

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 9 (1968)
Heft: 1

Artikel: Präglazial und präglaziale Verkarstung im hintern Muotatal
Autor: Bögli, Alfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1089446>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Präglazial und präglaziale Verkarstung im hintern Muotatal

ALFRED BÖGLI

1944 wurde auf Anregung von Prof. Dr. Hans Annaheim (4) von einem Kreis von Geomorphologen die Arbeitsgemeinschaft zur Geomorphologischen Erforschung der Schweizer Alpen gegründet. 1945 begann der Schreiber als deren Mitglied mit der geomorphologischen Untersuchung des Einzugsgebietes der Muota im Ausmass von 272 km², zum grösseren Teil Karstgebiet. Die ausserordentliche Fülle von Problemen und die Notwendigkeit, zu deren Untersuchung Grundlagenforschung in Karstmorphologie zu treiben, vor allem in Kalklösung und Karsthydrologie, haben eine abschliessende Veröffentlichung bisher verhindert. Im ganzen Aufgabenbereich kommt der Abklärung der Beziehungen zwischen präglazialer Oberflächenformung und Verkarstung grössere Bedeutung zu. Darüber folgt nachstehend ein erster Bericht. Damit möchte ich meinen Dank an Prof. Dr. Hans Annaheim verbinden, der mir in den ersten Jahren mit Rat und Diskussion zur Seite stand. Ebenso bin ich meinen Mitarbeitern von der Arbeitsgemeinschaft Hölllochforschung zu Dank verpflichtet, ohne deren Mithilfe alles Forschen in den unterirdischen Karstgerinnen Stückwerk geblieben wäre.

Die Muota ist ein östlicher Zufluss des Vierwaldstättersees und durchquert die Kalkalpen von der Schächentaler Windgälle am Südrand der Axendecke bis zur Mulde von Brunnen in der Säntis-Drusbergdecke. Der hohe Anteil verkarstungsfähiger Gesteine, Seewerkalk und Schrattenkalk vor allem, machen das Einzugsgebiet der Muota und die anschliessenden Bereiche zum grössten Karstgebiet der Schweizer Alpen. Als besonderer Glücksfall muss die Existenz eines 100 km (1968) umfassenden, wissenschaftlich sorgfältig untersuchten Höhlensystems (Höllloch), 200—900 m unter der Erdoberfläche, betrachtet werden (17, 18). Dieses System entwässert zwischen Starzlen und Bisistal eine voll verkarstete Fläche von zirka 22 km² (9). Die grosse Höhendifferenz von 658 m innerhalb der Höhle reicht von der heutigen Talsohle bis ins Präglazial hinauf (16, 18). Damit ergibt sich die Möglichkeit des Nachweises unterirdischer Karstniveaus, die mit den oberflächlichen Eintiefungsphasen korrelieren.

Die im Text genannten Örtlichkeiten des Muotatales finden sich in den beiden Karten 1:25 000 LK Nr. 1172 Muotatal und Nr. 1173 Linthal (40). Sie geben einen guten Einblick in die geomorphologischen Erscheinungen dieser Landschaft.

1 Das Präglazial im Muotatal

Präglaziale Formung bedeutet in den Alpentälern Ausräumung, Vernichtung älterer und Schaffung eigener Formen. Diese werden im Pleistozän einerseits durch Glazialerosion modifiziert, andererseits durch jüngere Ausräumung zerstört. Als Präglazial sind demnach jene Formen zu bezeichnen,

die bei aller nachträglichen Überarbeitung immer noch die ursprüngliche Anlage erkennen lassen. Es sind im wesentlichen die Überreste der präglazialen Talbildung, die Vollformen, Stufenmündungen, Terrassen, Hangleisten. Präglaziale Akkumulationen fehlen. Mangels Sedimenten und Fossilien erfolgt die Zuordnung alpiner Verflachungen durch Korrelation mit altersmässig festgelegten Flächen im Mittelland. Ist der Abstand zwischen den Flächenresten zu gross, so verliert diese Korrelation an Beweiskraft.

Für das Muotatal kommen vor allem Verflachungen im Mittelland beidseits der Reuss in Frage. R. Frei (23) bezeichnet als präglazial das Plateau des Lindenberges (ca. 800 m)¹ zwischen Reuss- und Seetal und die Seebodenalp (ca. 1000 m) im Glazialerosionsschatten der Rigi. Diesen entspricht östlich des Zugersees die grosse Fläche von Zugerberg-Walchwilerallmend zwischen 900 und 1000 m. R. Frei lässt sie zwar nicht als Rest der präglazialen Landoberfläche gelten, sondern betrachtet sie als durch Hinterfüllung würmeiszeitlicher Moränen entstanden. Das schliesst m. E. die Existenz einer bedeutenden Hangverflachung unter den Moränen nicht aus; denn der Rücken im Osten der teilweise 1½ km breiten Fläche besteht aus Molasse. Die unter den Moränen verborgene Verflachung dürfte im Gegenteil gut ausgeprägt sein und mindestens 850 m hoch liegen. Sie wurde durch den Reussgletscher etwas vertieft. Das ursprüngliche präglaziale Niveau beidseits des Zugersees befindet sich auf 950–1000 m Höhe, der eigentliche Talweg unter 900 m.

Bei der Verfolgung der präglazialen Überreste vom Zugerseegebiet ins Muotatal stösst man auf eine Lücke von 14 km. Die wenigen Verflachungen auf rund 1000 m im Becken von Schwyz sind in Rutschgebieten des Flysch entstanden und daher ohne Beweiskraft. Die Lücke ist zu gross, um die Korrelation zu sichern. Der Rücken des Gibel (917 m) nördlich der Muotatschlucht und am Ausgange des Muotatales gelegen, ist auf diesem Wege daher altersmässig nicht sicher einzuordnen; denn unmittelbar dahinter liegt die bedeutende Verflachung der Fallenfluh (1200 m), die zum präglazialen Tal über dem Zugersee ein Gefälle von knapp 20 ‰ aufwies. Das wäre für eine präglaziale Tallinie etwas viel, doch besteht die Möglichkeit einer tektonischen Bewegung am Alpenrande. Hier hilft nun die Höhengliederung im benachbarten Gebiet des Vierwaldstättersees weiter.

Die Verflachung des Seelisbergs am Westufer des Vierwaldstättersees (1000–1100 m) liegt orographisch und tektonisch ähnlich wie der Gibel und befindet sich nur 6½ km weiter westlich. Penck und Brückner bezeichnen sie als präglazial (35). Noch weiter westlich gilt die Verflachung am Bürgenstock (um 900 m) am Rande der Alpen als gleichaltrig. Sie ist nach R. Merian (30) glazial niedergeschliffen, was den Beobachtungen an der Walchwilerallmend entspricht. Durch diese Vorkommen ist das präglaziale Alter der Gibelverflachung gesichert. Deren Höhe ist mit 917 m etwas gering. Der Gibel liegt jedoch als Riegel vor dem Muotatal und stellte sich

¹ Die Höhenangaben beziehen sich, wo nichts anderes festgelegt wurde, auf den unteren Rand der Verflachung und nicht auf den höchsten Punkt wie auf der LK.



Abb. 1 Blick vom Hintern Oberberg östlich Illgau gegen die Rigi. In der Bildmitte der Rücken des Gibel (917 m), präglazial, rechts davon die Fallenfluh (ca. 1200 m) und links der Stoss (um 1300 m), beide altpliozäne Oberflächenreste. Dazwischen die Mündungsschlucht der Muota. (Photo Bögli)

während des ganzen Pleistozäns dem Muotagletscher entgegen. Im Präglazial war der Gibel von einer undurchlässigen Gesteinsschicht bedeckt, die bis in den Flysch hinaufreichte. Die verhältnismässig leicht abzutragenden Gesteine des Flysch und der oberen Kreide (Amdener und Seewer Schichten, [6]) fielen der Glazialerosion zum Opfer. Die präglaziale Oberfläche wurde um zirka 100 m tiefer gelegt und auf dem widerstandsfähigen Schratenkalk fixiert. Das ursprüngliche Gefälle vom Gibel zum Zugersee beträgt damit rund 6 ‰, ein Wert, der nahe an die von R. Merian (30) für die Strecke Bürgenstock—Homberg westlich des Seetales berechneten 5 ‰ heranreicht. Die Gibelverflachung wird durch diese Altersfestlegung zur präglazialen Bezugsfläche für das ganze Muotatal. Gleichzeitig ist er auch absoluter präglazialer Vorfluter für die verkarsteten Bereiche im Einzugsgebiet der Muota.

