquelle	
Abdampfdruckstand:	116,8	mg/l
Härte:	5,4	DH
Eisen (III):	0,1	mg/l

Härte und Eisengehalt sind weiter angestiegen, wie es dem langen Verbleib des Wassers in den unteren Teilen der Höhle entspricht. Bei der Kalklösung ist zu berücksichtigen, daß die Aggressivität des Wassers abgenommen hat: dieses nähert sich nicht in linearer, sondern in asymptotischer Kurve dem Zustand der Sättigung. — Die Zusammengehörigkeit von Höhlenbach und Sägebach ist von Spöcker durch Färbeversuche festgestellt worden, worüber an anderer Stelle (Seite 51/52) berichtet wird.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

Das Höllochwasser erschien als chemisches Untersuchungsobjekt insofern geeignet, als es sich um eine noch aktive Wasserhöhle handelt und daher noch ein laufender Umbau des Höhlensystems stattfindet.

Die für die heutige Umgestaltung der Höhle maßgebenden Wässer des Mahdtals sind für ein Kalkgebirge sehr arm an gelöstem Erdalkali, jedoch scheinen in der Tat die Härte-Werte von den höchstgelegenen Quellen oberhalb der Höhle bis zur Sägebachquelle an ihrem Unterende etwas zuzunehmen. Es ist darauf hingewiesen worden, daß unter Berücksichtigung der ständig durch die Höhle fließenden großen Wassermengen die chemische Lösung groß genug ist, um bei der Erweiterung des Höhlensystems eine entscheidende Rolle mitzuspielen. Ob diese Verhältnisse zur Zeit der Anfänge der Höhle schon genau so waren, kann hier nicht festgestellt werden. Erosion und Korrosion, die gestaltenden Faktoren bei der Ausräumung einer Höhle, dürften am Hölloch wohl zusammenwirken, wobei je nach Klima und Gestein ein wechselndes Zusammenspiel derselben angenommen werden kann.

Zu endgültigen Folgerungen reichen die wenigen, bisher untersuchten Wasserproben bei weitem nicht aus. Durch Serienuntersuchungen während der verschiedenen Jahreszeiten müßten die gewonnenen Ergebnisse noch unterbaut werden. Erst dann ließe sich eine exakte Aussage über die bisherigen, nur wahrscheinlich gemachten Unterschiede in den Härte-Werten der Wasserproben machen.

Bei der Redaktion eingegangen am 1. Oktober 1955.

DIE FAUNA DER SUBTERRANEN RÄUME DES HÖLLOCH-BEREICHES

Von H. E. Wichmann¹ und H. Freude²

I N H A L T

	Seite
A Einführung	89
B Die Untersuchungen 1949 und 1957, ihre Methodik und die hydrologischen Verhältnisse oberhalb des Höllochs	90
C Die Fauna des Höllochs und ihr Lebensraum (H. E. Wichmann)	92
I Vermes	92
II Mollusca	93
III Crustacea	93
IV Insecta	95
V Arachnoidea	97
VI Mammalia	98
D Die Fauna der Klufthöhle bei der Mahdtal-Alpe	98
E Zusammenfassung (Subterranafauna)	99
F Beitrag zur Kenntnis der Fauna der weiteren Hölloch-Umgebung (H. Freude)	100
G Literatur	102

A Einführung

Die Entdeckung eines hochspezialisierten Höhlenkäfers, *Arctaphaenops maculipennis* Meixner aus der Familie der Laufkäfer, 1924 im Dachsteinmassiv (Meixner 1925, Wichmann 1926), schien die gerade zur Geltung gelangten Anschauungen über die Verbreitung und Arealgeschichte von echten Höhlentieren im mitteleuropäischen Raum zu erschüttern.

Gerade durch die Tätigkeit der Coleopterologen war aus den Höhlengebieten Südeuropas (Balkanhalbinsel, Frankreich, Spanien) eine Unzahl merkwürdiger Käferarten bekannt geworden. Von ihnen konnte mit Bestimmtheit ausgesagt werden, daß ihr Wohnbereich sich auf die Höhlen und die anschließenden, dem Menschen nicht zugänglichen Gesteinsspalten beschränke. Augenlosigkeit, im Vergleiche zu ihren oberirdischen Verwandten oft ungemein verlängerte Fühler und Beine, äußerst lange Sinnesborsten mußten offensichtlich mit dem Leben in den lichtlosen weiten Räumen in Verbindung stehen, ebenso wie ihre geringe Pigmentierung, die über ein mehr oder minder helles Gelb oder Braun nicht hinausging.

Aus den Nordalpen kannte man solche Arten noch nicht. Waren sie hier, wie dieser Fund zeigte, bloß noch nicht entdeckt worden?

In mühsamer, kritischer Einzelarbeit gewonnen, hatte Holdhaus die Erkenntnis herausgestellt, daß nördlich von einer, Europa in west-östlicher Richtung durchquerenden Linie keine echten Höhlenkäfer vorkommen können, die ja die zunächst auffallendsten Vertreter einer echten Höhlenfauna sind. Seine spätere, reife Bearbeitung dieser Fragen ist 1954 erschienen. In dieser merkwürdigen, in der Hauptsache dem Südrande des Alpenzuges folgenden, und im Osten durch Save und Drau gegebenen Linie ist im Alpenraum nach Süden hin ein Gebiet weitgehender Vernichtung von Tieren geringer Wanderfähigkeit

¹ Anschrift des 1. Verfassers: Hebertshausen Nr. 38, Post Dachau bei München.

² Anschrift des 2. Verfassers: Zoologische Staatssammlung, München 19, Menzingerstraße 67.

begrenzt. Die eiszeitlich absinkende Temperatur, die vermehrten Niederschläge, die gewaltigen, weit sich in die Tiefe vorschiebbenden Gletscher, die ausgedehnten Schnee- und Eisfelder zwangen Pflanzen und Tiere, vor den neuen, aus der Höhe herabsteigenden Klimastufen zurückzuweichen. Was unbefähigt war auszuweichen, kam um, starb aus.

Diesem Schicksal mußten gerade die echten Höhlenkäfer erliegen, deren vorheriges Dasein nun durch die neugefundenen Relikte bewiesen war. In undurchschaubarer Art sind Höhlenkäfer aus physiologischen und verbreitungshistorischen Gründen auf vielfach kleine Höhlengebiete, manchmal sogar eine einzige Höhle beschränkt. — Vermutlich muß es anderen echten Höhlentieren des Alpenraumes ebenso wie den Höhlenkäfern ergangen sein. Aber die Erforschung der Höhlen, möglicher Refugien ganz besonderer Tierarten, ist bei uns erst in den Anfängen.

Das Wesen dieser lichtlosen, in festes Gestein sich erstreckenden, der Erhaltung von Relikten so günstigen subterranean Räume beruht hauptsächlich in der Kargheit der Lebensbedingungen. Wärme (man bedenke die Luft-Temperatur von 5°C im Hölloch) und Nahrungszugang verbleiben in einem Minimum, das mannigfaltige Konkurrenz ausschließt und weitere Minderung des Angebotes verhängnisvoll macht. — So entstand unter dem Eiszeiteinfluß in den Kalkalpen ein weites Auslöschungsgebiet; die südlichen großen Areale der echten Höhlentiere blieben weiter bestehen. Im nördlichen Raum sind an zwei weit im Osten und Westen des Alpenzuges befindlichen Stellen Relikte auf uns gekommen, erstaunlicherweise gerade hoch spezialisierte Formen: im Dachsteinmassiv und im Lugauer bei Hiefalau, sowie im Juragebirge. Wie dies geschehen konnte, gehört zu den eigenartigsten Rätseln historischer Fragen der Höhlentier-Biologie.

Von manchen erfahrenen Autoren wird die Wahrscheinlichkeit, in den Nördlichen Kalkalpen echte Höhlentiere aufzufinden, sehr gering eingeschätzt. Nun, seinerzeit erschien es ausgeschlossen, hier Höhlenkäfer zu erwarten. Die inzwischen gemachten Erfahrungen zeigen, daß Überleben oder Aussterben doch nicht schematisch geschah. Selbst in eiszeitlich stark devastierten Räumen kommen Tierarten bei intensiver Suche und umfassender Sammeleinstellung ans Tageslicht, die zu Vorsicht in solchen Voraussagen mahnen. Zu denken ist da an die *Koenenia*-Funde (Wohmann: 1925!) und an den Fund einer Turbellarie aus der bisher nur aus Höhlen Spaniens und Südfrankreichs bekannten Gattung *Amyadenium* durch Janetschek (1949) im Schneckenloch und anderes mehr.

Ziemlich genau in der Mitte zwischen den angeführten Reliktarealen im Osten und Westen breitet sich mit 240 km Ost-Westerstreckung der bayerische Anteil an den Nördlichen Kalkalpen aus. Es ist ein eiszeitlich stark devastierter Raum. Alle Einzelgebilde des Phänomens der Verkarstung sind reichlich vertreten. Die biologische Erforschung seiner Höhlen ist über Anfänge in älterer Zeit nicht hinausgekommen.

B Die Untersuchungen 1949 und 1957, ihre Methodik und die hydrologischen Verhältnisse oberhalb des Hölloches

Die Zoologen konnten dreimal, am 4., 6. und 9. September 1949 ins Hölloch einfahren.

Die Landtierfänge geschahen in freier Suche, von Hand. In der Klufthöhle gesetzte Äthylenglykol-(Barber-)Fallen ergaben in der Hauptsache Borboriden (Dungfliegen), die unbestimmt geblieben sind.

Die Wassertiere wurden teils mit dem Netz gefangen, mit dem das abtreibende, oberhalb mit den Händen aufgewirbelte Bodenklein des Baches aufgefangen wurde. Daneben wurden mit gutem Erfolg Köderdosen in den Bachgrund eingesenkt. Hierzu werden deckellose Blechbüchsen von etwa 10 cm Höhe und Durchmesser mit einem nicht zu kleinen Stück Leber beschickt und locker mit unregelmäßigen, mehr als walnußgroßen Steinen angefüllt. Die Ausfüllung soll die Durchströmung verlangsamen und andererseits eine Flucht der eingedrungenen Tiere beim Ausheben verhindern. Die Dosen werden randgleich in den Bachgrund eingegraben und locker mit einer Steinplatte abgedeckt. Die zu fangenden Tiere folgen aufwärts der Blut- und Serumspur und gelangen ins Doseninnere.

Leider stand das so erbeutete Material unter einem bösen Stern. Das Amphipoden-Material geriet beim später verstorbenen Spezialisten in Verlust. Es konnte aber 1957 durch neue Auf-

sammlungen Wichmanns und insbesondere K. Cramers weit über den ersten Bestand hinaus, wiedergewonnen werden.

Für die Determination der Tiere sind wir folgenden Spezialisten zu großem Danke verpflichtet: Prof. Dr. An der Lan, Innsbruck (*Turbellaria*), Dr. G. Benick, Hamburg (Käfergattung *Atheta*), Dr. W. Engelhardt, Zoolog. Staats-Sammlung München (Spinnen), Dr. H. E. Gruner, Naturkundemuseum Berlin (*Crustacea*), Kustos i. R. M. Hüther, München (*Coloptera*), Dr. W. Döhler, Klingenberg a. M. (*Trichoptera*), Dr. J. Illies, Fuldastation Schlitz (*Plecoptera*), Frl. Dr. Chr. Lindemann, München (*Apidae*), Prof. Dr. E. Lindner, Stuttgart (*Diptera*), Dr. S. Löwen-
eck, München (*Mollusca*), Prof. Dr. F. P. Möhres, Tübingen (*Chiroptera*), Prof. Dr. O. Schaller, Mainz (*Collembola*).

Methodisch sollte beim Sammeln versucht werden, im Höhleninneren ange-
troffene Tierarten auch über Tage nachzuweisen. Wo dies gelang, konnte kein
Verdacht entstehen, es liege ein isoliertes Höhlenvorkommen ohne entsprechende
epigäische Population vor.

Bei den Aufsammlungen im Hölloch war eine erfolgreiche Eintriftung von
lebenden Oberwelttieren nicht zu belegen. Und doch mußten die vom Karsttale
nicht bewältigten Sturzbäche durch den Schacht eine Menge Getier einschwen-
gen. Wer miterlebt, welche Wassermassen bei Gewittern, wie am 2. September
1949, tosend 77 m in die Tiefe stürzen, Wässer, die alle auf ihrem vorher trocken
gelegenen Bett gesessenen Tiere mit sich reißen, ist enttäuscht, am Ufer des
Höhlenbaches keine der erwarteten Anlandungen vorzufinden. Zerreibt sie der
Schwall? In der Tiefe liegen andere Zeugen für seine Kraft und Wirkung. Hebt
man nämlich festsitzende Geschiebebrocken aus dem Bachgrunde, so zeigen sich
ihre Zwischenräume dicht und lückenlos erfüllt von einem Klein von Pflanzen-
teilen. In der Hauptsache sind es Bruchstücke von Graswurzeln, alle restlos
geschält, die Oberhaut verschwunden, nur die blankgescheuerten inneren Holz-
körper übrig geblieben. Diese Anhäufung organischen Materials im Bachlauf
hatte keine Vermehrung des Tierbestandes zur Folge! Das ist begreiflich, weil
dem Anscheine nach nur tote, verwertbarer Substanzen entleerte Teile einge-
schwemmt, die geringen löslichen Reste rasch vom fließenden Wasser ausgelaugt
waren. Was verblieb, bot Tieren wenig oder nichts.

Die mehrfachen, im Mahdtal zutage tretenden kleinen Fließgewässer (die
vermerkten Nummern der Quellen s. Seite 21, Abb. 3) regten an, sie als ober-
irdische Quell-Zuläufe des Höhlenbaches aufzufassen und in diesem Sinne auf
ihre Fauna zu untersuchen³. Einige dieser kleinen Quellen werden im Sommer
in den Wasserresten des vorflutenden Wasserträgers im Talgrund sich verlieren.
In der Zeit der Schmelzwässer kann dies anders sein. Interessanterweise wurden
in ihnen sogleich Niphargen (*N. fontanus* Bate) gefunden.