In der Höhenlage der präglazialen Oberfläche gibt es im Muotatal wie in den andern Alpentälern zahlreiche Terrassen, Verflachungen und Hang-

leisten. Im Gegensatz zum Kristallin bietet die Zuordnung zu den verschiedenen Entstehungsursachen wegen der wechselnden Sedimente Schwierigkeiten. Diese neigen stark zu denudativer Leistenbildung, um so mehr, als im Muotatal schwebende Lagerung der Schichten und Parallelität des Hanges zum Schichtstreichen häufig sind. Der Wechsel der geomorphologisch harten Kalke (Seewer-, Schratten-, z. T. auch Kieselkalke) mit weichen Schichten (Flysch, Seewer-, Drusbergschichten, Valanginienmergel) fördert diese Entwicklung, sei es durch denudative Vorgänge, sei es durch selektive Glazialerosion an den Talhängen. Ausserdem sind Verflachungen aus alten Talbildungsphasen, sog. Systemverflachungen, nur auf Kalk erhaltungsfähig. In weicheren Gesteinen werden sie bis auf die nächste harte Gesteinschicht erniedrigt und dort fixiert. Dadurch erhält manche Systemverflachung das Aussehen einer petrographisch bedingten Fläche. Wo Verflachungen dagegen die harten Schichten schneiden und sich als unabhängig von den geologisch-tektonischen Bedingungen erweisen, ist anzunehmen, dass sich der Systemrest in der ursprünglichen Höhe befindet.

Besonders schwierig ist die Zuordnung der teilweise plateauartigen Verflachungen zwischen Starzlenbach und Bisistal. Der Übergang zwischen präglazialen und älteren Flächenresten ist so schleifend, dass auch eine sorgfältige Formanalyse unsichere Ergebnisse zeitigt.

Zur Systembestimmung sind ausserdem Talstufen mit dahinter liegenden Vollformen, Hängetäler und Eckfluren von Bedeutung. Doch kann auch hier ebensowenig wie bei den Hangverflachungen die heutige Höhenlage unbesehen übernommen werden. Geologisch-petrographische Gegebenheiten und die Lage im Eisstromnetz entscheiden über das Ausmass der glazialen Vertiefung alter Flächen, die bis zu 100 m gehen kann. Darauf wies Annaheim (5) schon 1946 hin, als er die Lage des präglazialen Purasystems im Tessin diskutierte, das er im Arbeitsbereich der Hauptgletscher als zum Günztrog vertieft bezeichnet. Wenn im Muotatal wegen der andern petrographischen Verhältnisse auch von einem Günztrog nicht die Rede sein kann, so werden doch seine allgemeinen Feststellungen durch die Beobachtungen im sedimentären Raum bestätigt.

Das zeigt sich deutlich am Trichter von Illgau. Aus dem relativ kleinen Einzugsgebiet wäre eine Stufenmündung mit der Oberkante im Präglazial zu erwarten. Sie liegt jedoch 200 m tiefer. Der Trichter wurde im Pleistozän wegen der leichten Erodierbarkeit des Flysches und der Amdenerschichten (6) weiter eingetieft und die Oberfläche zuletzt auf den Kalken der Synklinale fixiert, ohne dass es im heutigen Trichtergrund zu einer unterirdischen Verkarstung gekommen wäre. Die Stufenmündung ist das Werk einer mehr oder weniger kontinuierlichen fluvialen und glazialen Abtragung während des ganzen Pleistozäns und kann daher nicht einer bestimmten Talbildungsphase zugeordnet werden. Aus dem Präglazial sind 200 m höher auf 1000 bis 1100 m Verflachungen und Eckfluren erhalten geblieben. Dem Bettbach fliessen heute nur noch die Wasser aus den undurchlässigen Bereichen des Trichters zu. Ein grosser Teil des Niederschlages wird seit dem MR-Inter-

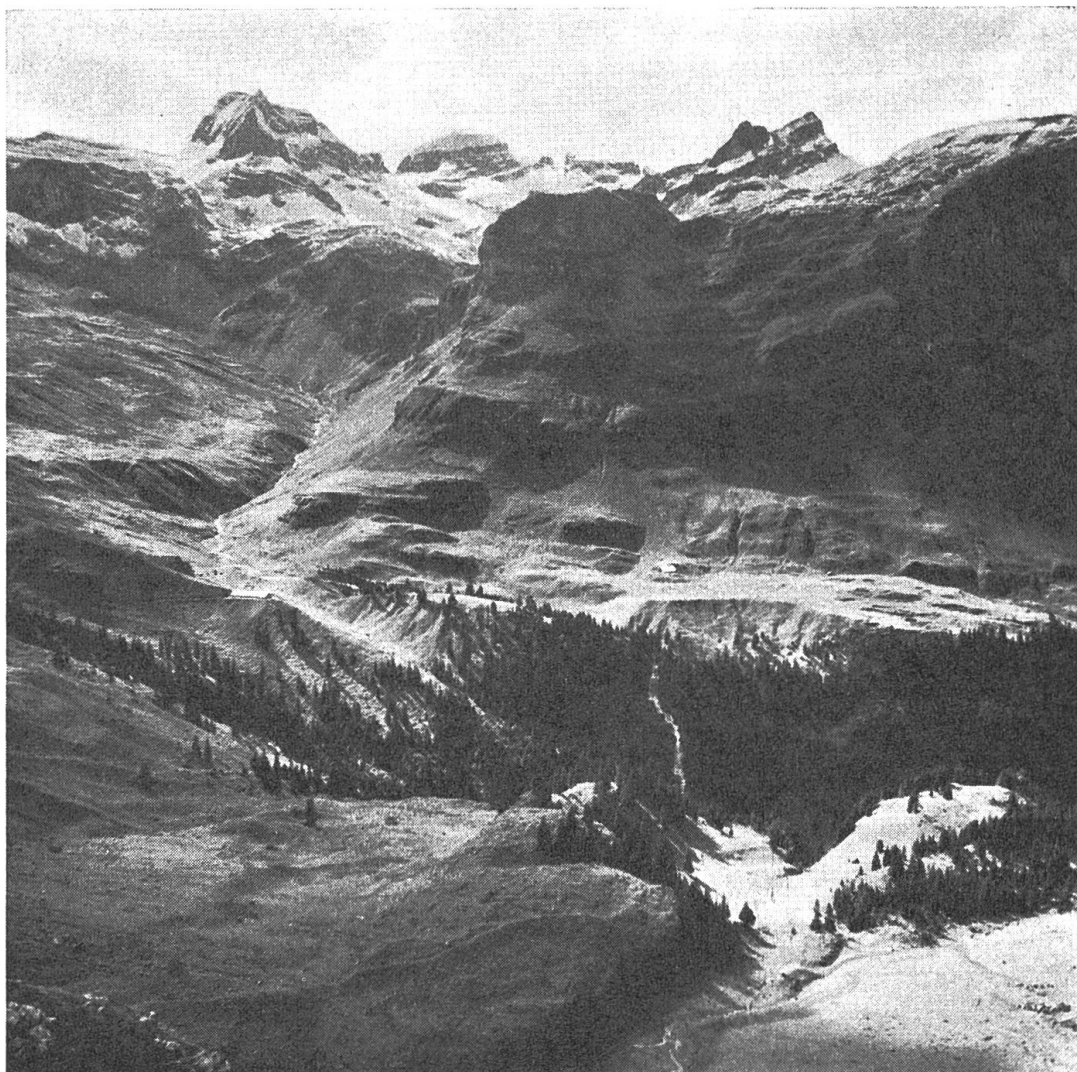


Abb. 2 Ruosalp (links) über 1424 m, die durch Rutschungen in der Form veränderte präglaziale Vollform; Waldialp, ca. 1400 m (Mitte bis rechter Bildrand) und Milchbüelen, ca. 1400 m (unteres Bildviertel, mit Moränenzügen) die beiden präglazialen Terrassen; Muotafall. (Photo Bögli)

glazial unterirdisch durch das Lauiloch abgeleitet und tritt am Rande des Talbodens aus schuttverdeckten Karstquellen zutage. Die 450 m lange Höhle liegt im Niveau der erstinterglazialen Fläche, wurde in dieser Zeit angelegt und im grossen Interglazial bis nahezu zur heutigen Leistungsfähigkeit erweitert. Ein Fixpunkt auf der linken Talseite ist die Mündungsstufe des Helltobels, südlich des Dorfes Muotathal, auf 1060 m Höhe.

Im Bisistal sind die Stufenmündungen des Räschtals um 1300 m, die grossen Terrassenfolgen Zügnagel-Feldmoos-Milchbüelen (1347—1426 m), östlich der Muota, und Waldi (ca. 1400 m), westlich davon, präglazial. In der Fortsetzung von Waldi stösst man bei ungefähr 1420 m auf den oberen Rand der Talstufe der Muota und auf die zugehörige Vollform. Diese wird

auf ihrer rechten Flanke durch bedeutende Rutschungen und Sackungen eingengt, so dass fluviale Ausräumung mit ihrer V-Form vorherrscht. Die Terrassen sind glazial um einen unbekannten, aber nicht bedeutenden Betrag vertieft worden. Aus dieser Fläche ragen einzelne Rundhöcker bis zu 20 m Höhe auf. Das entspricht wahrscheinlich ungefähr dem glazialen Abtrag.

Mehr Schwierigkeiten bereitet es, die Systemflächen im Raume zwischen Bisistal und Starzlen einzuordnen. Die unterste Verflachung beim Fedli (940 m) ist vermutlich eine denudativ und glazial herausgearbeitete Schichtfläche. Die nordöstlich davon an der Prugelstrasse anschliessenden Gehängeknice auf 880 m bis 1000 m sind Hangverschnidungen an der Kerbe des Starzlenbaches. Östlich des Fedli tritt aber im Gault bei Mittlist Weid auf 1210 m eine deutliche Verflachung auf, der auf dem Schrattenkalk im Bol, südlich davon, eine solche bei 1240 m entspricht. Beim Chrüz, näher der Talachse, findet man auf Kieselkalk bei 1170 m eine ausgeprägte Verflachung, und anschliessend auf Schrattenkalk bei Underist Weid (1200 m) und Mittlist Weid (1290 m) weitere. Die über diese Flächen aufragenden Teile gehören ebenfalls zur präglazialen Oberfläche. Sie bilden im Schluechtwald (1390 m) und im östlichen Bol (1460 m) voneinander isolierte Kulminationen. Sie setzen sich jenseits der Tiefenlinie Eigelswald (1370 m)-Ober Gschwänd (1420 m)-Unter Gschwänd (1308 m) fort und versteilen sich gegen Osten, immer wieder durch ausgeprägte Verflachungen unterbrochen. Es wird deutlich, dass hier die Eintiefung in die älteren Flächen schon lange vor Erreichen des untern Niveaus auf dem Kalk zum Stillstande kam. Das ist nicht nur eine Folge der geomorphologischen Härte des Kalkes, sondern auch der zunehmenden Verkarstung. Durch die unterirdische Entwässerung werden die wesentlichen Abtragungsfaktoren der fluvialen Erosion und Abspülung verringert und zuletzt ganz aufgehoben. Die daneben auftretende Oberflächenkorrosion kann vernachlässigt werden. Sie beträgt nach A. Bögli (10, 13) seit dem Rückzug der Gletscher zur Daunzeit vor zirka 10 000 Jahren im Maximum 15 cm bei einer Niederschlagsmenge von zirka 240 cm im Jahr (Märenberge). Die Glazialerosion ist auf solchen Kalkflächen überraschend gering, da der Kalk eine nahezu ideale Gleitbahn darstellt. Dadurch bleiben die im Präglazial entstandenen Flächen ohne grosse Höhenveränderung, doch mit karstglazialer² Überprägung erhalten (13). Die Verflachungen im Bödmerenwald sind präglazial, doch nicht identisch mit Systemterrassen.

Die präglaziale Eintiefung zeigt danach im Muotatal zwei Typen. Eines teils ist sie eine normale Talvertiefung wie überall in den Alpentälern. Offensichtlich hat sie aber auch weiter vom Talweg entfernte, höher gelegene plateauartige Flächen erfasst. Die Täler wirken als Erosionsbasis. Bei einem relativ flachen Relief ist dies nur in leicht erodierbaren Gesteinen möglich,

² Karstglazial bezeichnet man den Formenkomplex, wo sich Verkarstung und glaziale Wirkung gegenseitig unterstützen und entsprechende Formen bilden (13).



Abb. 3' Blick vom Charental oberhalb des Pragelpasses über Schluechbühl, 1750 m (altpliozäne Flächenreste oberhalb der Waldgrenze auf der linken Bildseite) und den Bödmerenwald, unter 1600 m (präglaziale, hochgelegene Flächenreste auf der rechten Bildseite) gegen den Wasserberg (Hintergrund rechts). (Photo Bögli)

was auch den geologischen Gegebenheiten entspricht. Erreicht die Abtragung widerstandsfähiges Gestein, stockt sie und hört bei einsetzender Verkarstung zuletzt ganz auf. Mit den sich bildenden Schlucklöchern entstehen sekundäre Erosionsbasen, die ihrerseits die verbleibenden undurchlässigen Zonen beeinflussen und sie tiefer legen. Doch genügt das Ausmass dieser Veränderungen nicht, um die Zugehörigkeit zur alten präglazialen Oberfläche in Frage zu stellen. Die Kleinformung ist in allen Fällen spätpleistozän bis postglazial.

Die Ausbildung der präglazialen Fläche ist stark kompliziert durch die an sich nicht einfache Deckenstruktur dieses Gebietes (24), zu der sich noch eine Schollentektonik kleineren Ausmasses gesellt. Sie geht darüber hinweg

und ist mit ihren Höhen und Tiefen ein Abbild der Gesteine. Die durchlässigen Kalke bilden die Höhen, die undurchlässigen Gesteine, infolge der immer noch anhaltenden fluvialen Abtragung, die Einmuldungen. Wegen seiner Undurchlässigkeit entstanden auf dem Kieselkalk, an sich das härteste Gestein dieser Gegend, ebenfalls Tiefenzonen.

Vom Rand des Bisistales im SE senkt sich die Axendecke zuerst langsam, in der Stirnregion jedoch steil gegen NW zum Tal der Starzlen hin. Deshalb wurde die fixierende Kalkschicht (meist Schrattenkalk) zuerst im SE herausgearbeitet. Wegen der sofort einsetzenden Verkarstung wurde sie nicht weiter vertieft. Die einsickernden Wasser flossen nicht der nahen Muota, sondern dem fernerer Starzlenbach zu. Sie folgten entweder Klüften oder den nordwärts einfallenden Schichten bis zum Erreichen des Karstwasserkörpers. Das Schichtfallen spielt in der phreatischen Zone nur eine untergeordnete Rolle, da das Wasser allgemein zum Vorfluter hin fließen muss. Das zeigt sich auch im heutigen Hochsystem des Hölloches, wo 200—300 m unter der Oberfläche ein Gangsystem von 14 km Länge auftritt. Seine Anlage lässt eine ursprüngliche Fliessrichtung von Ost nach West vermuten. Die damalige Austrittsstelle des Wassers konnte bisher nicht ermittelt werden, da in horizontaler Richtung kein Gang näher als 300 m an die Oberfläche herantritt.