Der ergiebigste und auffallendste ist der Wasserfall-Riesel (Quelle Nr. 3). Er kommt aus
einer Schuttquelle „Im Mahd“, auf Drusbergsohichten, in etwa 1760 m Höhe. Gespeist wird die
Quelle aus den Block- und Schutthalden der östlichen Oberen Gottesacker-Wände. Im Quell-
mund *Niphargus fontanus*! (Temperatur: 12. September 1949 2,1° C.; 13. September 2,1° C.)
Der Riesel fließt dann offen auf Fels (*N. fontanus*) ab, an der Abbruchkante (*N. fontanus*) des
Wasserfalles 8,7° C, im Wasserfalltümpel (*N. fontanus*) 9,6° C; hier teilt sich das Wasser. Ein Teil
geht in den Hangschutt (*N. fontanus*), das andere wird aus dem oberen Brunnenkasten (*N. fon-
tanus*) in einem Eisenrohr zum unteren Brunnenkasten (*N. fontanus*), 11,1° C, und weiter zum
Brunnen vor der Almhütte (*N. fontanus*) geleitet, neben dem es in einer tümpelartigen Sicker-
grube in den Boden geht. — Von allen Quellen des Gebietes hat diese die niedersten Tempera-
turen, sogar weit unter denen des Hölloch-Baches (9. Sept. 1949: 4,4° C). Die Annahme liegt

³ Im kleinen Karssee, der ohne eingelagertes Geröll, durch seine winzige Schwinde in sein
unterirdisches Gerinne geht, waren Hydracarin (Wassermilben) nicht aufzufinden. Dagegen
enthielten die in den Tümpel des Wasserfalles tauchenden Moosbüschel eine Art, *Lebertia* (*Pseu-
dolebertia*) *tuberosa* Thor 1914. (13. 9. 1949, leg. W.).

Herr Dr. E. Popp (Zoolog. Staats-Sammlg., München), war so freundlich, das Tier zu be-
stimmen. Er schreibt darüber: „Diese extrem kaltstenotherme Milbe kommt bei uns nur in Quell-
wässern der Mittelgebirge vor, im Harz und Thüringer Wald, in der Weistritzquelle bei Grünwald
in Schlesien, ferner in den Alpen im Stromgebiet der Rhone, von Rhein, Donau und Po, in Frank-
reich, Rumänien und im Kaukasus. Nach Walter nährt sich diese Art von Chironomidenlarven,
die anscheinend durch Abgabe eines Sekrets betäubt und dann ausgesogen werden. Im Alpenge-
biete (148 Fundorte) ist sie die verbreitetste der Lebertien (130 Arten).“

nahe, daß in den Blockfeldern der nach Nord blickenden Wände im Winter stark unterkühlende Schneemassen einlagern, welche später von den wärmeinschleppenden flüssigen Niederschlägen nicht aufgearbeitet werden können.

Die nachfolgend gebrachten Temperaturen der vier Hauptpunkte des Wasserfall-Riesels hat 1957 Herr K. Cramer erhoben.

1957	Ursprung „Im Mahd“ 1760 m Quelle Nr. 3	oberer Brunnenkasten 1680 m	unterer Brunnenkasten 1590 m	Brunnen v. d. Almhütte 1500 m
21. VIII.	2,4	7,3	8,0	8,3
1. IX.	2,4	7,8	8,0	9,8
9. IX.	2,3	8,6	9,4	10,9
20. IX.	2,4	5,3	5,2	6,0

Quellen östl. der Windeck-Scharte (Quelle Nr. 4), zwischen 1680 und 1690 m; Schuttquellen auf Leistmergel (*N. fontanus*).

Temperaturmessungen Cramer: 15. VIII. 1957, 8,2° C; — 21. VIII., 5,0° C; — 1. IX. früh, 4,7° C; — 4. IX. früh, 5,6° C; — 7. IX., 4,8° C; — 9. IX. mittags, 6,1° C; — 10. IX. früh, 4,7° C; — 20. IX., 5,0° C. — Mittel: 5,5° C.

In den kleinen, im Boden des Karsees westl. vom Thor-Kopf sich öffnenden Quellen (Quelle Nr. 5) war das Hochtreiben von *Niphargus fontanus* dauernd zu sehen. Diese jedenfalls aus dem Hangschutt des Kars kommenden Quellen durchstießen den Schlammgrund ohne Temperatur-Veränderung. Dagegen erlitt die westlichste Quelle, die schwächste, am Beobachtungstage (12. IX. 1949), vermutlich repräsentativ für gleiche Wasserstände des jahreszeitlich stark schwankenden Gewässers und für den kalendarischen Zeitpunkt, eine sehr beachtliche Erwärmung beim Durchtritt durch den Bodenschlamm. — Auch in ihr *N. fontanus*. Temperatur des austretenden Wassers 16,2° C, des vorliegenden Wasserkörpers 10,4° C.

In fließenden, oft auch in stehenden Gewässern geschieht es, daß an geeigneten Stellen der Gewässerboden durch die Insolation weit über die Temperatur des darüberströmenden oder stehenden Wassers erwärmt wird.

	Blockquelle	westl. Quelle	Schwinde
12. IX. 1949, 12.00	3,3	16,2	9,6 (Beobachter:
1. IX. 1957, mittags	2,5	.	7,0 Cramer)

Quellen am Wege zur Gottesacker-Scharte (Nr. 6 auf Abb. 5, Seite 20), rheinisches Einzugsgebiet. Es sind Quellen beim und nahe dem „Alnasterblock“ (einem auffallenden Felsblock am Wege, gekrönt von einem großen Grünerlenbusch). Höhe um 1800 m; Schuttquellen auf Drusbergmergel: *Niphargus fontanus*.

Temperaturen: 1. IX. 1957, 4,9° C; — 4. IX., früh, 4,7° C, 4,4° C, 3,7° C; 3,4° C. Mittel: 4,2° C (Cramer).

C Die Fauna des Hölloches und ihr Lebensraum

(H. E. Wichmann)

I Vermes

Turbellaria, Strudelwürmer

Planaria alpina Dana

An allen Stellen des Höhlenbaches relativ häufig, leicht zu ködern. Es gelang nicht, die wahrscheinliche Nahrung dieses räuberischen Tieres festzustellen.

Nematomorpha, Saitenwürmer

Gordius spec., Wasserkalb

Ein an beiden Körperenden verstümmeltes, noch lebendes Bruchstück lag im stillen Wasser hinter dem ersten Treibholzlager (Höhlenplan der Kartenbeilage; Qs XII). Auch im Schneckenloch (Janetschek).

Der fast gleichzeitige Fund von *Gordius* in zwei benachbarten Höhlengewässern gibt zu denken. Auch A. v. Gebhardt (1937, S. 223) verzeichnet aus der Mánfaer-Höhle (Ungarn) einen am 31. Mai 1931 in der Quelle der oberen Höhle gefangenen „*Gordius aquaticus* Duj. (?)“ und berichtet über ein gehäuftes Vorkommen von Trichopteren-Imagines in der unteren Höhle!

Gordien wachsen als Leibeshöhlenparasiten in Insekten heran. Reif geworden verlassen sie den Wirt und gehen zu einem Freileben im Wasser über. In der Literatur werden zwei *Gordius*-Arten als Parasiten von Köcherfliegen-Larven genannt. Von diesen beansprucht *Gordius albopunctatus* G. W. Müller unsere Aufmerksamkeit wegen seines Wirtes *Stenophylax stellatus* (Curt.),

der mit dem Gattungsnamen *Potamophylax* in der Tierliste des Hölloches erscheint. Die Art wird heute in diese erst 1955 geschaffene Gattung eingereiht.

Die Möglichkeit besteht also, daß *Gordius* zur subterranean Population von Höhlenbächen gehört.

II Mollusca

Gastropoda, Schnecken

Helicolimax diaphanus Drap.

1 lebendes Exemplar, etwas unterhalb des Schachtes.

Der Fund ist schwer zu deuten. Das Tier ist im Gebiete an allen nassen Stellen, unter Steinen u. ä., als häufigste lokale Schneckenart zu finden. Unter den Felsbrocken der Schutthalden haben sich vielfach ganze Lager leerer Schalen angesammelt. Die Schnecke dringt auch in solche Höhlen ein, die für sie nur eine wenig variante Form ihres sonstigen Standortes sind, z. B. die Klufthöhle. In der Umgebung des Karsees wurden zahlreiche lebende Exemplare und ebenso Gehäuse gefunden; seine Quellen spülen leere Gehäuse hoch.

Janetschek führt *Helicolimax diaphanus* Drap. vom Schneckenloch an: „vereinzelt“.

Galba truncatula Müll.

Am Höhlenbachufer bei Polygon-Punkt 23 („Bei der Kanzel“) ein vermutlich eingeschwemmtes leeres Gehäuse. Die Schnecke lebt im Freien an überrieselten Felsen. Lebend wurde sie an der Quelle Nr. 4 (s. Abb. 5 auf Seite 20) gesammelt.

Carychium minimum Müll.

In einer unbedeutenden temporären, einer Felsspalte des Schrattenkalkes entfließenden Schichtquelle (Quelle Nr. 1), gleich oberhalb des Hölloches, lag im Wasser ein ausgeschwemmtes, lebendes Stück.

Die Art ist eine Landschnecke, die mit Vorliebe auf Gestein in stark luftfeuchten Räumen, z. B. zwischen Karren lebt. Der Fund wäre bemerkenswert, träfe die Angabe Ehrmanns zu, daß diese Schnecke ein Bewohner der Ebene ist. Das stimmt aber nicht. Sie wurde in den Lunzer Bergen (Niederösterreich) zwischen 600 und 800 m Meereshöhe gefunden (Wichmann, det. † Dr. L. Sturany-Wien).

III Crustacea

Isopoda, Asseln

Asellus cavaticus Schiödte, Höhlen-Wasserassel

Wurde 1949 im Hölloch-Bach in mehreren Stücken gefangen, teils mit dem Netz, teils in Köderbechern. Die rasch strömenden Teile des Baches erwiesen sich als sehr schwach besetzt; in ruhigen Buchten dagegen konnte *Asellus cavaticus* freischwimmend gesehen werden, ebenso in einem bei sinkendem Wasser auf Geröllgrund ausgelandeten Tümpel.

Wie 1949 konnte die Art auch 1957 in der Sägebachquelle gefangen werden. 1949 kam sie in größerer Zahl ins Netz: bei 15 Netzzügen 21 Stück (16. Sept.). 1957 gelang es nur mit viel Arbeit, durch Aufwühlen des Grundes 3 Exemplare zu erlangen. Es ist das erste Mal, daß *Asellus cavaticus* außerhalb des Quellmundes eines subterranean Gewässers gefunden wurde und wie der wiederholte Fund zeigt, ein gewiß gewöhnliches Geschehnis. Der Austritt in epigäische Bezirke ist aber begrenzt. Die Suche in den Tümpeln unterhalb der Staumauer der Sägebachquelle blieb ergebnislos (1949).

Im Schneckenloch in allen Fließgewässern des Labyrinthes (Janetschek).

Daß *Asellus cavaticus* weder 1949 noch 1957 in der Aubachquelle erlangt werden konnte, mag ein Zufall sein.

Amphipoda, Flohkrebse

Schon bei der Besprechung der Fließgewässer des Mahdtales konnte auf die epigäischen Amphipodenfunde hingewiesen werden. Es lohnt sich, einen Überblick über die bayerischen Fundnachweise der bekannten Arten zu geben.

Die Lage der wenigen Fundpunkte von Amphipoden aus den Gattungen *Crangonyx*, *Niphargopsis* und *Niphargus* im südbayerischen Raume deutet an, daß es bloße Einzelnachweise wenig

beachteter Tierarten sind. Demgemäß drücken sie auch keine „Seltenheit“ aus. Es gab und gibt bloß zu wenig sammelnde Zoologen, die ausdauernd und systematisch nach ihnen suchen. Aber die Durcheinanderlage der Fundpunkte der Arten muß wohl als Hinweis gelten, welche Verbreitungsfragen sich stellen werden, wenn künftig vielleicht das Land mit hinreichend vielen Nachweispunkten überdeckt werden kann.

Weit verbreitet in den unterirdischen Gewässern, werden sie in Brunnen, Quellen, Höhlen und Bergwerken zugänglich. Sogar in kleinen Dorfwasserleitungen kann einem unversehens ein *Niphargus* ins Wasserglas gespült werden. In welchem Umfange die Arten Mischpopulationen zu bilden vermögen und, wenn dies nicht allgemeiner vorkommt, welche Faktoren jeweils die Anwesenheit gerade der vorliegenden Art bedingen, sind unbeantwortbare Fragen. Mit Gewißheit kann aber gesagt werden, daß die Arten nicht an subterrane Gewässer des festen Kalkgesteins gebunden sind, sondern ebenso im Grundwasser der Aufschüttungsböden der weiten Ebenen, ja selbst auf Urgestein verbreitet sind.

Ein Verzeichnis der u. a. in Südbayern, zwischen dem Durchbruchstale der Salzach und dem Gottesackergebiete in den Alpen, sowie in der oberbayerischen Hochebene aufgefundenen Arten möge zeigen, welche interessanten Verbreitungsfragen die Erforschung der Höhlen zu liefern im Stande ist.

1. *Crangonyx subterraneus* Bate: (In Quellen und Brunnen.) Bayern: München. — Salzburg: Stadt Salzburg; Waldbad Anif (beide Janetschek).
2. *Niphargopsis caspari* (Pratz): Bayern: In Brunnen bei München und Freising (ca. 520 m und 445 m Meereshöhe).
3. *Niphargus fontanus* Bate: (Freies, ruhiges, lichtloses Wasser, Brunnen, Höhlen, Quellen). Bayern: Friekenhöhle bei Farchant (ca. 1280 m); Quelle bei Rotenbach-Isny; München (Brunnen der alten Anatomie); Brunnen bei Freising.
4. *Niphargus foreli thienemanni* Schellenb.: (Quellen, Höhlen). Bayern: Quellen und Rheokrenen im Wettersteingebirge. Zugspitzmassiv: Quellen. — Tirol: Weinstockstollen am Höttinger Berg, 900 m, Janetschek; — Vorarlberg: Schneckenloch, 1270 m (Janetsch.)
5. *Niphargus foreli foreli* Humb.: Weit verbreitet im Tiefenwasser der oligotrophen Voralpenseen.
6. *Niphargus inopinatus* Schellenb.: (Grundwasser). Bayern: Brunnen von Unter-Föhring und Karlsfeld (ca. 500 m).
7. *Niphargus janovici bajuvaricus* Schellenb.: (Brunnen, Grundwasser). Bayern: Brunnen von Moosach und Dachau (ca. 480 m). — Salzburg: Stadt Salzburg; Waldbad Anif (Janetschek).
8. *Niphargus laisi* Schellenb.: (Brunnen der Rheinebene). Salzburg: Puch bei Hallein; Stadt Salzburg (Janetschek).
9. *Niphargus molnari* Mehely: Bayern: Brunnen von Moosach.
10. *Niphargus puteanus puteanus* (Koch): (Brunnen, Höhlen). Brunnen von Regensburg.
11. *Niphargus tatrensis* Wrzesniewski: (Spaltenwasser). Salzburger Alpen westl. Salzburg.
12. *Niphargus* spec. Angerlloch im Simmetsberg bei Walchensee. Das dort gesehene Tier (Wichmann, Februar 1952) muß neu gefangen und bestimmt werden.

1949 wurden in den Quellen des Mahdtales und der zum Rhein entwässernden Hänge Amphipoden gefunden. Niphargen als die tonangebenden Tiere des Baches wurden in größerer Zahl im Hölloch geködert oder gefischt und ebenso in der Quelle des Sägebaches (= Hölloch-Bach, Nr. 10), 1040 m, und in der Quelle des Aubachs (Nr. 12), 1080 m, die ein eigenes Entwässerungssystem des Ifenstockes repräsentiert. — Im Jahre 1957 haben Wichmanns Fänge aus der Sägebachquelle und besonders reichlich K. Cramers Fänge aus den hochgelegenen Quellen das verloren gegangene Material von 1949 ersetzt. Nicht ersetzbar war das Material aus dem Höhlenbach. Man kann es aber unbedenklich gleichsetzen mit den Arten der Sägebachquelle. Ohne Erfolg geblieben sind die mehrfachen neuen Köderversuche in der Aubachquelle.

Wichmann kennt von anderen Orten Quellvorkommen von Niphargen. Dort blieben die Tiere überall versteckt unter Steinen, unter ins Wasser hängenden Rasen, so daß man gerne dazu geführt war, ein Schutzbedürfnis vor Licht als gegeben anzuerkennen.

Im Mahdthal jedoch trieben sich die Tiere, am deutlichsten in den kleinen, wenige Zentimeter tiefen Quelltümpeln, unbekümmert im vollen Lichte, im vollen Sonnenschein herum. Natürlich waren sie zeitweilig unter Steinen und in allerlei Höhlungen verschwunden. Aber gegenüber dem Verhalten der Augen besitzenden, grünlich gefärbten obertägigen Amphipoden *Gammarus pulex* L. oder *Carinogammarus roeseli* Gervais (in Bächen und Quellen der Ebene gemein) bestand kein Unterschied.

In allen untersuchten Quellen der Hochlage, gleich ob nach Ost oder West entwässernd, wurde *Niphargus fontanus* Bate festgestellt, in der Sägebachquelle 2 Arten: *Niphargus fontanus* Bate und *Niphargopsis casparyi* (Pratz).

Niphargus fontanus Bate besetzt somit in der Hochlage alle Schuttquellen; man darf weiter annehmen, auch einen großen Teil des, fließendes Wasser führenden, Lückensystems der Schutthänge. Er lebt hier bei den tiefsten, jemals für einen mitteleuropäischen Amphipoden gemessenen Temperaturen: Wasserfallquelle (Nr. 3) noch am 13. August 1949 mit 2,1° C! Sein Habitat führt ihn aus dem hochgelegenen Quellschutt und von den Quellen über offene Gerinne wieder in durchflossenen Schutt, dann auf irgendeinem Wege in die unbefahrbaren Quellgerinne der Karsträume — und schließlich erscheint er am untersten Punkt dieses hauptsächlich subterranean Entwässerungssystems. Die lineare Geschlossenheit dieses variablen Wohnbereiches, zwischen mindest 1760 m (Wasserfallquelle) und Sägebachquelle, 1040 m Meereshöhe, erscheint trotz ausgefallenem Speciesnachweis im Hölloch-Bach, nicht anzweifelbar. Soweit bekannt, ist dies das erste Mal, daß der Nachweis einer subterranean „Allbesiedelung“ eines Landschaftsraumes für einen *Niphargus* gelungen ist.

Wie *Niphargopsis casparyi* (Pratz) die in der Sägebachquelle ausmündenden Subterraneanwässer besetzt, bleibt späteren Untersuchungen vorbehalten.

Es muß sogleich auf den sehr merkwürdigen Sachverhalt des Vorkommens einer dritten subterranean Amphipodenart im Ifenstock hingewiesen werden. Janetschek hat in den zum Rhein gehenden Wässern des Schneckenloches *Niphargus foreli thienemanni* Schellenb. aufgefunden.

Diese Angaben zeigen, welch interessante Erweiterung unserer Kenntnisse eine systematische Untersuchung aller, auch der kleinsten Dauerquellaustritte rings am Ifenstock, der Laufbrunnen von Almen, und nicht zuletzt der Großquellen seiner basalen Lagen, ergeben könnten.

Das Vorkommen von Niphargen im alpinen Bereich Bayerns wird außerdem unter einem anderen Aspekt zu untersuchen sein. In zwei Karstlandschaften waren die Versuche, Niphargen nachzuweisen (Wichmann), bisher vergeblich. Diese bemerkenswerten Gebiete sind a) ein Raum östlich des Spitzingsees, b) der Raum südlich des Königsees. Niphargen scheinen hier wirklich zu fehlen.

Diese noch eingehendst zu untersuchenden Verbreitungslücken umfassen genauer das Gebiet östlich des Spitzingsees bis zu den Wilden Fräulein und der Schönbergalm. Der zweite Raum vergeblicher Suche liegt südlich des Königsees, mit Obersee und Röth, mit dem Schreinbachtal, sowie der verkarsteten Gletscherwanne des Funtensees. Diese entwässert mit der am Ufer des Funtensees gelegenen Schwinde („Teufelsmühle“) zur Schreinbachquelle.

Weder in offensichtlich den Austritt subterranean Kleingerinne darstellenden Quellen, noch in anderen, nicht genauer zu definierenden Quellen fanden sich die gesuchten Tiere. Eine Erklärung dafür ist gegenwärtig nicht möglich.

IV Insecta

Collembola, Springschwänze

Mahdtal, obertätig unter Steinen: *Kalaphorura burmeisteri* Lubb., *Onychiurus armatus* Tullb., *Xenyllodes armatus* Axels. (Neu für Deutschland), *Megalothorax minimus* Will.

obertätig, in Köderfallen: *Orchesella 5-fasciata* Bourlet f. *devergens* Handsch., *Lepidocyrtus lanuginosus* Gmelin, *Tomocerus longicornis* Müller, *Orchesella alticola* Uzel., *Hypogastrura armata* Nicolet.

Lepidocyrtus lanuginosus Gmel. wurde von Janetschek im Schneckenloch gefangen.

Kalaphorura burmeisteri Lubb.

Hohe Lehmgalerie, 5 Exemplare. — Auf Tropfwasser bei Polygon-Punkt 19, 6 Exemplare.

Die in den Schweizer Alpen bis 3000 m emporsteigende, unter Steinen und in Erde lebende Art wurde im Mahdtal ebenfalls oberirdisch unter Steinen gefunden.

Hypogastrura socialis Uzel

Hohe Lehmalerie, auf kleinen Tropfwassertümpeln, 2 juv. Stücke. — Ein Stück oberhalb von Polygon-Punkt 19 mündet an der linken Wand ein zeitweilig wasserführender Schlot, gekennzeichnet durch scharfkantig zerklüftete Korrosionsflächen. Oberhalb und unterhalb saßen 14, resp. 16 *Hypog. socialis*, knapp und in einer Art geschart, daß die Annahme berechtigt ist, sie könnten durch den Schlot in die Tiefe gelangt sein.

Diese Springschwanzart ist auf Humus in Wäldern bei uns allgemein verbreitet. Sie versammelt sich gelegentlich zu riesigen Wanderscharen. In der Nähe der Grafen-Küren-Alpe wurde sie im Freien gesehen.

Isotomurus alticola Carl

Zur Zeit der Untersuchung war *Isotom. alticola* Carl die „tonangebende“ Tierart des Hölloches. Vom Schacht abwärts den Bach entlang saß er überall in Einzelstücken (Dichte geringer als 1 Exemplar je laufenden Meter), er fehlte in den Höhlenstrecken oberhalb des Schachtes. — In der Hohen Lehmalerie wurde nur 1 Exemplar gesehen.

Im allgemeinen beschränkten sich seine Sitze auf einen 1,5 m, selten bis 2 m hohen Streifen über dem Wasserspiegel. An drei Stellen war der Besatz der Wand vermehrt: a) Unterhalb Polygon-Punkt 12, mit rund 40 Exemplaren auf 1 m², b) gleich unterhalb des eingeklemmten Blockes auf der linken überhängenden Wand rund 70 Exemplare und c) kurz oberhalb von Polygon-Punkt 19 auf der linken Wand etwa 50 Exemplare. Die Ursache dieser Anhäufungen war nicht erkennbar.

Auf diesen teilweise überhängenden und meist dünn verlehmteten Felsflächen bewegten sich die Tiere gemächlich wie nach Nahrung suchend. Woraus ihre Nahrung besteht, kann vielleicht für das Freiland vermutet werden, Exaktes, etwa durch Untersuchung des Darminhaltes, ist nicht bekannt. Für die in der Höhle gebotene Nahrung gibt es keine Anhaltspunkte.

Auf einigen, beim Befischen des Baches aufgeschichteten, gleich kleinen Inseln über die Wasserfläche ragenden Geröllhaufen saßen später einige *Isotomurus alticola* Carl. Sie konnten nur angeschwemmt worden sein. In Anbetracht der Unruhe, die die zahlreichen, sich durch die engen Profile bewegenden Menschen in die Tierwelt trugen, kann dies nicht verwundern. Aber es knüpft auch an eine andere Beobachtung.

Im Freien saßen hunderte von *Isotomurus alticola* Carl an den karrenartig zerschrundeten, nackten Felsflächen des Thoreck-Seeablaufes. An der Schwinde konnte einigemal gesehen werden, wie abschnellende Stücke aufs Wasser fielen und mit ihm, nicht weiter verfolgbar, in die Tiefe verschwanden.

Diese Springschwanzart wurde oberirdisch außerdem auf und unter den Gesteinsbrocken der Sprühzone des Wasserfalles, im oberen und unteren Brunnenkasten, sowie am Eingange des Hölloch-Schachtes gesehen. Im Schachte selbst waren die Beobachtungsverhältnisse zu ungünstig, einen Besatz zu erkennen. — Einige Exemplare wurden im noch vollkommen lichten Abschnitte der Klufthöhle, bei 5 Meter Tiefe vermerkt.

Zusammenfassend ergab sich das Bild, daß der im Untersuchungsgebiet an seinen Standorten häufige *Isotomurus alticola* Carl hier eine geschlossene Population bildet, die in Höhlen hineinreicht und, wie anzunehmen, sogar Anschluß an die im Aphotischen lebende Population des Hölloches hat. Offen blieb, ob die tiefen Höhlenräume eine vollwertige, extreme Abwandlung des gehaltenen Lebensraumes sind, und eine Vermehrung erlauben.

Isotomurus alticola Carl wurde von Janetschek im Schneckenloch und in der Freschenhöhle gefangen. Er tritt in sehr vielen subalpinen Höhlen auf (Höhle im Wendelstein, Mammuthöhle im Dachstein).

Megalothorax minimus Willem

Hohe Lehmalerie, auf kleinem Tropfwassertümpel; 1 Exemplar.

Dieses kleinste einheimische Insekt (0,3 mm!) wurde im Mahdtal auf der Unterseite eines tief in den feuchten Boden eingesenkten Steines gefunden.

Plecoptera, Steinfliegen

Zerfallene, unbestimmbare Leichen lagen in einiger Zahl in den Trockenstrecken der Höhle, z. B. bei Polygon-Punkt 18.

Steinfliegen zählen sogar zur Fauna des Baches, in dem auch, leider nicht erbeutete, Larven gesehen wurden.

Die Erwähnung von Larven aus der Gattung *Nemura*, gefunden im Wasserriesel beim Alnasterfels, und solchen der Gattung *Protonemura*, aus dem Wasserfallriesel, sowie von Imagines im Sprühraum des Wasserfalles, führt die Kenntnis der Arten der Höhle nicht weiter. Aber unter den lokalen epigäischen Arten müssen die in den Höhlen vorkommenden gesucht werden. — Plecopterenlarven sind in Höhlenbächen nicht selten.

Trichoptera, Köcherfliegen

Odontocerum albicorne Scop.

Am rechten Ufer, bei Polygon-Punkt 18 konnten 14 lebende Larven gezählt werden.

Potamophylax stellatus Curt.

Vermutlich diese Art, aber nach dem, Herrn Dr. Döhler vorgelegten Larven-Material aus dem Höhlenbach nicht mit voller Sicherheit zu bestimmen.

Stenophylax permistus-Gruppe.

An einigen Stellen, bis Polygon-Punkt 21, lagen unbestimmbare Leichen dieser Köcherfliegen.

Sie sind überall in Höhlen und, ähnliche Naturverhältnisse bietenden, künstlichen Höhlensystemen regelmäßige Wintergäste. — Die Fritz-Otto-Höhle im Kaisergebirge mit 1600 m (Janetschek) und das Hölloch, Eingang 1438 m Meereshöhe, sind die bisher höchstgelegenen Fundpunkte.

Coleoptera, Käfer

Nebria spec.

In allen tieferen Höhlen der Nordalpen sind Leichen oder lebende Exemplare der örtlich vorwiegenden *Nebria*-Art gewöhnlich. Alle im Hölloch gefundenen Leichen waren zerfallen, eine Bestimmung darum nicht möglich. Epigäisch wurde im Mahdtal die daselbst häufige *Nebria castanea* Boh. gesammelt. Janetschek traf sie im Schneckenloch an. Zu ihr werden wohl die Reste aus dem Hölloch gehören.

Über die vorgefundenen Reste anderer Käfer läßt sich nichts Bestimmtes aussagen. Die Tiere können z. T. eingeschwemmt worden sein, z. T. durch Gesteinspalten sich in die Tiefe verirrt haben. Es sind: der Laufkäfer *Cychrus angustatus* Hoppe, in Bayern nur aus dem Oberstdorfer Gebiet bekannt; die bodenbewohnenden Laufkäfer *Pterostichus metallicus* F. und *Pter. multipunctatus* Dej; ferner die Flügeldecken eines Blattkäfers der Gattung *Chrysochloa*; endlich die Reste zweier Kurzflügler, *Lesteva nivicola* Fauv. (?) und *Hygrogerus aemulus* Rosenh., beides montan-alpine Arten, bekannt als Bewohner wasserdurhrieselten Mooses.