Südlich der genannten Kulminationen treten an der Verschneidung der alten Fläche mit dem heutigen Bisistal einige Verflachungen bei Unter Gschwänd (1300 m) und Unter Saum (1300 m) auf. Sie liegen 130 m bzw. 180 m tiefer als die benachbarten Flächen des Bol und des Bödmerenwaldes. Es dürfte sich um präglaziale Reste im Erosionsbereich der Muota (Bisistal) handeln. Bei dem Ineinandergreifen gleichaltriger, aber auf verschiedene Erosionsbasen hin orientierter Einheiten ist es in diesem Raume unmöglich, die Abstandstypik zum nächsthöheren System aufzustellen. Im hintern Bisistal sind die Verhältnisse klarer. Milchbühlen (Rundhöcker mit 1426 m Höhe) ist ein ausgedehnter präglazialer Talrest. Die darüber liegende Glattalp (Rundhöcker mit 1860 m) gehört dem nächsthöheren Flächensystem an. Die glaziale Eintiefung ist für beide Systeme angenähert gleich gross. Die Abstandstypik beträgt somit 430 m. Sie ist um 50% höher als im benachbarten Reusstal, das mit dem Muotatal eine gemeinsame Erosionsbasis im Mittelland hatte. Der hohe Wert ist auf den durchlässigen Kalk zurückzuführen, da wegen der unterirdischen Entwässerung der Altflächen der fluvial-denudative Abtrag zum Erliegen kommt.

Die präglaziale Eintiefung erfolgt in ein älteres Relief mit verhältnismässig geringer Reliefenergie. Davon sind auf Charetalp und Glattalp ausgedehnte, zwischen Bisistal und Starzlen kleine Flächen (Schluechbühl, 1750 m) erhalten. Die Lage zeigt, dass es sich um das Äquivalent des tessinischen Bedrettosystem handelt, das nach Annaheim (5) ins ältere Pliozän zu stellen ist. Auf der Alpennordseite gibt es keine korrelierten Sedimente, die eine unabhängige Altersbestimmung gestatteten, so dass man auf Lage und Abstandstypik abstellen muss.

2 Die präglaziale Verkarstung

Die präglaziale Oberfläche liegt zum grösseren Teil auf reinen Kalken. Nach dem Aktualitätsprinzip muss sie verkarstet gewesen sein. Die kleineren Korrosionsformen der Oberfläche wurden jedoch schon in der ersten Eiszeit vernichtet. Talartige Züge können als karstisch entartete Reste einer präglazialen Oberflächenentwässerung gedeutet werden. Zwingende Beweise hierfür fehlen jedoch noch, doch sind solche bei der Fortführung der Forschungen im Hölloch zu erwarten. Poljen, im dinarischen (37) und mittelitalienischen (36) Raum schon im Pliozän entstanden, fallen aus orographischen Gründen ausser Betracht. Es bleibt somit noch die unterirdische Verkarstung.

Die unterirdische Entwässerung ist das Hauptmerkmal der Verkarstung; sie prägt das hydrologische Verhalten dieses Landschaftstyps. Die karsthydrographisch wirksamen Wasserwege (29) dürfen keineswegs mit Höhlen im landesüblichen Sinne identifiziert werden, wenn sie es auch im Sinne der Definition sind³. Über den Charakter der unterirdischen Wasserwege geben nur Bohrungen oder zugängliche Höhlen Auskunft. Bohrungen sind punktförmige Aufschlüsse und daher dem Zufall unterworfen. Sorgfältig untersuchte grosse Höhlensysteme geben als einstige — und auch aktuelle — Wasserwege einen vollwertigen Einblick in den verkarsteten Untergrund. Ihre Aussagekraft ist für die Deutung der Landschaft von Wichtigkeit(9).

Es besteht eine enge Bindung zwischen Karstwasserkörper, Vorfluter und unterirdischen Niveaus, so dass alte Eintiefungsphasen auch unterirdisch fassbar werden. Über solche Zusammenhänge wurden besonders in Österreich (Schauberger u. a.) Untersuchungen durchgeführt (7, 27, 38), deren Ergebnisse in Speläologenkreisen jedoch z. T. umstritten waren. M. E. sind die Ergebnisse sehr positiv zu werten. Allerdings gestattet nur ein grosses Höhlensystem, das sich über verschiedene Eintiefungsphasen erstreckt, eine Entscheidung.

Bögli zeigte 1966 allgemein und am Beispiel des Hölloches die Existenz und die Besonderheiten unterirdischer Karstniveaus und beweist die Korrelation des vor 1964 bekannten obersten Höllochniveaus (950—1030 m) im Himmelsgang mit der präglazialen Landoberfläche auf Grund der gleichen Höhenlage (16). Durch die Entdeckung des Hochsystems östlich des Himmelsgangs (1965) konnten die Erkenntnisse erweitert werden. Das Hochsystem umfasst 14 km Gänge, ohne dass die topographische Erforschung schon beendet wäre. Der Hauptteil liegt zwischen 1050 m und 1150 m, das damit verbundene Steilgangsystem zwischen 1150 m und 1180 m (18). Im Göttergang, drei Kilometer östlich davon, wurde im Winter 1966/67 die gleiche Höhe erreicht. Hier geht der vorher steil von 800 m auf 1100 m ansteigende Gang in ein horizontales, verzweigtes System über, in dessen Be-

³ Höhlendefinition: Natürlicher, unterirdischer Hohlraum im Gestein (32).

ginn die Vorstossgruppe Gubser eingedrungen ist. Die Forschungen gehen auch hier intensiv weiter.

Eine allgemeine Beschreibung des umfangreichen präglazialen Hochsystems würde den gespannten Rahmen sprengen. Es sollen nur die Merkmale von grösserer allgemeiner Bedeutung und solche, welche die Zugehörigkeit zur präglazialen Landoberfläche beweisen, erfasst werden. Gleichzeitig lässt sich daraus das Verhalten des präglazialen Karstwasserkörpers und die spätere Entwicklung der Karsthydrographie ableiten.

Die Lage des Hochsystems ist einzigartig. Bisher konnte mit Ausnahme des Hölloches nirgends der Übergang einer Höhle von einer Decke in die andere nachgewiesen werden. Der Zugang vom Hauptssystem zum Hochsystem folgt einer steil aufwärtsführenden Verwerfung. Diese quert die Überschiebungsfläche der Silberndecke über die Bächistockdecke und bringt die Schrätkalke beider tektonischer Einheiten in unmittelbare Berührung. An der normal entwickelten Überschiebung in der Bachhalle (1070 m) liegen vier Meter vollständig ausgewalzter Drusbergschichten der Silberndecke über dem Schrätkalk der Bächistockdecke. Die beiden Kontakte der schiefrigen Schichten mit dem Kalk sind tektonische Bewegungsflächen.

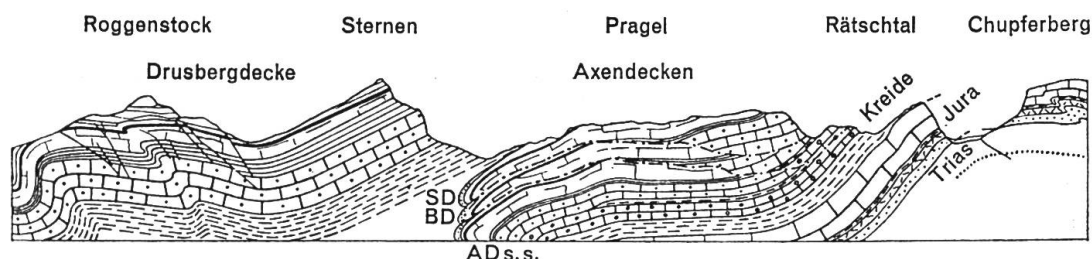


Fig. 1 SD = Silberndecke, BD = Bächistockdecke, AD s.s. = Axendecke im engeren Sinn, nach Hantke. Querschnitt durch Drusberg- und Axendecken. Das Hölloch durchzieht zum grössten Teil den Schrätkalk der Bächistockdecke (BD, 86 km). Entlang einer Verwerfung führt ein kleiner Ellipsengang in die Silberndecke hinauf und entwickelt sich dort zum Hochsystem (14 km).