Diptera, Fliegen

Heteromyza atricornis

Eine in Höhlen (Kellern und Stollen) in weitester Verbreitung anzutreffende Fliege, deren untere Temperaturschwelle offenbar sehr tief liegt. Sie pflanzt sich allgemein in Höhlen fort, wo die Larven von Fledermaus-Kot und allerlei durchnäßter organischer Substanz leben.

Phoridae, gen. et spec.

Unbestimmbare, zerfallene Reste der in Höhlen, Kellern und Stollen häufigen und dort sich entwickelnden Buckelfliegen, waren im Hölloch an zahlreichen Stellen zu finden.

V Arachnoidea

Acari, Milben

Rhagidia spec.

Mehrere Exemplare auf dem aus dem Wasser ragenden Treibholz.

Chiroptera, Fledermäuse*Barbastellas barbastellus* (Schreb.), Mopsfledermaus

Skelettreste weniger Exemplare etwa 50 m unterhalb der Schachteinmündung. Im bayerischen Gebiet ist die Mopsfledermaus, vor allem als Wintergast, kein seltener Bewohner von Höhlen, wo sie meist in größeren Scharen, Körper an Körper zusammengedrängt, aufzufinden ist. Auch bei hoher Einschätzung ihres, die lichtlosen Räume austastenden Echolot-Systems der Flug-Orientierung darf der Abflug in den 77 m tiefen, relativ engen Schacht als eine beachtliche Leistung gelten. Ein Einflug muß aber selten sein. Es wurden keine der nicht zu übersehenden „Visitenkarten“ der Fledermäuse: an den Wänden klebende, charakteristische Exkremente, gesehen.

D Die Fauna der Klufthöhle bei der Mahdta-Alpe

Die Klufthöhle am linken Hang des Mahdtales, ein Stück hinter der Almhütte befindlich, durfte bei der Untersuchung der Subterranauna des Gottesacker-Gebietes nicht vernachlässigt werden (s. Abb. 3, Seite 21).

Aber schon ihre erste Besichtigung ergab, daß ein morphologisch zwar als Höhle anzusprechendes Gebilde vorliegt, dem aber mangels lichtloser Räume eher der Charakter einer tiefen Felskluft eignet, mit bereits sehr ausgeprägter Novellierung der Wittertemperaturen und der Luftfeuchtigkeitsmengen — eine Höhle also, die sozusagen nur aus der Eingangsregion besteht.

Ihre Gestalt: ein gerader, wenig ansteigender Gang; ihre Wandbeschaffenheit: vorsprungarm, und ihre Achsenorientierung nach Süden, sowie der weite Eingang, lassen bei mittäglichem Sonnenstand eine tiefhineinreichende, ausgiebige Erhellung zu. Hieran wirken sogar die zu Zeiten dürrer und damit weißlich werdenden Lagen des Gesteinsschuttes im Eingang als beachtliche, Licht zuführende Reflektoren mit. Ebenso wie im Sommer, der Temperaturlage im Innern entsprechend, Warmluft einziehen kann, ersetzt sich ihr fast ständig in gegensätzlicher Bewegung und Ausgleich befindlicher Wetterkörper im Winter durch Kaltluft. Eine Auswirkung dessen ist, daß zu den geringen Sickerwassermengen der innersten Teile reichliche Taubildung kommt.

Die vollkommene, kurzzeitig einspielende Abhängigkeit von den Außen-Temperaturen deuten die nachfolgenden Messungen an.

Tag, Stunde 1949	Außen- Temper. ° C	Temperatur im Eingang		Höhlen- ende
		oben	über dem Boden	
3. IX., 11.00 Uhr	19,0	18,9	14,1	16,2 ¹
5. IX., 10.10 Uhr	20,6	20,7	15,0	16,3 ²
8. IX., 12.00 Uhr	13,0	13,0	11,5—12,1	12,5 ³
11. IX., 18.00 Uhr	14,2	13,5	15,4	16,0
11. IX., 19.00 Uhr	13,5	13,5	15,0	16,0 ⁴

¹ Sonniger Tag, Windstille. Höhlenwetter fühlbar in Gang.

² Sonniger Tag, Windstille. Höhlenwetter in Gang.

³ Nachts Gewitter, dichter Bodennebel. Oben deutlich Einwind, unten zeitweise förmlich pulsierend ausbrechende Luft.

⁴ Sonnig. Bei der Messung steht die Sonne bereits hinter den südlichen Bergen. Wetterruhe in der Höhle, stoßweises Ausbrechen der Luft. Die eigentümliche T-Umkehrung — Luft in Bodennähe wärmer — ist eine Folge der thermometrisch festgestellten Wärmespeicherung auf dem tagsüber besonnten Vorplatz und Eingangsstück.

Dem entsprach mit ihrem ganz obertägigem Gepräge die Fauna, soweit sie vermerkt wurde. Einige Schneckenarten bewohnten „auch diese Kluft“ oder wichen in sie mit den sinkenden Temperaturen des nahenden Herbstes zurück: *Arianta arbustorum* L., die am weitesten innen, ohne Ausgrabung des Bodens gefundenen Gehäuse bei 4,7 m; *Helicolimax diaphanus* Drap., lebend noch bei 4 m; *Retinella radiatula* Aldr. und *Vitrea crystallina* Müll., nur im Eingang; die letztere auch im *Cratoneuron*-Bewuchs des Wasserfalles. — Ziemlich gut waren die Collembolen vertreten: *Entomobrya* spec., *Tomocera* spec. und *Isotomurus alticola* Carl. — In Äthylenglykol-Fallen sammelten sich hauptsächlich

Borboriden (Dungfliegen) und *Phoriden* (Buckelfliegen) an. In tieferen Abschnitten saßen bereits Exemplare der langbeinigen, in allen Höhlen als Überwinterer gemeinen Schnake *Petauristes maculipennis* Meig. Sie gehört mit den noch zu erwähnenden zwei Schmetterlingsarten zu den regelmäßigen Wintergästen der Höhlen. So gewöhnlich diese drei Insekten sind, so auffallend ihr Erscheinen in Höhlen ist, so wurde doch nie versucht, zu analysieren, welche Sinneseindrücke sie bei eingetretener Überwinterungsbereitschaft in die Winterquartiere leiten. Abgesehen von anderen möglichen Faktorenkombinationen sind denkbar: ausfließende Höhlenwetter, gekennzeichnet durch Bewegung, Temperatur und Luftfeuchte; Geruchseindrücke, angesprochen durch die dumpf kellerluftartige Geruchstönung der Luft der Höhleneingänge und endlich eine Ausrichtung auf den dunklen Fleck des Einganges. Für *Petauristes maculipennis* Meig. gelangen am 13. September 1949 einige aufschlußreiche Beobachtungen. Kurz nach 15 Uhr kamen die ersten Schnaken in 2 bis 5 m Höhe den Hang heraufgeflogen. Die Luft war ruhig; aus der Klufthöhle floß weder am Boden Kaltluft des Inneren ab noch drängte an der Decke warme Außenluft ein. Dies konnte mit an Stäbchen aufgehängten Spinnweben primitiv, aber verläßlich sichtbar gemacht werden.

Da kam eine Schnake, etwa in 3 m Höhe emporgeflogen, so, daß sie nahe über den Klufteingang ziehen mußte. Etwa 4 m vor dem Eingang ändert sie die Richtung und fliegt direkt in die Höhle ein. Andere, mehr als 5 bis 6 m entfernt vorüberkommende beachten den Eingang nicht, doch fliegen noch 2 Exemplare, wie beim ersten geschildert, in die Klufthöhle ein.

Schmetterlinge: *Triphosa sabaudiata* Dup. und *Scoliopteryx libatrix* L., wohlbekannte Wintergäste in Höhlen, hier wie im Schneckenloch, in dem an Stelle der *Triph. sabaudiata* *Tr. dubitata* L., vorkam: ihre höchstgelegenen Höhlenvorkommen. — Spinnen: *Lepthyphantes* spec. juv., nicht bestimmbar, bei 7 m, und Segelnetzspinnen im Eingang bis 4 m, die nicht erbeutet werden konnten, weil sie sofort in unzugängliche Felsspalten flüchteten. Schließlich ganz in der Tiefe 3 Exemplare der *Meta menardi* (Scop.). Diese große Radspinne ist von England bis in die Krim verbreitet und bewohnt vorwiegend Höhlen. Die öfters sehr unordentlichen Radnetze richtet sie, wo der Raum dies zuläßt, senkrecht zum einfallenden Licht (Wichmann 1928). Damit sind die Ein- und Ausflugswege der verschiedenen in die Höhlen kommenden Fliegen überspannt und der Fang gesichert. Die Eier befinden sich in der Mitte freihängender, ballonförmiger Gespinste von weißer Farbe.

E Zusammenfassung (Subterrana fauna)

Die Fauna des Hölloches besitzt weder unter den Landtierarten noch unter den wasserbewohnenden Arten echte Höhlentiere oder Höhlen bevorzugende Arten. Für alle Landtiere konnten, die Höhle überlagernde, epigäische Populationen nachgewiesen werden, wobei offen blieb, auf welchen Wegen beide in Verbindung stehen. Der Collembol *Isotomurus alticola* Carl scheint den gesamten, durch das Hohlraumnetz aufgeschlossenen, Gesteinskörper zu besetzen, wenn auch, seiner oberweltlichen Bindung entsprechend, die Nähe fließenden Wassers bevorzugt wird.

Der bisher untersuchte Teil des Ifenstockes beherbergt drei subterrane Amphipoden, im Entwässerungsgebiet des Hölloches zwei. Von diesen verläßt *Niphargopsis casparyi* (Pratz) in der Sägebach-Quelle das Höhlengewässer; und *Niphargus fontanus* Bate, die zweite Art, bildet sogar eine, absteigend zwischen Schuttgewässern und Schuttgewässern der Hänge eingeschaltete, beachtlich individuenstarke, epigäische Population in einem Gelände, wo kein schattender Pflanzenwuchs den Lichteinfall mildert. Die Höhlen-Wasserassel wurde in der Sägebach-Quelle, soweit bekannt, zum ersten Mal ins Freie austretend gefunden,

wenn auch nur im Schuttgrund. Wie mag dies in der Nacht sein? Im September 1957 trug ein ♀ Eier.

Aus der Übersicht über das ganze Karstgelände sei ergänzend bemerkt, daß in den Quellen des von der Höfle-Alm abfließenden Bächleins (huminbraunes Wasser) keine Niphargen gefunden werden konnten.

F Zur Fauna der weiteren Hölloch-Umgebung

(H. Freude)

Die obertägige Faunenaufsammlung beschränkte sich auf Insektenfunde, überwiegend Käfer. Sie sollen als Beitrag zur Kenntnis des Ifenstockes, als ein zweites Ergebnis der Hölloch-Kundfahrt 1949 mitgeteilt werden; handelt es sich doch um ein wenig besammeltes Gebiet.

Carabidae, Laufkäfer

Die angekreuzten Arten finden sich an besonders feuchten Stellen des südwestlichen Mahd-tal-Hanges.

Carabus silvestris nivosus Heer, 1 ♂, Mahdtal, 3. IX., ca. 1550 m.

Nebria jokischii Sturm. 2 Ex., Mahdtal, 3. IX., ca. 1600 m.

Nebria castanea Boh. 4 ♂, 1 ♀, Mahdtal, 3. IX., ca. 1600 m.

Pterostichus panzeri (Panz.). 2 ♀, Thorkopf-Kar, 3. u. 7. IX., ca. 1800 m.

Pter. jurinei (Panz.). 1 ♀, Mahdtal, 7. IX., ca. 1600 m.

Pter. multipunctatus (Dej.). 1 ♀, Mahdtal, 3. IX., ca. 1550 m.

Pter. metallicus F. 1 ♀, Mahdtal, 3. IX., ca. 1500 m.

Pter. strenuus (Panz.). 2 ♂, 1 ♀, Mahdtal, 3. IX., ca. 1700 m.

Haptoderus pumilio Dej. 1 ♂, 1 ♀, Thorkopf-Kar, 3. IX., ca. 1800 m.

Bembidium bipunctatum (L.). 3 ♂, 3 ♀, Thorkopf-Kar, 3. u. 7. IX., ca. 1800 m.

Trechus obtusus Er. 3 ♂, 3 ♀, Mahdtal, 3. u. 7. IX., ca. 1500–1700 m.

Tr. glacialis Heer. 1 Ex., Mahdtal, 7. IX., ca. 1600 m.

Amara erratica (Duftschm.). 1 ♂, Mahdtal, 3. IX., ca. 1600–1700 m.

Calathus fuscipes (Goeze). 1 ♂, Mahdtal, 9. IX., ca. 1400 m.

Dityscidae, Schwimmkäfer

Agabus guttatus Payk. 1 ♂, 2 ♀, Mahdtal-Quelle, 3. u. 7. IX., ca. 1650 m.

Agab. congener Thunb. 1 ♂, Quellregion „Im Mahd“, Weiher, 7. IX., 1600 m.

Agab. bipustulatus L. 1 ♂, 1 ♀, Mahdtal-Alpe, Weiher, 7. IX., ca. 1500 m.

Hydroporus foveolatus Heer. 9 Ex., Mahdtal und Karssee, 3. u. 7. IX., ca. 1500–1650 m und 1800 m. Unter den Steinen des Ufers am Rande des Gewässers lagen in länglich-runden Erdhöhlen die Puppen der Art.

Staphylinidae, Kurzflügler

Proteinus atomarius Er. 1 Ex. in Barberfalle, Mahdtal, 7. IX., ca. 1550 m.

Omalium caesum Grav. 1 Ex., wie voriger.

Omal. septentrionis Thoms., 1 Ex. in faulem Steinpilz, Höfle-Alpe, 5. IX., ca. 1200 m.

Philonthus marginatus Sturm. 4 Ex., wie vor.

Oxypoda formosa Kraatz. 3 Ex., wie vor.

Bolitobius lunulatus L. 1 Ex. aus frischem roten Täubling, 5. IX., Höfle-Alpe, ca. 1200 m.

Bolit. exoletus Er. forma *dorsalis* Rey. Wie vor.

Atheta monticola Thoms. 1 Ex., Höfle-Alpe, ca. 1200 m, 5. IX. aus holosaprobem Steinpilz.

Athet. corvina Thoms. 1 Ex. wie vor.

Athet. picipes Mannh. 1 Ex., wie vor.

Athet. sodalis Er. 1 Ex., wie vor.

Athet. britanniae Bernh. (= *fulvipennis* Muls. et Rey). 1 Ex., wie vor.

Athet. cinnamoptera Thoms. 1 Ex., wie vor.

Athet. castanoptera Mannh. 1 Ex., wie vor.

Athet. atramentaria Gyll. 1 Ex., Mahdtal, ca. 1550 m, aus Barberfalle, 7. IX.

Athet. picipennis Mannh. 1 Ex., wie vor.

Silphidae, Aaskäfer

Silpha tyrolensis Laichg. Häufig im ganzen Gebiet.

Copridae, Mistkäfer

Geotrupes stercorosus Scriba. 1 Ex., Höfle-Alpe, ca. 1200 m, 5. IX. in faulem Steinpilz.

Aphodius rufipes L. 2 Ex., Mahdtal-Alpe, 3. IX., ca. 1500 m.

Hydrophilidae, Wasserkäfer

Helophorus nivalis Giraud. 1 Ex. Weiher bei der Mahdtal-Alpe, 7. IX., ca. 1500 m.

Heloph. glacialis Villers. 1 Ex., wie vor.

Hydraena gracilis Germ. 1 ♀ Aubachquelle, 1080 m, 5. IX.

Cercyon impressus Sturm. 7 Ex. Mahdtal-Alpe, 3. IX., ca. 1500 m, aus Kuhfladen.

Cryptophagidae, Verborngenfresser

Cryptophagus scanicus L. f. *patruelis* Sturm. In großer Zahl in Barberfallen, Mahdtal, 1400–1500 m, 4. u. 5. IX.

Buprestidae, Prachtkäfer

Agilus coerulescens Rossi. 1 Ex., Mahdtal, ca. 1350 m, 2. IX.

Elateridae, Schnellkäfer

Corymbites aeneus L., mit var. *cyaneus* Marsh. Je 1 Ex. Mahdtal-Alpe, ca. 1500 m, 3. IX.

Chrysomelidae, Blattkäfer

Chrysochloa speciosissima Scop. 1 Ex. Mahdtal-Alpe, 3. IX., 1500 m.

Phyllodecta vulgatissima L. 2 Ex. Mahdtal, ca. 1350 m, 2. IX.

Curculionidae, Rüsselkäfer

Otiorrhynchus fuscipes Ol. 1 Ex. Mahdtal-Alpe, ca. 1500 m, 3. IX.

Otiorrh. niger F. 3 Ex., wie vor., 3. u. 7. IX.

Otiorrh. morio F. 4 Ex. Mahdtal, ca. 1500–1700 m, 3. IX.

Otiorrh. alpicola Boh. 1 Ex. Mahdtal, ca. 1500 m, 3. IX.

Notaris acridulus L. ♂ ssp. *montanus* Faust. 1 Ex. Mahdtal, ca. 1500 m, 3. IX.

Aus anderen Insektengruppen wurden noch erbeutet:

Lepidoptera, Schmetterlinge

Außer den bereits angeführten *Triphosa sabaudiata* Dup. und *Scoliopteryx libatrix* L.:

Hepialus ganna Hb. 1 ♂ Mahdtal-Alpe, ca. 1500 m, 3. IX.

Agrotis cuprea Hb. 1 Ex. Mahdtal, ca. 1450 m, 6. IX.

Hymenoptera, Hautflügler: *Apidae*, Bienen

Bombus lucorum L. 1 ♂, 1 ♀, Mahdtal.

Bomb. agrorum F. 1 ♀, wie vor.

Bomb. hortorum L. 1 ♂, wie vor.

Bomb. mucidus Gerst. 1 ♀, wie vor.

Bomb. mastrucatus Gerst. 1 ♂, 1 ♀, 2 ♀, wie vor.

Alle Hummeln wurden an einem Vormittag (7. IX.) an den Blüten von *Aconitum napellus*, *Calamintha alpina* und *Thymus serpyllum*, nahe der Mahdtal-Alpe, ca. 1500 m, gefangen.

Siricidae, Holzwespen

Paururus juvencus L. 2♀, Umgebung Hölloch, ca. 1400 m, 2. u. 6. IX.

Bei aller Lückenhaftigkeit, die selbst der Käferliste noch anhaftet, und durch die verhältnismäßig geringe Zeit bedingt ist, die für das Sammeln außerhalb der Höhle zur Verfügung stand, aber auch durch die in der späten Jahreszeit schon verarmte Fauna, sind die Fänge in mancher Beziehung doch recht aufschlußreich, besonders wegen der Höhenlage und einiger nicht alltäglicher Funde.

G Literatur

Ehrmann, G., *Mollusca*, in Brohmer: Die Tierwelt Deutschlands, Leipzig 1926.

Fries, O.: Die Falkensteiner Höhle, ihre Fauna und Flora. — Württemberg. naturwiss. Jahreshefte 30, 86—163, Stuttgart 1874.

Gebhardt, A. v.: Die Tierwelt der Mánfaer Höhle. — Festschrift für Professor Dr. Embrik Strand, vol. III, 217—240, 1937.

Holdhaus, K.: Die Spuren der Eiszeit in der Tierwelt Europas. — Abh. zool.-bot. Ges. Wien, 493 S., LII Tafeln, Wien 1954.

Janetschek, H.: Beitrag zur Kenntnis der Höhlentierwelt der Nördlichen Kalkalpen. — Jahrb. Verein zum Schutze der Alpenpflanzen und Tiere, 69—92, 1 Tafel, 1 Abb., München 1952.

Meixner, F.: *Arctaphaenops angulicollis* n. gen., n. sp. — Koleopt. Rundschau 11, Wien 1925.

Schellenberg, A.: *Gammaridae*, in Brohmer: Die Tierwelt Mitteleuropas. Crustacea. Bd. II., S. 193—211, Leipzig 1932.

— Vier blinde Amphipoden in einem Brunnen Oberbayerns. — Zool. Anz. 98, 131—139, Leipzig 1932.

Wichmann, H. E.: Echte Höhlentiere in den Ostalpen. — Zool. Anz. 67, 250—252, Leipzig 1925.

— Untersuchungen über die Fauna der Höhlen. *Meta Menardi*. — Zool. Anz. 75, 152—156, Leipzig 1928.

(Verschiedene Bestimmungstabellen für Käfer.)

Bei der Redaktion eingegangen am 28. Juli 1958.

BOTANISCHE BEOBACHTUNGEN AUS DEM HÖLLOCH-BEREICH

Von J. Karl¹

Der alpine Karst ist neben seiner geologischen und speläologischen Untersuchung auch Gegenstand einer Reihe botanischer Arbeiten, die sich gerade in jüngster Zeit in Österreich mit den Zusammenhängen zwischen Vegetationsentwicklung und Verkarstung befaßt haben. Es ginge über den hier gesteckten Rahmen einer Darstellung der botanischen Untersuchungsergebnisse der Hölloch-Befahrung 1949 weit hinaus, diese Standort-Untersuchungen zu diskutieren, zumal sie über die Entstehung und Entwicklung dieser aktiven Schachthöhle nichts auszusagen vermögen. Da jedoch die nähere Umgebung des Hölloch-Schachtes schöne Karrenbildungen zeigt, sei zumindest diese Erscheinung des Hochkarstes in ihren Beziehungen zur Vegetation einleitend gestreift.

Die Umgebung des Hölloches liegt in der Region des Bergmischwaldes, in dem neben der Fichte vor allem Tanne und Buche eine gewichtige Rolle spielen. Diese montanen Wälder (im Hölloch-Bereich auf Schrattenkalk und beispielsweise im östlichen Teil der bayerischen Alpen auf Dachsteinkalk) stehen vielfach auf alten Karrenfeldern, was sich u. a. sehr schön in den urwaldartigen Beständen der Totenlöcher im Ramsauer Tal beobachten läßt.

Diese Tatsache gestattet hinsichtlich des Alters der von Vegetation bedeckten Karren zwei Schlüsse: Einmal kann man annehmen, daß die Karren zu einer Zeit, etwa im frühen Postglazial, entstanden sind, als klimatisch ein Baumwuchs nicht möglich war. Ferner sind jedoch auch menschliche Eingriffe denkbar, und damit wäre die Entstehung der Karren in historischer Zeit möglich. Für diesen Fall wäre künstliche Entwaldung mit darauffolgender Verkarstung und danach eine Rückkehr des Waldes auf die Karrenfelder anzunehmen. Diese letztere Auffassung wird vor allem durch Beobachtungen Wendelbergers (1956) im Dachsteingebiet gestützt, wonach aufgelassene, verkarstete Almflächen vom Wald auf natürliche Art durch Anflug wiederbesiedelt werden. Die Entscheidung darüber, welches Alter für die Karren in der Waldregion des Gottesacker-Gebietes anzunehmen ist, gelingt nur mangelhaft. Für einen starken menschlichen Einfluß spricht vor allem die Tatsache, daß der ursprüngliche, montane Mischwald nur mehr in Resten vorhanden ist, während heute die Fichte eindeutig dominiert.

Es ist weiter zu berücksichtigen, daß noch im vorigen Jahrhundert in unserem Gebiet die Waldweide eine weitverbreitete Wirtschaftsform war. Es läßt sich unschwer nachweisen, daß mit dieser rein extensiven Bodennutzung eine starke Verfichtung und auch Überalterung der Bestände einhergegangen ist. Außerdem bringt diese Wirtschaftsform Bodenschäden mit sich, die eine Karrenbildung wesentlich fördern. Durch den Tritt des Weideviehs werden die ursprünglich vorhandenen, geringmächtigen Rendzina-Böden und Braunlehme zunächst verdichtet und damit der Oberflächenabfluß der Niederschläge gefördert. Die leichtbeweglichen Rendzinen werden abgespült, während die Braunlehme außerdem vielfach ihre ursprüngliche Struktur verlieren und infolge der Zerstörung des Tonkomplexes in Einzelkornstruktur übergeführt werden. Sie unterliegen damit einer raschen und tiefgehenden Einspülung in die zahlreich vorhandenen Klüfte

¹ Anschrift des Verfassers: München 8, Jugendstraße 7.

und Spalten des Anstehenden, so daß dieses zutage tritt. Die Bildung von Karren ist in diesem Geländezustand das Werk relativ kurzer Zeiträume. Beschleunigt wird dieser Vorgang ganz erheblich bei gleichzeitiger Entwaldung, also auf Alpflächen.

Wenn in der weiteren Umgebung des Hölloches, die ein Teil der Mahd tal-Alpe ist, die Karrenbildung trotzdem auf kleinere Partien beschränkt ist, so hat das u. a. seinen Grund darin, daß hier nicht nur Schrattenkalk, sondern auch Sandstein und Mergel der Oberkreide (s. Seite 18f) anstehen, die wesentlich stabilere Böden liefern; diese bedecken gemeinsam mit eiszeitlichen Moränenablagerungen gelegentlich auch den Schrattenkalk.

Floristisch bietet die Umgebung wenig Bemerkenswertes. Die Weideflächen sind ein uncharakterisiertes Mosaik der Allgäuer Fettweide und der subalpinen *Carex firma*-Rasen. Letztere findet sich vor allem an flachgründigen Standorten; sie besiedelt gemeinsam mit reinen Fels- und Schuttpflanzen auch die Karren. Zusammen mit schattenliebenden Arten finden wir sie auch am Schachtmund.

Carex firma Host., *Galium pumilum* Murray, *Gentiana clusii* Perr. & Soug., *Biscutella laevigata* L., *Campanula cochlearifolia* Lmk., *Carduus defloratus* L. sind vor allem für die trockenen Partien zu nennen, während im Schatten *Carex ferruginea* Scop., *Valeriana montana* L. und *Viola biflora* L. zu finden sind.

Diese Phanerogamen verschwinden jedoch bereits kurz unterhalb des Hölloch-Schachtmundes und werden von einer Moosgesellschaft abgelöst, die bis etwa in 5 Meter Tiefe die Wände besiedelt und sich aus folgenden Arten zusammensetzt: *Preissia quadrata* (Scopoli) Nees, *Barbula paludosa* Schl., *Distichium capillaceum* (Sw. ap. Hedw.) an den nassen, schattigen Stellen, während *Eurhynchium swartzii* (Turner) Hobk. auf die wenigen trockenen Standorte beschränkt ist. Die Schachtwand unterhalb dieser 5 Meter bietet selbst für anspruchslose Moose nur mehr sehr geringe Lebensmöglichkeiten, und wir finden hier lediglich eine einzige Art, *Cratoneuron filicium* (L. ap. Hedw.) Roth, ein sehr vielgestaltiges und anpassungsfähiges Moos feuchter Felsen und Bachränder. Es bildet an der unteren Schachtwand insbesondere an den vorgewölbten Buckeln kleine Polster.

Die letzten Pflanzen im Schacht finden sich auf einem Absatz in 18 Meter Tiefe, und wieder sind es Moose, die mit dem wenigen Licht und den niedrigen Temperaturen an diesem extremen Standort auszukommen vermögen. Eingeschwemmtes faulendes Holz bietet *Isopterygium pulchellum* (Dicks. ap. Hedw.) Lindb. noch Lebensmöglichkeiten; die zweite hier vorkommende Art ist *Thamnium alopecurum* (L. ap. Hedw.) Br. eur., die insofern bemerkenswert ist, als sie gewöhnlich nicht in Höhenlagen über 1100 Meter vorkommt. Das geringe Lichtbedürfnis dieser Art wird durch die Tatsachen dokumentiert, daß sie vielfach aus Höhleneingängen bekannt ist und in einer submersen Form sich in 60 Meter Tiefe im Genfer See findet.

Unterhalb des kleinen Absatzes bei 18 Meter Tiefe ist der Schacht vegetationsfrei.