Zum besseren Verständnis der nachfolgenden Ausführungen sei hier kurz auf das Problem der Korrosion im Karstwasserkörper eingegangen. Der unterirdisch verkarstete Bereich wird nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt. Hier interessiert jener nach der Lage zum Karstwasserkörper. Die ständig mit Wasser erfüllte Zone wird als phreatisch bezeichnet, der darüber liegende Bereich als vados. In der vadosen Zone sind die Hohlräume dauernd oder temporär mit Luft erfüllt. Bei Hochwasser füllen sie sich mit Wasser, und es herrschen vorübergehend phreatische Bedingungen. Sonst aber sind die Gänge inaktiv oder vom Wasser der Zubringer durchflossen. Ein solcher Höhlenbach verhält sich nicht anders als ein Bach an der Oberfläche. Er

schneidet sich ein und bildet schluchtartige Langformen, kurz Schluchtgänge genannt. Gelegentlich treten Siphons auf. Die Hohlraumbildung erfolgt durch Korrosion, wenn der Kalkgehalt noch nicht dem CO_2 -Gehalt der Luft entspricht, was je nach den Umständen bei 75 bis 100 mg/l der Fall ist. Enthält das Wasser mehr Kalk, dann tritt keine Korrosion auf, sondern es bildet sich Sinter (11). Schluchtgänge werden ausserdem durch Erosion vertieft und später durch Inkasion verändert.

Unter phreatischen Bedingungen füllt das Wasser alle Hohlräume. Das zur Kalklösung notwendige CO_2 fehlt. Auch kalkarme Wasser korrodieren unter diesen Umständen nicht. Deshalb scheuten sich die Speläologen, eine Höhlenbildung unter phreatischen Bedingungen anzunehmen. Beweise hierfür wurden als Ergebnis von Hebungen der Karstwasserfläche, von eustatischen Schwankungen oder tektonischen Bewegungen gedeutet (11). Doch gab es einige rätselhafte, unbestritten phreatische Höhlen. Es war ein geometrisch aussehender, vernetzter Höhlentyp, der besonders in den USA, in Irland und Südwest Wales auftritt, und der mit dem Namen «network cavern» belegt worden war. Zur Erklärung wurde die Oxydation von Pyrit (31) oder Humus (11) herangezogen, doch zeigen Berechnungen, dass das nicht genügt, die fraglichen Hohlräume zu schaffen. 1963 und 1964 veröffentlichte A. Bögli die Ergebnisse seiner Untersuchungen über Mischungskorrosion (12, 14, 15). Er wies nach, dass zwei Wässer mit verschiedenem Kalkgehalt beim Mischen CO_2 frei setzen und dadurch Kalk auflösen vermögen. Das ermöglicht eine Korrosion auch bei Abwesenheit von CO_2 -haltiger Luft und beliebig tief im phreatischen Raum. Ausserdem wirkt Mischungskorrosion auch bei hohem Kalkgehalt des Wassers, wenn Konzentrationsunterschiede vorhanden sind.

Die Randzone des phreatischen Bereiches und der unmittelbar anschliessende Teil der Hochwasserzone sind durch intensive Mischungskorrosion und damit durch eine ausgedehnte Hohlraumbildung und Häufung von Höhlengängen gekennzeichnet (16). Tritt ein solches unterirdisches Karstniveau auf, so darf angenommen werden, dass der Vorfluter, in diesem Falle die präglaziale Muota, eine ähnliche Höhe aufgewiesen haben muss. Die Übereinstimmung der Höhen von Hochsystem und präglazialen Tal ist ein erstes Indiz für Gleichaltrigkeit. Lässt sich zudem noch nachweisen, dass die Gänge phreatischer Entstehung sind, dann wird daraus ein klarer Beweis.

Wenn auch die Beziehung unterirdisches Karstniveau-Vorfluter auf phreatische Entstehung deutet, so sind doch für einen Beweis noch mehr Kriterien erforderlich. Für solche Untersuchungen eignet sich das Hölloch besonders gut, denn die Inkasion⁴ ist so gering, dass die Primärformen nahezu vollständig erhalten sind. Vor allem diese geben Auskunft über die

⁴ Inkasion (lat. *incadere* = hineinstürzen, einstürzen) ist die dritte formende Kraft bei der Bildung unterirdischer Hohlräume: Korrosion = Formung durch Lösung, Erosion = Formung durch mechanischen Abtrag, Inkasion = Formung durch Deckensturz, Nachbruch, Einsturz.

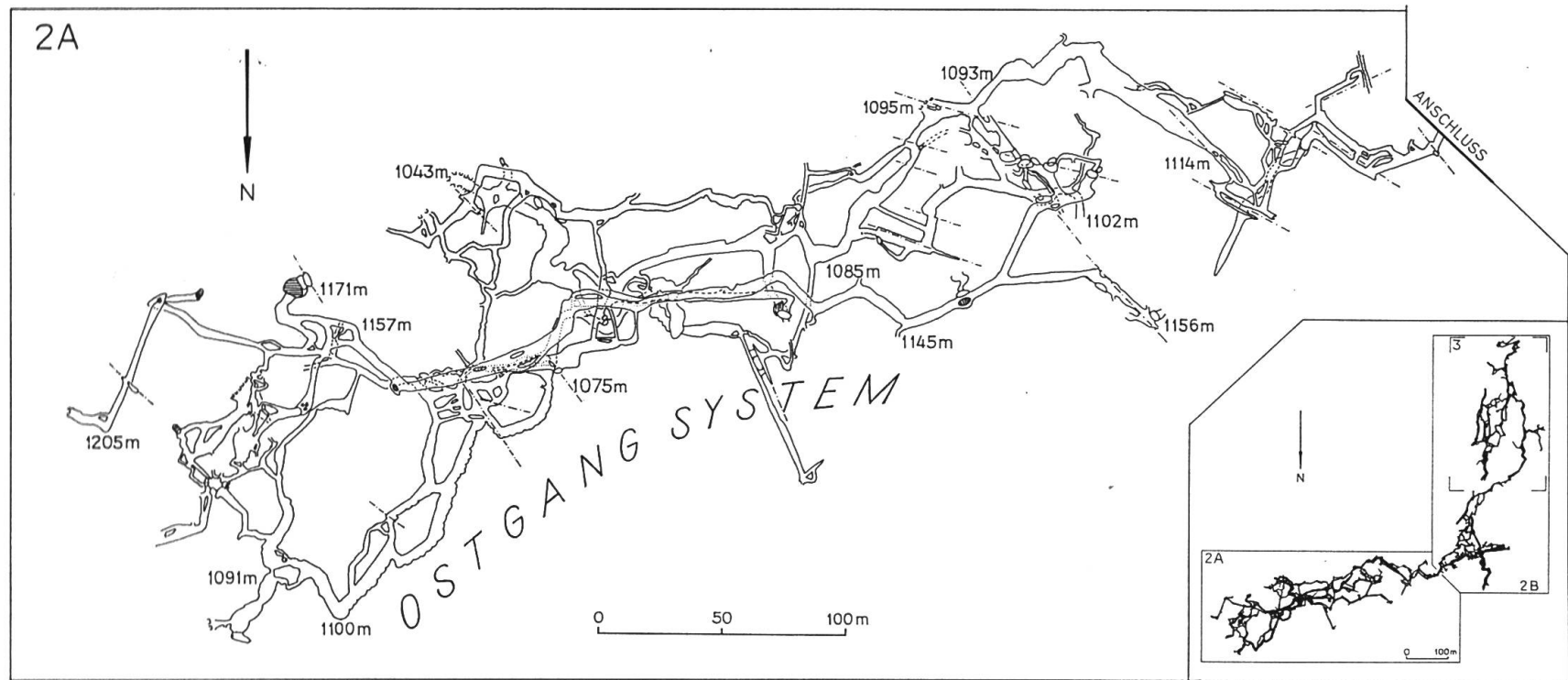


Fig. 2 (A und B): Übersichtsplan des Hochsystems westlich des Wasserfalldomes (9 km). — Strichpunktirt: Klüfte. Gestrichelt (ausserhalb der Gänge): Bachläufe, Verbindungen und Färbung und Wassergeräusche gesichert, genauer Verlauf noch unbekannt. Höhlennzahlen: Gefälle in phreatisch entstandenen Gängen unbestimmt. Gangtyp meist elliptisch, vernetzt. Grosse Schlucht — Bachschlucht mit dem einheitlichen Gefälle vados entstandener Gänge, Gangtyp schluchtartig, baumförmig.