In der Höhle selbst finden sich im Bereich der Oberen Wasserklamm (s. Kartenbeilage) sinterartige Bildungen in Form kugeliger, pilzförmiger und gelegentlich blumenkohlformiger, schwammigweicher Ausscheidungen. Die Mehrzahl ist etwa erbsengroß, einige erreichen auch 2 bis 3 Zentimeter Durchmesser. Es erhebt sich die Frage, ob es sich um organische Bildungen handelt, da die Formen eine rein mechanische Entstehung schwer erklärlich machen. Es wurde etwa an Eisenbakterien oder ähnliche Mikroorganismen gedacht (Magdeburg 1933). Die mikroskopische Untersuchung ergab keinerlei Anhaltspunkte für diese Annahme. Weder im Dünnschliff noch durch Färbung ließen sich Organismen nachweisen. Das läßt die Möglichkeit einer anorganischen Entstehung dieser „organisch“ aussehenden Gebilde denkbar erscheinen. An Wänden, die sowohl Spritzwasser als auch starkem Seitenwind ausgesetzt sind, fanden sich, deutlich in Reihen

parallel zur Windrichtung angeordnet, knopfförmige Ausscheidungen in größerer Anzahl, und es erscheint nicht abwegig, diese beiden Faktoren (Spritzwasser und Wind) für die Entstehung dieser Gebilde mit verantwortlich zu machen (s. auch Seite 49). Möglich wäre auch ihre Entstehung infolge von lösender und erodierender Wirkung durch Hochwässer des Höhlenbaches.

Die bescheidene botanische Ausbeute entspricht dem Charakter einer aktiven Schachthöhle, ja, sie unterstreicht diesen noch. Die Vegetation des Schachtes ist im wesentlichen von den Lichtverhältnissen abhängig, während die Temperatur eine geringere Rolle zu spielen scheint (s. Seite 70—75).

Zitierte Literatur

- Magedeburg, P.: Organogene Kalkkonkretionen in Höhlen. Beitrag zur Biologie der in Höhlen vorkommenden Algen. — Sitz.-Ber. der Naturforsch.-Ges. zu Leiptig 1933.
Wendelberger, G.: Vegetationsstudien auf dem Dachsteinplateau. — Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwiss. Kenntnisse in Wien, 96, 1—13, Wien 1956.

Bei der Redaktion eingegangen am 6. Februar 1958.

VERZEICHNIS DER HÖHLEN IM GEBIET DES HOHEN IFEN, GOTTES- ACKER UND KACKENKOPF

Von K. Cramer¹

Die regionale Umgrenzung des Gebietes bilden im Osten die Breitach, im Süden der Schwarzwasser-Bach, im Westen die Subers-Ach, im Norden das Hirschgunden-Tal und die Starzlach.

Damit entspricht die Abgrenzung des Gebietes derjenigen der Teilgruppe: Hoher Ifen (2230 m) Nr. 1126 der 2. Untergruppe: Allgäuer Voralpen Nr. 1120 in der Gliederung des Österreichischen und Deutschen Höhlenverzeichnisses.

Die Gliederung in natürliche Gebirgsgruppen erfolgt nach morphologischen und geologischen Gesichtspunkten.

Das Verzeichnis enthält sämtliche natürlichen Höhlen und größere Schächte im genannten Gebiet. Einstweilen sind auch alle fraglichen und unsicheren Angaben aufgenommen worden, da deren Zusammenstellung und Veröffentlichung womöglich eine Klärung bringt.

Dem Namen jeder Höhle werden folgende Erläuterungen beigefügt: kurze Ortsbeschreibung, alle Doppelnamen, Seehöhe des Eingangs, Rechts- und Hochwert nach dem Gauß-Krüger-Netz, kurze Charakterisierung der Höhle, Ausmaße der Höhle (L = Gesamtlänge aller erforschten Gänge, T = Schachttiefe, H = Gesamthöhenunterschied zwischen höchstem und tiefstem Punkt).

Die Gauß-Krüger-Werte wurden auf dem Gradabteilungsblatt 1:25.000 Nr. 8626 Hoher Ifen ermittelt.

- 1126 / 1 Hölloch² im Mahdtal bei Riezlern
1438 m, r 86 980 — h 49 440
aktive Schacht- und Horizontalhöhle, L 400 + X m, T 77 m, H 105 m
- 1126 / 2 Schneckenloch im Laublisbachtal bei Schönenbach
1270 m, r 80 800 — h 49 500
halbaktive Horizontalhöhle, L 1050 m
- 1126 / 3 Ladstatthöhle im Kürenwald bei der Ob. Au-Alpe
= Schweigerhöhle = Sechserhöhle = Ponorhöhle im hinteren
Kürenwald = Schachthöhle im Kürenwald = Schachthöhle auf
der Ladstatt
1140 m, r 86 980 — h 47 050
Ponorhöhle im Abschluß eines kleinen Erosionsgrabens, T 47 m
- 1126 / 4 Schwarzwasserhöhle im Schwarzwasserbach-Tal oberhalb des
Walmendinger Hauses, Eingang am Fuß der südlichen Schluchtwand
1095 m, r 87 300 — h 46 550
periodisch aktive Schichtfugenhöhle
- 1126 / 5 Auenschacht auf dem bewaldeten Rücken östlich der Unt. Auen-
Alpe
1285 m, r 86 250 — h 45 850
1,5 m weiter inaktiver Schacht, T 15 m

¹ Anschrift des Verfassers: Institut für Geologie der Technischen Hochschule München Arcisstraße 21.

² Nach Brandstätter (1960) beträgt die Höhenkote ca. 1450 m.

- 1126 / 6 Fuchslotch im Schwarzwasserbach-Tal westlich des Hauses Wäldele
1290 m, r 96 200 — h 46 100
Schichtfugenhöhle mit Firstspalte, inaktive Quellschicht, L 20 m
- 1126 / 7 Aubachhöhle im Kurenwald oberhalb der Aubach-Quelle =
Schweigerloch
1085 m, r 88 450 — h 47 550
inaktive Quellschicht
- 1126 / 8 Schmalzbodenhöhle im Kurenwald oberhalb der Schmalzboden-
Alpe
1460 m, r 86 340 — h 47 870
kleine Kluftschicht
- 1126 / 9 Jungfrauenhöhle im Mahdtal bei Riezlern
1550 m, r 86 410 — h 49 620
Horizontalschicht, L 9 m
- 1126 / 10 Seealphöhle im Mahdtal bei Riezlern
1570 m, r 87 540 — h 49 700
eingestürzte Höhlenschicht, L 10 m
- 1126 / 11 ? Höhle in den Unteren Gottesacker-Wänden an der großen NE-
Verwerfung
- 1126 / 12 ? Höhle südlich Hochrubach am Gottesacker-Plateau
Firstspaltenhöhle
- 1126 / 13 ? Höhle im Löwental am Gottesacker-Plateau
Firstspaltenhöhle
- 1126 / 14 ? Höhle im oberen Schönebach-Tal am Westhang des Hohen Ifen
größere Eishöhle
- 1126 / 15 ? Altmutterloch in der „Plattenmauer“ der Hooch-Ifen-Südwand
- 1126 / 16 ? Höhle am Eingang des Schwarzwasser-Tales
verzweigte Höhle, L 150 m
- 1126 / 17 ? Höhle in der Nähe der Höfle-Alpe im Mahdtal bei Riezlern
Horizontalschicht, L 15 m

Bei der Redaktion eingegangen am 25. November 1958.

SPELÄOLOGISCHE BIBLIOGRAPHIE DES GEBIETES VON HOHEM IFEN, GOTTESACKER UND KACKENKOPF

Von H. Cramer † und K. Cramer¹

Die Bibliographie beinhaltet für den betrachteten Raum das gesamte Schrifttum, das die Karst- und Höhlenkunde (Speläologie) einschließlich ihrer Nachbarwissenschaften betrifft; also Morphologie, Geologie, Hydrologie, Meteorologie, Zoologie, Botanik, Geschichte und Brauchtum.

Die regionale Umgrenzung des Gebietes entspricht der Teilgruppe: Hoher Ifen (2230 m) Nr. 1126 des Österreichischen und Deutschen Höhlenverzeichnisses (s. Seite 107).

Zeitungsberichte werden nicht, Schrifttum ohne Verfasserangabe wird am Ende aufgeführt.

Für die Dreigliederung des Stoffes waren die Richtlinien der Internationalen Bibliographie für Speläologie (jährliche Literaturberichte von H. Trimmel, Wien) maßgebend.

Stand vom Sommer 1961.

Die Bibliographie ist gegliedert in:

- I Geospeläologie
 - 1. Speläologie
 - 2. Geologie
 - 3. Morphologie
 - 4. Meteorologie und Hydrologie
- II Biospeläologie
 - 1. Zoologie
 - 2. Botanik
- III Anthropospeläologie
 - 1. Geschichte
 - 2. Brauchtum

I Geospeläologie

1. Speläologie

Berg, L.: Tätigkeitsbericht 1950/51 des Bundesdenkmalamtes. — Prot. 6. Vollvers. Bundeshöhlenkomm. 1952, S. 105—107, Wien 1952.

Brandstätter, L.: Alpiner Karst und Bergsturz am Hohen Ifen im Allgäu. — Topogr.-morpholog. Kartenprobe VI, 3, 1:25.000, München 1958.

Cramer, H.: Höhlen in der Hochifen-Gruppe (Allgäu). — Ztschr. f. Karst- und Höhlenkunde 1942/43, S. 36—43, 1942/43.

Eckert, M.: Das Gottesackerplateau (ein Karrenfeld) in der Gebirgsgruppe des Hohen Ifen. — Ztschr. d. D. u. OeAV., 31, S. 52—60, 1900.

— Das Gottesackerplateau, ein Karrenfeld im Allgäu. — Wiss. Erg.-H. z. Ztschr. d. D. u. OeAV., 1, 3, S. 1—108, 1902.

— Die Verwitterungsformen in den Alpen, insbesondere in den Kalkalpen. — Ztschr. d. D. u. OeAV., 36, S. 16—35, 1905.

¹ Anschrift des Verfassers: Institut für Geologie der Technischen Hochschule München, Arcisstraße 21.

- Flatz, I.: Das Hölloch im Mahdalt, seine Entstehung und Erforschung. — Das Kleine Walsertal, **3**, 5. F., S. 20—23, 1956.
- Früh, J.: Das Karrenproblem (Referat über M. Eckerts Gottesackerplateau). — Geogr. Ztschr., **9**, S. 223—225, 1903.
- Fuchs, S.: Eine Höhlenfahrt und sonst allerhand. — Das schöne Allgäu, **5**, S. 18, 1937.
- Koegel, L.: Höhlen in Bayern. — Die Heimat, Beil. d. Münchner Neuesten Nachrichten, **12**, v. 14. 6. 1933, S. 46.
- Karrenfelder europäischer Hochgebirge. — Natur und Volk, **68**, S. 276—284, 1938.
- Krieg, W.: Die Bärenhöhle im Bregenzer Wald bearbeitet. — Die Höhle, **7**, H. 4, S. 105, 1956.
- Lindner, H.: Unterirdische Flüsse und Bäche. — Naturwiss. Wochenschr. NF, **19**, S. 113—121, Jena 1920.
- Alpine Karrenfelder. — Naturwiss. Wochenschr. NF, **19**, H. 48, S. 760—764, Jena 1920.
- Das Karstphänomen in den Alpen. — Der Alpenfreund, **2**, H. 7/8, München 1921.
- Unterirdische Wasserläufe. — Natur und Kultur, **25**, S. 52—55, 1928.
- Das Karrenphänomen. — Peterm. Mitt. Erg.-H. 208, 1930.
- Seidl, E.: Kerbwirkung in Technik und Wissenschaft; Kerbwirkung in der Geologie. — Ztschr. d. Deutsch. Geol. Ges., **77**, 1925, S. 300—347, Berlin 1926.
- Spöcker, R. G.: Untersuchungen an den Karrenfeldern des Gottesackerplateau im bayerischen Allgäu. — Mitt. d. Deutsch. Ges. f. Karstforschung, S. 5—6, Nürnberg 1949.
- Forschungsbericht über die Höllocherkundung bei Riezlern im Allgäu. — Mitt. d. Deutsch. Ges. f. Karstforschung, S. 7—10, Nürnberg 1949.
- Das Hölloch am hohen Ifen wurde erforscht. — Mitt. DAV., H. 11, 1949.
- Forschungsbericht über die zweite Erkundung des Hölloches bei Riezlern im Kleinwalsertal. — Mitt. d. Deutsch. Ges. f. Karstforschung, H. 3, S. 1—6, Nürnberg 1950.
- Die Schachthöhle auf der Ladstatt im Kleinwalsertal. — Mitt. d. Deutsch. Ges. f. Karstforschung, H. 4, S. 3—4, Nürnberg 1950.
- Stois, A.: Karren. — Der Bergsteiger, **6**, S. 621—623, 1936.
- Studer, B.: Notiz über Karrenfelder. — Jb. d. Schweizer Alpenclub, **9**, S. 545, Bern 1874.
- Trimmel, H.: Das Schneckenloch (1270 m) bei Schönenbach (Vorarlberg). — Mitt. d. Höhlenkomm. 1953, S. 42—46, Wien 1955.
- Das Schneckenloch (1270 m) bei Schönenbach. — Jb. d. Vorarlberger Landesmuseumsvereins, **98**, S. 87—104, Bregenz 1955.
- Höhlen und Niveaus. — Die Höhle, **6**, H. 1, S. 5—8, 1955.
- Wolf, B.: Unglücksfälle (betr. Hölloch am Ifen). — Mitt. über Höhlen- und Karstforschung, S. 173, 1936.
- Anonym: Notiz über das Hölloch im Mahdertal. — Mitt. d. D. u. OeAV. 1906, S. 265, 1906.
- Das Hölloch im Mahdertal. — Das schöne Allgäu, **4**, H. 19, S. 307—310, 1936.

2. Geologie

- Allemann, F., Blaser, R. und Nänny, P.: Neuere Untersuchungen in der Vorarlberger Flyschzone. — Eclogae geol. Helv., **44**, H. 1, S. 159—168, Basel 1951.
- Ampferer, O.: Zur Großtektonik von Vorarlberg. — Jb. geol. B. A. Wien, **82**, Wien 1932.
- Benzinger, T.: Zur Geologie des Quellengebietes der Bregenzer Ache. — Jb. geol. B. A. Wien, **79**, Wien 1929.

- Bettenstaedt, F.: Mikrofaunen aus dem alpinen Raum. — Unveröff. Notizen Preussag Hannover 1954, 68., 76. und 81. Notiz.
- Mikropaläontologische und stratigraphische Untersuchungen im Helvetikum und Flysch der bayerischen und Vorarlberger Alpen und einige tektonische Folgerungen. — Paläont. Ztschr., **31**, S. 7, Stuttgart 1957.
 - Zur stratigraphischen und tektonischen Gliederung von Helvetikum und Flysch in den Bayerischen und Vorarlberger Alpen auf Grund mikropaläontologischer Untersuchungen. — Ztschr. d. Deutsch. Geol. Ges., **109**, H. 2, S. 566—592, Hannover 1958.
- Blumenthal, M.: Kurze Notiz über die stratigraphisch-tektonische Aufteilung der ultrahelvetisch-austriden Grenzzone in Vorarlberg und im Allgäu. — Jb. geol. B. A. Wien, **86**, S. 197—201, 1936.
- Blumrich, J.: Erdgeschichte Vorarlbergs. — Heimatkunde von Vorarlberg, H. 1, 74 S. Wien (Haase) 1929.
- Bolli, H.: Zur Stratigraphie der Oberen Kreide in den höheren helvetischen Decken. — Eclogae geol. Helv., **37**, S. 217, Basel 1914.
- Cornelius, H. P.: Vorläufiger Bericht über geologische Aufnahmen in der Allgäuer und Vorarlberger Klippenzone. — Verh. geol. B. A. Wien 1921.
- Zur Deutung der Allgäuer und Vorarlberger Juraklippen. — Verh. geol. B. A. Wien 3, 1923.
 - Zum Problem der Exotischen Blöcke und Gerölle im Flysch des Allgäus. — Jb. geol. B. A., **74**, H. 3/4, Wien 1924.
 - Das Klippengebiet von Balderschwang im Allgäu. — Geol. Archiv, **4**, S. 1 bis 14, 49—61, 109—124, 155—168, 193—213, 1926/27.
- Cramer, K.: Die Geologie des Mahdtales und der Karst des Gottesackergebietes (Allgäu-Vorarlberg). Unveröff. Dipl.-Arb., Techn. Hochschule München, 1959.
- Fichter, H. J.: Die Gesetzmäßigkeiten der zyklischen Gliederung der helvetischen Unterkreide und ihre Anwendung auf die Stratigraphie des helvetischen Albien. — Eclog. Geol. Helv. 1933, S. 198—202, 1933.
- v. Gümbel, C. W.: Beiträge zur geognostischen Kenntnis von Vorarlberg und dem nordwestlichen Tirol. — Jb. geol. R. A., **7**, Wien 1856.
- Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes. Gotha 1861.
- Haniel, C.: Geologischer Führer durch die Allgäuer Alpen südlich von Oberstdorf. — München 1914.
- Heim, A., Baumberger, E. und Fussenegger, S.: Jura und Unterkreide in den helvetischen Alpen beiderseits des Rheins (Vorarlberg und Ostschweiz). — Denkschr. Schweiz. Naturf. Ges. Zürich, **68**, H. 2, S. 155—220, Zürich 1933.
- Heim, A., Seitz, O. und Fussenegger, S.: Die mittlere Kreide in den helvetischen Alpen vom Rheintal und Vorarlberg und das Problem der Kondensation. — Denkschr. Schweiz. Naturf. Ges. Zürich, **69**, H. 2, S. 185—310, Zürich 1934.
- Knauer, J.: Geologischer Überblick über die Alpen zwischen dem Bodensee und dem Tegernsee und ihr Molassevorland. Abriß d. Geologie v. Bayern rechts d. Rheins, hg. von M. Schuster, Abt. II, 184 S., München 1928.
- Knipscheer, H. C. G.: Bericht über die mikropaläontologische Untersuchung von Oberkreide und Paläozän-Proben des Pos. Blattes Hoher Ifen (884). — Unveröff. Notiz Bayer. Geol. Landesamt München 1951.
- Kockel, C. W.: Die Nördlichen Kalkalpen zur Kreidezeit. — Mitt. geol. Ges. Wien, **15**, S. 99—168, Wien 1922.
- Kraus, E.: Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Oberstdorf 885. Mit Erläuterungen. München 1932.
- Struktur und Bild der Allgäuer Alpen. — Ztschr. d. Deutsch. Geol. Ges., **105**, S. 564, Hannover 1955.

- Lange, P.: Geologie des Schwarzwassertales in Vorarlberg. Unveröff. Dipl.-Arb., Freie Univ. Berlin, 1954.
- Die Geologie des Kleinen Walsertales in Vorarlberg. Unveröff. Diss., Freie Univ. Berlin, 1955.
 - Die Vorarlberger Flyschzone am Südrand des helvetischen Halbfensters zwischen Hoher Ifen und Widderstein im Kleinen Walsertal. — *Geologie*, 5, S. 172—218, Berlin 1956.
- Leuchs, K.: Geologischer Führer durch die Kalkalpen vom Bodensee bis Salzburg. Überblick über Entstehungsgeschichte und Bau des Gebietes. 144 S. München 1921.
- Geologie von Bayern. 2. Teil, Bayerische Alpen. 374 S., Berlin 1927 (= Handb. d. Geol. u. Bodenschätze Deutschlands, hg. v. E. Krenkel, 2. Abt. 3).
- Maschek, W.: Zur Geologie des Gebietes zwischen Gopfberg und Blasenka (Bregenzer Wald). — Unveröff. Diss., Univ. Innsbruck, 1951.
- Zur Geologie des Gebietes zwischen Gopfberg und Blasenka (Bregenzer Wald). — *Jb. Vorarlberger Landesmuseumsvereins* 1955, S. 153—154, 1955 (Autorreferat).
 - Faziesverteilung im Helvetikum von Vorarlberg. — 6 S., Maschinschr.-Notiz, Töging, 1958.
- Mylius, H.: Die geologischen Verhältnisse des Hinteren Bregenzer Waldes in den Quellgebieten der Breitach und der Bregenzer Ache bis südlich zum Lech. — *Mitt. d. Geogr. Ges. München*, 4, S. 1—96, München 1909.
- Jura, Kreide und Tertiär zwischen Hochblanken und Hohem Ifen. — *Mitt. d. geol. Ges. Wien*, 4, S. 483—618, Wien 1911.
 - Geologische Forschung an der Grenze zwischen Ost- und Westalpen. I. Bd. München 1912.
- Noth, R.: Foraminiferen aus Unter- und Oberkreide des Österreichischen Anteils am Flysch, Helvetikum und Vorlandvorkommen. — *Jb. Geol. B. A. Wien*, Sonderbeilage 3, Wien 1951.
- Oberhauser, R.: Zur Geologie des Gebietes zwischen Canisfluh und Hohem Ifen (Bregenzer Wald). Unveröff. Diss., Univ. Innsbruck, 1951.
- Zur Geologie des Gebietes zwischen Kanisfluh und Hohem Ifen (Bregenzer Wald). — *Jb. Vorarlberger Museumsverein* 1956, S. 124—126, 1956 (Autorreferat).
- Richter, M.: Beobachtungen am Nordrand der oberostalpinen Decke im Allgäu. — *Verh. geol. B. A.*, 10, S. 162—170, Wien 1923.
- Beiträge zur Geologie der helvetischen Zone zwischen Iller und Rhein. — *Mitt. d. geol. Ges. Wien*, 17, S. 12—46, Wien 1924.
 - Geologischer Führer durch die Allgäuer Alpen zwischen Iller und Lech. 224 S. Berlin 1924 (= Sammlg. Geol. Führer Nr. 24).
 - Die Struktur der Nördlichen Kalkalpen zwischen Rhein und Inn. — *N. Jb. f. Min. usw.*, Beil. Bd., 63, B, S. 1—62, 1930.
 - Der ostalpine Deckenbogen. Eine neue Synthese zum alpinen Deckenbau. — *Jb. geol. B. A. Wien*, 80, H. 3—4, Wien 1930.
 - Die deutschen Alpen und ihre Entstehung. *Deutscher Boden V.* Berlin 1937.
 - Die größte Reliefüberschiebung der Nördlichen Kalkalpen zwischen Rhein und Donau. — *Geol. Rdsch.*, 35, S. 166—167, 1948.
 - Ergebnisse neuer Untersuchungen im Helvetikum des Vorarlberg und Allgäu. — *Abh. deutsch. Akad. Wiss. III. Kl.*, H 1, S. 77—94, Berlin 1960.
- Riedel, L.: Zur Stratigraphie der Oberkreide in Vorarlberg. — *Ztschr. d. Deutsch. Geol. Ges.*, 92, S. 69—107, Berlin 1940.
- Sax, H.: Geologische Untersuchungen zwischen Hochfreschen und Bregenzer Ache. — Unveröff. Diss., Zürich 1925.
- Schaad, H. W.: Geologische Untersuchungen in der südlichen Vorarlberger Kreideflyschzone. Unveröff. Diss., Zürich 1925.

- Beiträge zur Valanginien- und Hauterivien-Stratigraphie in Vorarlberg. — Geol. Rdsch. 17, H. 2, S. 81—108, Berlin 1926.
- Zur Geologie der jurassischen Canisfluh-Mittagsfluh-Gruppe im Bregenzer Wald. — Vierteljahresschr. Naturforsch.-Ges. Zürich, 71, Zürich 1926.
- Schaffer, F. X.: Geologie von Österreich. 810 S., Wien 1951.
- Scherzer, H.: Geologisch-botanische Wanderungen durch die Alpen. 2. Bd.: Das Allgäu. 356 S. München 1930.
- Die Allgäuer Alpen, ihre Entstehung, ihre Landschaft und ihr Pflanzenkleid. — Bayerland, 49, S. 293—304, München 1938.
- Schmidt-Thomé, P.: Exkursion in die Ammergauer und Allgäuer Alpen. — Ztschr. d. Deutsch. Geol. Ges., 102, S. 341—352, Hannover 1951.
- Geologische Exkursion in die Ammergauer und Allgäuer Alpen vom 9. bis 11. September 1950. — Geologica Bavarica, 6, S. 26, München 1951.
- Zur Geologie und Morphologie des Ifengebirgsstockes (Allgäu). Erläuterungen zur topographisch-morphologischen Kartenprobe VI 3: Alpiner Karst und Bergsturz. "Erdkunde", 14, S. 181—195, Bonn 1960.
- Seibold, E.: Fiederspalten und Drucksuturen. Beispiele aus der helvetischen Kreide Vorarlbergs. — Neues Jb. Geol. u. Paläontol., Abh., 96, H. 3, S. 357 bis 374, Stuttgart 1953.
- Straeter, H.: Geologische Untersuchungen zwischen Winterstaude und Subersach. Diss. Zürich-Den Haag 1925.
- Strobel, E.: Geologische Untersuchungen im Hohen Ifen-Gottesackergebiet. — Ztschr. d. Deutsch. Geol. Ges., 82, S. 675—708, Berlin 1930.
- Vacek, M.: Über Vorarlberger Kreide. — Jb. k. k. geol. R. A., 29, H. 4, S. 659 bis 758, Wien 1879.
- Wagner, G.: Rund um Hochifen und Gottesackergebiet. 116 S. Öhringen 1950.

3. Morphologie

- Baldauf, O.: Landschaft und Siedlung von Vorarlberg. 121 S., Wien 1932 (= Heimatkunde v. Vorarlberg, H. 5, hg. v. Vorarlberger Landesmuseum).
- Brandstätter, L.: Schichtlinien und Kantenzeichnung. Neue Methode der Geländedarstellung auf der Topographisch-morphologischen Kartenprobe 1:25.000 „Alpiner Karst am Hohen Ifen“. — „Erdkunde“, 14, S. 171—181, Bonn 1960.
- Brückner, B.: Das Geheimnis des Schwarzwasserbaches. — Das Kleine Walsertal, 2, H. 3, S. 4—6, 1955.
- Förderreuther, M.: Die Allgäuer Alpen, Land und Leute. 525 S., Kempten 1907 (3. Aufl.). 656 S. München 1929.
- Frey, G.: Wunderwerk aus Kalkstein. Ifengruppe mit Gottesacker und Hölloch. — Der Bergsteiger, 18, S. 250—258, München 1951.
- Koegel, L.: Alpin-Geographisches Wanderbuch. München 1925.
- Meißinger, E.: Almgeographie des Illergebietes. 74 S. Würzburg 1936.
- Müller, F.: Der Gottesacker am Ifen. — Das schöne Allgäu, 5, H. 16, 1937.
- Neef, E.: Die Landformung des Bregenzer Waldes. — Bad. geogr. Abh., 9, 135 S., Freiburg i. B. 1933.
- Rueß, J.: Bergwanderung auf den Hohen Ifen. — Bl. f. Natursch. u. Naturpfl., 14, S. 151—154, 1931.
- Ruminy, Th.: Der Gottesacker (Gottesackerplateau). — Deutsche Alpenzeitung, 28, S. 321—325, München 1933.
- Schwimmer, J.: Aus dem Gebiet des Hoch-Ifen. — Heimat, 13, S. 69—71, Innsbruck 1932.
- Tasche, M.: Morphologie des Illerquellgebietes. — Frankfurter Geogr. Hefte, 8, 112 S., 1934.
- Landschaftsgeschichtliche Untersuchungen im Iller-Quellgebiet. — Mitt. d. D. u. OeAV. NF, 50, H. 9, S. 215, 1934.

- Wagner, G.: Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte mit besonderer Berücksichtigung Süddeutschlands. 622 S. Öhringen 1931.
- Waltenberger, A.: Die Gebirgsgruppe des Hohen Ifen. — Ztschr. d. D. u. OeAV., 8, S. 15—44, 1877.