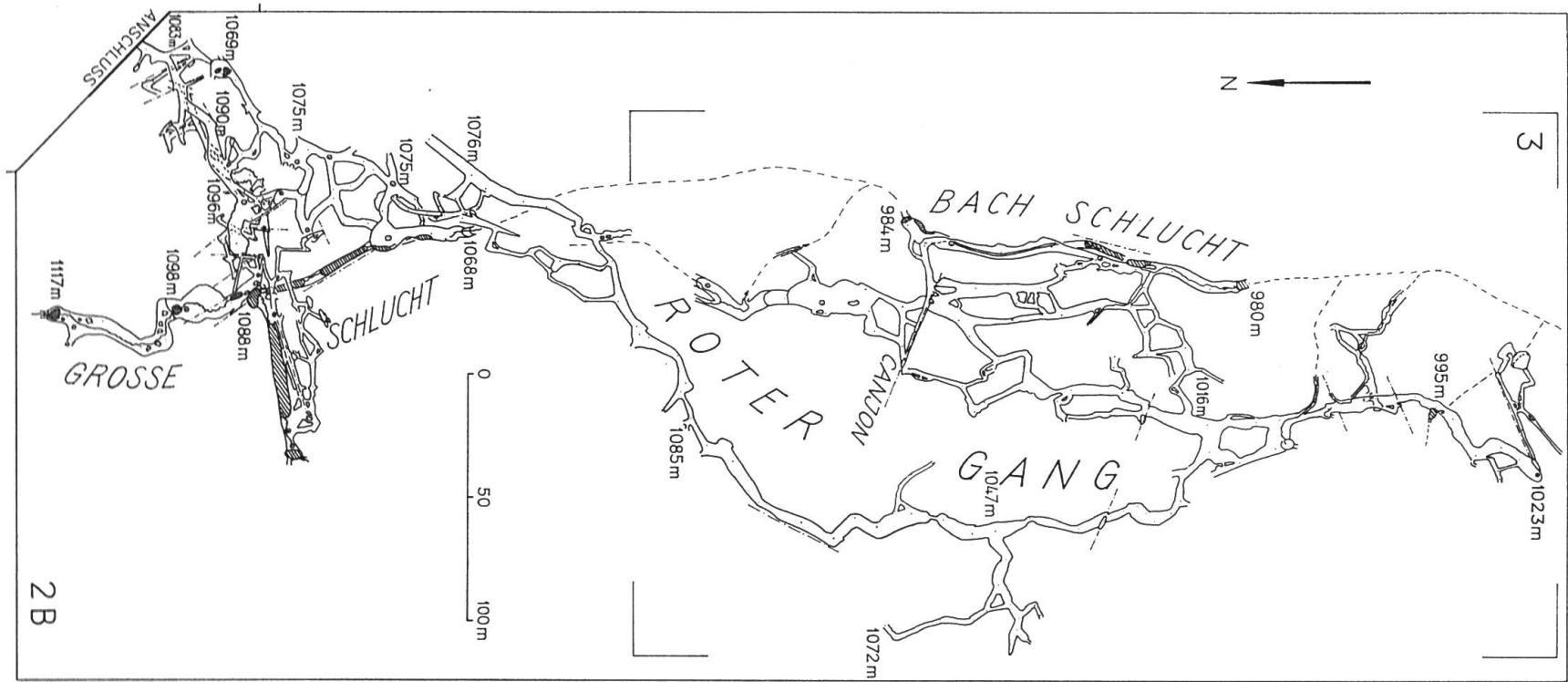


Fig. 3 (innerhalb Abb. 2 B) Die Gänge liegen, mit Ausnahme des Bachganges, nicht auf Klüften. Klüfte beeinflussen die Gangrichtung der phreatischen Gänge nur unwesentlich, vadosc Gänge (Bachschlucht, Canyon) folgen ihnen.

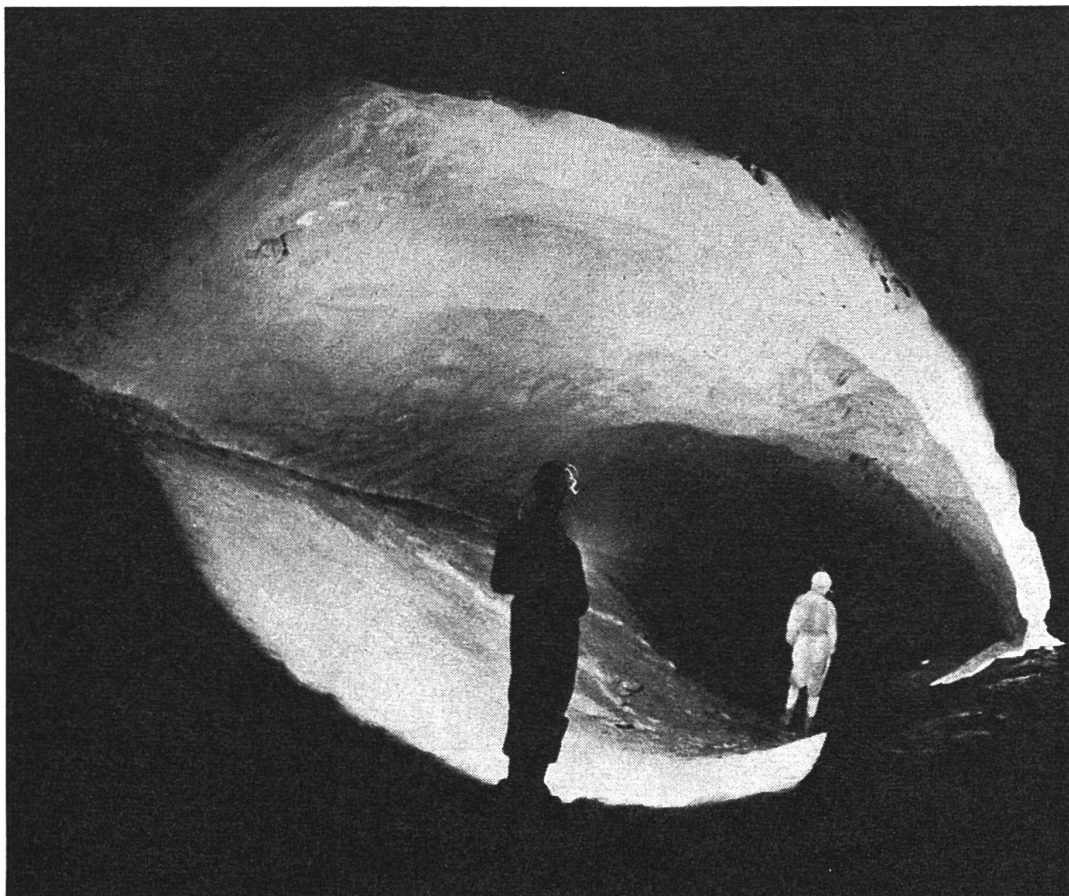


Abb. 4 Hölloch, SAC-Gang. Typischer Ellipsengang auf einer Schichtfuge. Seine Bildung ist nur bei gänzlicher Wasserfüllung denkbar, und die Form ist daher gleichzeitig eine Leitform phreatischer Räume und der Mischungskorrosion. Die Schichtfuge erscheint geschlossen und ist kapillar. (Photo Bögli)

Entstehungsbedingungen. In den meisten Höhlen sind sie durch Inkasion restlos zerstört.

Wie weiter oben gezeigt, wurde früher eine Höhlenbildung im phreatischen Raum als wenig wahrscheinlich erachtet. Seit der Entdeckung der Mischungskorrosion sind phreatisch entstandene, karsthydrographisch wirksame Wasserwege selbstverständlich (14, 15). Die grössten Höhlenräume entstehen deshalb selten in der Nähe der Oberfläche, sondern tief im Gesteinsinnern, jene des Hölloches sogar in mehreren hundert Metern Tiefe. In andern Riesenhöhlen ist es ähnlich.

Als Leitform der Korrosion unter phreatischen Bedingungen und damit der Mischungskorrosion gilt der Ellipsenquerschnitt eines Ganges (15). Die Wölbung der Decke entspricht jener der Gangsohle. Der grösste Teil der 100 km des Hölloches (1968) besteht aus Ellipsengängen. Zudem ist das Hochsystem wie das gesamte Hölloch intensiv vernetzt, wenn auch ohne den geometrischen Typ der «network caverns». Die Ellipsengänge beweisen,

dass der Typ der alpinen vernetzten Höhlen ebenfalls phreatischer Entstehung ist.