4. Meteorologie und Hydrologie

- Häuser, J.: Die Niederschlagsverhältnisse in Bayern und in den angrenzenden Staaten. Atlas mit Tabellen und Textband 1901—1925. — Bayer. Landesstelle f. Gewässerkunde, 76 S., München 1930.
- Messungen des Wassergehaltes der Schneedecke und der Schneedichte in den Hochlagen der Bayerischen Alpen. — Ztschr. f. angew. Meteorol., 52, S. 69 bis 80, 1935.
- Hildenbrand, Th.: Das Quellgebiet der Iller und ihr Lauf bis Immenstadt. — Ztschr. f. wiss. Geogr., 5, S. 13—29, 1885.
- Hydrographische Verhältnisse der Iller. — Ztschr. f. wiss. Geogr., 5, S. 134 bis 145, 239—243, 1885.
- Hoelper, O.: Meteorologische Beobachtungen im Kleinen Walsertal. — Meteorol. Ztschr. 1924, S. 180ff., 1924.
- Strahlungsmessungen im Allgäu. — Meteorol. Ztschr., 41, S. 346—352, 1924.
- Huber, A.: Studien über das Klima der Bayerischen Alpen und seine Beziehungen zum Vorland. — Mitt. d. geogr. Ges. München, 11, S. 145—175, München 1916.
- Knoch, E. und Reichel, E.: Niederschlagskarte der Alpen. — Abh. d. Preuß. Meteorol. Inst. Berlin, 9, H. 6, 1930.
- Scheminzky, F.: Die balneologische Bedeutung der Quellsinter, dargestellt an Beispielen österreichischer Heilquellen. — Photographie und Forschung (Die Contax-Photographie in der Wissenschaft), 5, H. 4, S. 111—120, 1952.
- Schnetzer, J.: Bewässerung und Klima von Vorarlberg. — 26 S., Wien 1931 (= Heimatkunde v. Vorarlberg, H. 2, hg. v. Vorarlberger Landesmuseum).
- Schönbrunner: Zur Hydrologie der Karstgebirge. — Das Gas- und Wasserfach, 79, H. 36, S. 652—656; H. 37, S. 672—674, 1936.
- Sydow, E.: Kurze Darstellung des Klimas von Riezlern (Kl. Walsertal, Vorarlberg). — Unveröff. Maschinschr., Bioklimatische Station Oberstdorf, 1945.
- Anonym: Das Inn- und Salzachgebiet mit den in Österreich gelegenen Teilen des Iller-, Lech- und Isargebietes. — Jb. d. hydrogr. Zentralbüros NF, 12, 64 S., 1925, Wien 1933.

II Biospeläologie

1. Zoologie

- Falger, F.: Die Tierwelt Vorarlbergs. — 47 S., Wien 1931 (= Heimatkunde v. Vorarlberg, H. 1, hg. v. Vorarlberger Landesmuseum).
- Hässlein, L.: Molluskengesellschaften alpiner Rasen im Allgäu. — Ber. d. Naturforsch. Ges. Augsburg 1948, S. 100—111, Augsburg 1948.
- Janetschek, H.: Beitrag zur Kenntnis der Höhlentierwelt der Nördlichen Kalkalpen. — Jahrb. d. Vereins z. Schutze d. Alpenpflanzen u. -Tiere, 17. Jg., S. 69—92, München 1952.
- Schellenberg, A.: Vier blinde Amphipodenarten in einem Brunnen Oberbayerns. — Zool. Anz., 98, H. 5/6, S. 131—139, 1932.

2. Botanik

- Firbas, F.: Über einige hochgelegene Moore Vorarlbergs. — Ztschr. f. Botanik, 18, 1926.
- Fischer, H.: Geologische Naturdenkmale des Allgäu und ihr Pflanzenkleid. — Blätter f. Natursch. u. Naturpfl., 16, S. 43—52, 1933.

- Michaelis, P.: Oekologische Studien an der alpinen Baumgrenze. Osmotischer Wert und Wassergehalt während des Winters in den verschiedenen Höhenlagen. — Jb. f. wiss. Botanik, 80, S. 337—362, Leipzig 1934.
- Scharfetter, R.: Das Pflanzenleben der Ostalpen. 419 S., Wien 1938.
- Schmid, E.: Die Reliktföhrenwälder der Alpen. — Beitr. z. geobotan. Landesaufnahme d. Schweiz, H. 21, 190 S. Bern 1936.
- Schreiber, M.: Die Moore Vorarlbergs und des Fürstentums Liechtenstein in naturwissenschaftlicher und technischer Beziehung. — Staab 1910.
- Vollmann, F.: Die Vegetationsverhältnisse der Allgäuer Alpen. — Mitt. d. Bayer. Botan. Ges., 2, H. 24/25, S. 437—464, München 1912.

III Anthropospeläologie

1. Geschichte

- Baumann, F. L.: Geschichte des Allgäus. Kempten, 1880—1895 (3 Bände).
- Bender, E.: Das oberste Illergebiet. Eine siedlungs- und wirtschaftsgeographische Untersuchung. 74 S. Mannheim 1934.
- Elhardt, G.: Das Recht der Alpwirtschaft im bayerischen Allgäu. (Diss., Univ. Jena.) 157 S. Kempten 1934.
- Endriss, G.: Die Almen im bayerischen Allgäu und in Vorarlberg. — Geogr. Wochenschr. 1935, H. 46, S. 1107—1111, 1935.
- Fink, J. und H. v. Klenze: Der Mittelberg, Geschichte, Landes- und Volkskunde des ehemals gleichen Gerichts. Mittelberg 1890/1891.
- Flatz, I.: Kleinwalsertaler Brevier. 47 S., Riezlern.
- Reichtum des Kleinen Walsertales, seine Flurnamen. — Der Walser, 39. Jg., Nr. 23, 25, 26, 27, 28, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40. Riezlern 1957.
- Günther, E.: Führer durch das Kleine Walsertal. Rothers Allgäu-Führer. 3. Aufl., 79 S. München 1949.
- Hoppeler, R.: Untersuchungen zur Walserfrage. — Jb. f. Schweizer Geschichte, 33, S. 1—54.
- Ilg, K.: Die Walser und die Bedeutung ihrer Wirtschaft in den Alpen. — Vierteljahresschr. f. Sozial- u. Wirtschaftsgesch., 39, H. 1, S. 63—75, 1952.
- Jäger, H.: Der kulturgeographische Strukturwandel des Kleinen Walsertales. — Münchner Geogr. Hefte, 1, 99 S., München 1953.
- Kleiner, V.: Urkunden zur Agrargeschichte Vorarlbergs. Bd. 1. Bregenz 1928.
- Köberle, A.: Walser Geschlechter. 1400—1945. 8 Bde., Unterwestegg-Riezlern.
- Amtlicher Sommerführer durch das Kleine Walsertal. Kempten 1949.
- Amtlicher Winterführer durch das Kleine Walsertal Riezlern-Hirschegg-Mittelberg-Baad. 116 S., Kempten 1949.
- Chronik des Kleinen Walsertales. 1949.
- Das Kleine Walsertal, dessen Geschichte, Volkskunde und Volkswirtschaft. 1950.
- Lanzl, H.: Die Landwirtschaft Vorarlbergs mit Betonung der Alpwirtschaft. Bregenz 1928.
- Menghin, W.: Die vorgeschichtlichen Funde Vorarlbergs. — Österr. Kunsttopographie, 27, 1937.
- Meyer-Mathaler, E.: Der heutige Stand der Walserfrage. — Ztschr. f. schweizerische Gesch., 24, H. 1, S. 1—27, 1944.
- Pfeifer, E. A.: Das Kleine Walsertal. Ein Alpenjuwel. 5. Aufl., 276 S. Immenstadt 1956.
- Reich, M.: Berg- und Flurnamen des oberen Illergebietes. — Oberländer Erzähler, Beil. z. Allg. Anzeigblatt, 38, Nr. 2—19, 1916.
- Schulte, A.: Die Walserfrage. — Anzeiger f. schweizerische Geschichte, 39, S. 338, 1908.

- Schwarz, A.: Heimatkunde von Vorarlberg. 500 S. Bregenz 1949.
- Spann, J.: Zur Geschichte der Allgäuer Alpwirtschaft. — Auf der Alpe 1953, 12, S. 89—92, Kempten 1953.
- Topp, H.: Siedlungsgeschichte und Morphologie des Kleinen Walsertales. Diss. Frankfurt a. M. 1932.
- Ulmer: Das Dekanat Bregenzer Wald. Dornbirn 1926.
- Weitnauer, A.: Arabisches im Kleinen Walsertal. — Das Kleine Walsertal, 1, H. 2, S. 8—12, 1954.
- Zeitschriften: Der Walser. Heimatzeitung für das Kleine Walsertal. Amtsblatt der Gemeinde Mittelberg. (1. Jg. 1918 wöchentlich; 39. Jg. = 1957) Riezlern.
- Das Kleine Walsertal. Kultur, Landschaft, Fremdenverkehr. — 1. Jg., 1954 halbjährlich, Mittelberg.

2. Brauchtum

- Flatz, I.: Die Hochzeitsbräuche im Kleinen Walsertal. — Das Kleine Walsertal, 3, H. 5, S. 12—14, 1956.
- Grabenhorst, K.: Berge und Bauernhäuser im Kleinen Walsertal. — Ztschr. f. Erdkunde, 1, S. 93, 1936.
- Ilg, K.: Walser Volkskunde. Vorarlberg.
- Köberle, A.: Weihnachts- und Neujahrsbrauchtum im Kleinen Walsertal. — Das Kleine Walsertal, 3, H. 6, S. 12—13, 1956.
- Scheppach, M. M.: Die ostschwäbischen Dichter des 19. und 20. Jahrhunderts als volkskundliche Quelle. 100 S. Diss., München 1937.

Bei der Redaktion eingegangen am 1. Oktober 1959. Nachträge bis 1961.

Druckfehlerberichtigung

Seite 16, 7. Zeile von unten, lies:

(nicht der Flyschdecke: siehe unten)

statt: (der Flyschdecke: siehe unten)

Tafel I, neben Seite 18:

Die Unterschrift zu Bild 1 steht versehentlich am Kopfende statt am Fußende des Bildes; das Bild ist also zum Verständnis seiner Erläuterung von der Innenseite des Heftes aus zu betrachten.

Seite 22, 3. Zeile von oben, lies:

Talflanken statt: Teilflanken.

Seite 24, Abb. 5, Zeichenerklärung:

1 = Drusbergsschichten (Unt.-Barrême)

statt: (Hauterive -)

Druckfehlerberichtigung

Seite 92, 26. Zeile von unten:

lies: (Nr. 6 auf Abb. 3, Seite 20/21)

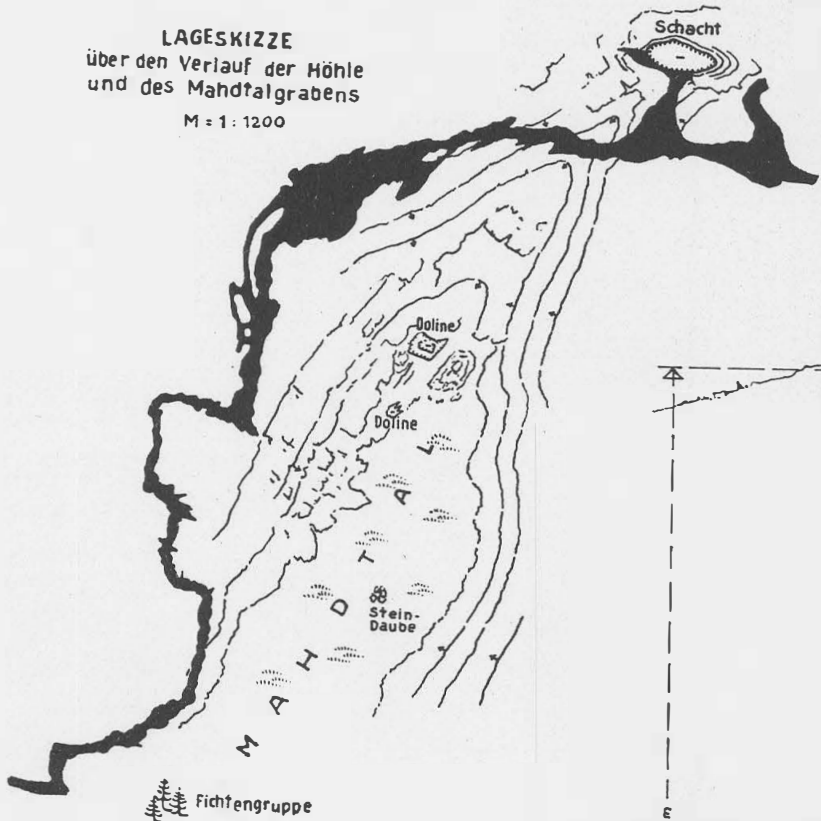
statt: (Nr. 6 auf Abb. 5, Seite 20).

Druckfehlerberichtigung

Seite 85, 9. Zeile von unten:

lies: 1. Schuttquelle „Im Mahd“ (Quelle 3); s. Seite 20, Nr. 3 auf Abb. 3; ferner Seite 91 statt: Nr. 3 auf Abb. 5; ferner Seite 107.

LAGEKIZZE
über den Verlauf der Höhle
und des Mahdtaigrabens
M = 1:1200



GRUND-

RISS

HÖLLOCH IM MAHD TAL BEI RIEZLERN ALLGÄU

M = 1:500

Polygonzug: Spöcker (1-19), Spindler (20-32)
Topographie: Spöcker

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR KARSTFORSCHUNG
OKTOBER 1950

Spöcker

SCHACHT-

SCHNITT

SEPP GERSTMAIR - KLUFT

XAVER LUTZ - KLUFT

WASSERKLAMM

OBERERE

MITTLERE WASSERKLAMM

UNTERER WASSERFALL

UNTERE WASSERKLAMM
(nach einem Krok von Rahn 1906)

Zur unteren
Wasserkamm

MITTLERE WASSERKLAMM

SCHACHTSTUFE
OBERER SCHACHT
KANZEL
SCHACHTHALLE
SEEHALLE
HARNISCH
WINDRÖHRE
NATTERKLUFF
SICKERWASSER-FALL

Mahdtaigraben

WASSERSCHLINGER

OBERER SCHACHT

SCHACHT-STUFE

UNTERER SCHACHT

KANZEL

HOCHWASSER-Spiegel

NATTERKLUFF

SEPP GERSTMAIR - KLUFT

SCHACHTHALLE

SEEHALLE

LÄNGSRISS (vom Polygonpunkt 17 bis 32)

Qs. XXI

Qs. XX

Qs. XIX

Qs. XVIII

Qs. XVII

Qs. XVI

Qs. XV

Qs. XIV

Qs. XIX

Qs. XX

Qs. XXI

Qs. XVIII

Qs. XVII

Qs. XVI

Qs. XV

Qs. XIV

OBERERE WASSERKLAMM

LÄNGSRISS (vom Polygonpunkt 1 bis 17)

LEGENDE

Polygonpunkte	Grundriß	• 26
	Aufriß	• 26
Boden-Formlinien mit Gefälßspfeil		
Fels	Grundriß	• 26
	Aufriß	• 26
Steilkanten, Steilstufen		
Gesteins-Verbruch		
Lehm		
Wasser	Grundriß	• 26
	Aufriß	• 26
Luftzug		

Qs. Querschnitte, sämtlich flußabwärts gesehen