Phreatische Bedingungen herrschen auch bei der Entstehung kleinerer Labyrinthe, wie sie nicht selten in Höhlen mit vermutlich vadoser Bildung gefunden werden. Bock hat sie als «Auftriebslabyrinth» bezeichnet, was volle Wasserfüllung voraussetzt; denn es sind Gegensteigungen im allgemeinen Gefälle. Hier treten mitten im vadosen Raum phreatische Bedingungen und entsprechende Formen auf. Sie können durchaus gleichzeitig mit den vadosen entstanden sein, während vadosen Formen im phreatischen Raum auf eine spätere Entstehungszeit hinweisen. Es muss jedoch betont werden, dass im allgemeinen nur die Analyse grösserer Höhlen mit restloser Erfassung aller schließbaren Gänge zu einigermassen sicheren Resultaten führt.

Unter phreatischen Bedingungen herrschen u. a. die Gesetze der kommunizierenden und wasserdurchflossenen Röhren, die bei Wasserläufen mit freier Oberfläche keine Anwendung finden können. Deshalb fliesst das Wasser sowohl abwärts wie aufwärts. Phreatisch entstandene Höhlen weisen daher kein einheitliches Gefälle auf. Das trifft im Hölloch auf alle Niveaus und damit auch auf das Hochsystem zu.

Nach O. Lehmann (29) müssen die Urhohlräume, wie er die Ausgangsformen nennt, überkapillare Querschnitte aufweisen, soll es zur Ausbildung unterirdischer Hohlräume durch Korrosion oder Erosion kommen. Kapillare Fugen sollen nach ihm nicht genügend wasserdurchlässig sein. Solche Bedingungen schliessen Schichtflächen als Entstehungsgrundlage zwangsläufig aus. Dem steht jedoch gegenüber, dass das Hölloch zum grössten Teil auf Schichtfugen angelegt ist. Die Gänge folgen nur ausnahmsweise einige Meter weit den sie querenden Klüften, auch wenn sie überkapillare Querschnitte aufweisen. Das ist ein unwiderlegbarer Gegenbeweis. Die Analyse anderer vernetzter Höhlen zeigt die gleiche Anlage. Inkasion vernichtet allerdings die Primärformen und arbeitet Klüfte und Clivage heraus, denen entlang das Gestein bricht. Die Auffassung, es seien bis auf wenige Ausnahmen alle Karsthöhlen auf Klüften entstanden, ist darauf zurückzuführen und kann daher nicht überraschen. Man muss heute auf Grund neuer Beobachtungen annehmen, unter phreatischen Bedingungen bildeten sich vorwiegend Schichtfugengänge, zum mindesten da, wo die Schichtflächen zugleich tektonische Bewegungsflächen sind wie in orogenen Gebirgen. Da aber Kluftfugen häufig Wasser heranzuführen, kommt es an der Kreuzung Schichtfuge-Kluftfuge zur Mischungskorrosion, so dass die Schichtfugengänge nicht selten der Klufttrichtung folgen.

Die pleistozäne Eintiefung des Muotatales verlagert auch den Vorfluter in geringere Höhen, die Karstwasserfläche sinkt, das präglaziale System gerät unter vadosen Bedingungen und verändert sich kaum noch. Nur die Zubringer wirken weiter und lassen unterirdische Schluchten entstehen.

Das Gefälle ist mit Ausnahme kleiner Siphonstrecken gleichsinnig. Die Systemform ist nicht vernetzt, sondern baumartig verzweigt. Die Ellipsengänge werden quer geschnitten und die Zubringer fliessen fast ausschliesslich in Klüften. All das sind Zeichen einer späteren Entstehung unter vadosen Bedingungen. Auffällig ist der Zusammenhang von vados und Kluftgang. Aber wie oben ist auch hier die Gesetzmässigkeit dieser Beziehung nicht gesichert. Es müssen noch zahlreiche weitere Untersuchungen folgen.

Ellipsengänge, Vernetzung, unbestimmtes Gefälle und weite Erstreckung in einem relativ engen Höhenintervall verlangen kategorisch die Annahme einer Karstwasserfläche in 1100 bis 1200 m Höhe mit einem Vorfluter in ähnlicher Lage. Damit ist die Zugehörigkeit zum präglazialen Talsystem gesichert.

Gleichzeitig wird deutlich, dass bestimmte Erscheinungsgruppen der unterirdischen Verkarstung in gesetzmässiger gegenseitiger Beziehung stehen. Im phreatischen Raum sind die unterirdischen Hohlräume vernetzt und das Gefälle ist unbestimmt und wechselnd. Ellipsengänge finden sich nur unter phreatischen Bedingungen. Im vadosen Raum sind die Gänge einfach oder baumförmig angeordnet und weisen ein gelegentlich von Siphons unterbrochenes gleichgesinntes Gefälle auf. Schluchtgänge bilden sich nur unter vadosen Bedingungen. Demgegenüber ist die Gesetzmässigkeit des Zusammenhanges phreatische Zone — Schichtfugengang und vadoser Bereich — Kluftgang mangels genügend umfangreicher Beobachtungen noch nicht voll gesichert.

3 Präglaziale Höhlensedimente

Zu den bisherigen speläomorphologischen und karsthydrologischen Beweisen gesellen sich weitere Indizien, die auf das Alter hinweisen. Im ganzen Hölloch lagern bedeutende Mengen an Höhlenlehm jeglichen Alters, dunkelgrau, graugelb bis gelbbraun und braunrot, mit Humusgehalten von 8,8% bis 0%, teils siltig, teils extrem tonig. Von den untersuchten Proben entstammen drei dem Hochsystem, zwei wurden am Anmarschweg im Polyp aufgesammelt und über 19 weitere aus verschiedenen Fundorten wurde schon 1960 (8) berichtet.

Im Hochsystem treten zwei Tone mit kräftiger Farbe auf, wie sie sonst im Hölloch nirgends gefunden wurden. Der ältere ist leuchtend braunrot, der jüngere kräftig gelbbraun. Beide sind im Roten Gang in immer gleicher Art miteinander verknüpft. Auf der Gangsohle liegt mit einer Mächtigkeit bis zu 20 cm ein braunroter Ton, nach oben durch eine Erosionsfläche abgegrenzt. Darüber folgt der gelbbraune Lehm. Das Ganze ist von einem jungpleistozänen, vielleicht sogar postglazialen grauen und lockeren Sand lückenhaft bedeckt, wie es die Willkür einer kurzfristigen, vermutlich einmaligen Überschwemmung mit sich gebracht hat.

Analysentabelle (in ‰)

	1	2	3	4	5	6	7
0,1 — 0,06 mm	1,0	4,4	3,8	1,0	2,8	26,6	39,5
0,06 — 0,02 mm	2,8	19,0	22,8	0,8	2,2	26,6	39,5
0,02 — 0,006 mm	17,8	26,2	42,2	13,6	9,6	48,8	41,5
0,006 — 0,002 mm	15,8	13,4	17,4	27,2	27,0	48,8	41,5
kleiner 0,002 mm	63,0	36,8	14,2	57,4	58,6	24,5	19,0
Fe ₂ O ₃	7,4/ 16,2	2,3	klein n. b.	klein n. b.	klein n. b.	klein n. b.	klein n. b.
Karbonate	5,5	15,6	21,6	52,4	54,3	50,1	14,9
Humus	0,0	2,21	1,3	3,1	2,6	0,33	8,88
Farbe	braun- rot	gelb- braun	gelb- braun	braun- grau	braun- grau	gelb- grau	dunkel- grau

1. Hochsystem, Roter Gang, 1100 m, Mittel aus zwei Proben, präglazial.
2. gleiches Profil, vermutlich erstinterglazial.
3. Hochsystem, Ostgang, 1070 m, vermutlich erstinterglazial.
4. Polyp, 870 m, gebändert, vermutlich MR-Interglazial.
5. idem, ungebändert, vermutlich MR-Interglazial.
6. Papageikammer, ca. 950 m, vermutlich altpleistozän (8).
7. Rutschbahn, 770 m, subrezente bis rezente Aufschwemmung (8).

Die bisher untersuchten Proben zeigen erwartungsgemäss granulometrisch nur eine Abhängigkeit von lokalen Gegebenheiten. Es sind alles Schwemmlehme. Aus den Proben 1—6 liess sich eine Abhängigkeit des CaCO₃-Gehaltes mit dem Alter zeigen. Sicher aber ist in Proben mit höherem Siltgehalt auch mehr Kalk zu finden. Ob eine Altersabhängigkeit wirklich besteht, ist bei der geringen Zahl von Proben nicht zu entscheiden. Eindeutig nimmt mit dem Alter auch der Eisengehalt zu. Das zeigen nicht nur die vorliegenden Analysen, sondern auch die Farben. Die voraussichtlich präglazialen Tone mit 7,4 ‰ bzw. 16,25 ‰ Fe₂O₃ stechen weit aus den andern Tönen heraus. Aus ihnen allein präglaziales Alter abzuleiten, ginge zu weit, doch unterstützt sie die auf anderem Wege gewonnene Altersbestimmung. Fossilien als einfachste Lösung des Altersproblems wurden bisher nicht gefunden. Wahrscheinlich nimmt der Humusgehalt mit dem Alter ab. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass Lehme in der Nähe des Hochwasserspiegels humusreicher sind, da Humus aufschwimmt. Das ist mit 8,88 ‰ Humus bei Probe 7 der Fall, der eine gleichaltrige im tieferen Teil des Beckens am Styxsee mit nur 2,96 ‰ gegenübersteht.

Aus dem roten Höhlenlehm des Hölloches lässt sich somit noch nicht mit Sicherheit präglaziales Alter herauslesen; das dürfte auch erst bei Fossilfunden möglich sein. Es ist hier aber ein Weg aufgezeigt, der mit der Zeit auch zum Erfolg führen kann.

LITERATUR

- 1 *Annaheim, H.* (1935): Die Landschaftsformen des Luganerseegebietes. Schweizer Geograph 12
- 2 *Annaheim, H.* (1936): Flusswerk im Sottoceneri. Boll. Società tic. scienze naturali 30/31
- 3 *Annaheim, H.* (1945): Die präglaziale Talbildungsphase in der Südschweiz. Schweizer Geograph
- 4 *Annaheim, H.* (1945): Tagung der Arbeitsgemeinschaft zur geomorphologischen Erforschung der Schweizer Alpen. Schweizer Geograph
- 5 *Annaheim, H.* (1946): Studien zur Geomorphogenese der Südalpen zwischen St. Gotthard und Alpenrand. Geogr. Helvetica
- 6 *Arbenz, P.* (1905): Geolog. Untersuchungen des Frenalpstockgebietes. Beitr. z. geol. Karte der Schweiz. NF. XVIII. Lfg.
- 7 *Arnberger, E.* (1955): Höhlen und Niveaus. «Die Höhle», H. 1, Wien
- 8 *Bögli, A.* (1960): Der Höhlenlehm. Symposium Internaz. di Speleologia, Como
- 9 *Bögli, A.* (1960): Karsthydrographische Untersuchungen im Muotatal. Reg. Basil. I/2
- 10 *Bögli, A.* (1961): Karrentische, ein Beitrag zur Karstmorphologie. Zeitschr. f. Geomorphologie, Bd. I, H. 3
- 11 *Bögli, A.* (1963): Korrosive Bildungsbedingungen von Höhlenräumen. III. Internat. Kongress f. Speläologie. Bd. II, Wien
- 12 *Bögli, A.* (1963): Beitrag zur Entstehung von Karsthöhlen. «Die Höhle», H. 3, Wien
- 13 *Bögli, A.* (1964): Le Schichttreppenkarst — un exemple de complexe glaciokarstique. Revue Belge de Géographie, H. 1/2
- 14 *Bögli, A.* (1964): Mischungskorrosion — ein Beitrag zum Verkarstungsproblem. «Erdkunde», Archiv f. wissenschaftl. Geographie, Bonn
- 15 *Bögli, A.* (1964): Kalkkorrosion. Steirische Beitr. zur Hydrogeologie, Graz
- 16 *Bögli, A.* (1966): Karstwasserfläche und unterirdische Karstniveaus. «Erdkunde», Archiv f. wissenschaftl. Geographie, Bd. XX, Lfg. 1, Bonn
- 17 *Bögli, A.* (1966): Das Hölloch im Muotatal. Hitzkirch
- 18 *Bögli, A.* (1967): Das Hölloch von 1961—1967. «Die Alpen», H. 3
- 19 *Corbel, J.* (1957): Le Karst du Vercors. Revue de Géographie de Lyon
- 20 *Corbel, J.* (1957): Karsts hautsalpins. Revue de Géographie de Lyon
- 21 *Deike, G. H.* (1960): Origin and Geologic Relations of Breathing Cave. Bull. of the Nat. Spel. Society, Vol. 22, P. 1
- 22 *Franz, H.* (1960): Feldbodenkunde. Wien
- 23 *Frei, R.* (1912): Monographie des Schweiz. Deckenschotters. Beitr. z. Geol. Karte der Schweiz. NF. XXXVII
- 24 *Hantke, R.* (1961): Tektonik der helvetischen Kalkalpen zwischen Obwalden und dem St. Galler Rheintal. Vierteljahresschrift Natf. Ges. Zürich
- 25 *Hauswirth, W.* (1913): Geologie des Kaiserstock und Wasserberg. Eclogae Geol. Helveticae
- 26 *Hauswirth, W.* (1913): Geol. Karte südlich von Muotatal. 1:50 000, Ecl. Geol. Helv.
- 27 *Krieg, W.* (1954): Höhlen und Niveaus. «Die Höhle», H. 1, Wien
- 28 *Lehmann, H.* (1954): Das Karstphänomen in den verschiedenen Klimazonen. «Erdkunde», Archiv f. wissenschaftl. Geographie, Lfg. 2
- 29 *Lehmann, O.* (1932): Hydrographie des Karstes. Encyklop. der Erdkunde, Wien
- 30 *Merian, R.* (1946): Eine geomorphologische Untersuchungs- und Darstellungsmethode am Beispiel des obern Engelbergtales. Diss. phil. II, Universität Zürich
- 31 *Moore, G. W.* (1960): Introduction to the Origin of Limestone Caves. Bull. of the Nat. Spel. Soc., Vol. 22, P. 1
- 32 *Murawski, H.* (1963): Geologisches Wörterbuch, Stuttgart
- 33 *Oberholzer, J.* (1933): Geologie der Glarneralpen. Beitr. z. Geol. Karte der Schweiz, NF. Lfg. 28
- 34 *Oberholzer, J.* (1910): Karte der Glarneralpen 1:50 000. Schweiz. Geol. Komm.
- 35 *Penck, A. und Brückner, E.* (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig

- 36 *Pfeffer, K.-H.* (1967): Beiträge zur Geomorphologie der Karstbecken im Bereiche des Monte Velino (Zentralappennin). Frankfurter Geogr. Hefte, Nr. 42
- 37 *Roglič, J.* (1960): Das Verhältnis der Flusserosion zum Karstprozess. Zeitschr. f. Geomorphologie, Bd. 4, H. 2
- 38 *Schaubberger, O.* (1956): Über die vertikale Verteilung der nordalpinen Karsthöhlen. Mitt. der Höhlenkomm., H. 1, Wien
- 39 *Stelcl, O.* (1963): Höhlenniveaus des «Suchý Zleb» im mährischen Karst. «Die Höhle», H. 1, Wien
- 40 Topographische Karten: LK 1:25 000, Nr. 1172 Muotatal (1960), Nr. 1173, Linthal (1961)
- 41 *Uhlig, H.* (1954): Die Altformen des Wettersteingebirges. Forschungen z. deutschen Landeskunde, Bd. 79
- 42 *Zötl, J.* (1960): Zur Frage der Niveaugebundenheit von Karstquellen und Höhlen. Zeitschr. f. Geomorphologie, Sppl. Bd. 2

LE KARST PRÉGLACIAIRE DANS LA HAUTE VALLÉE DE LA MUOTA (Résumé)

L'auteur suit, du Mittelland jusqu'à la vallée de la Muota, les restes de surface préglaciaires. Le Gibel (917 m), à l'entrée de cette vallée, devient surface de référence pour le relief préglaciaire. Les dimensions de l'érosion glaciaire, à partir de la surface préglaciaire, peuvent, par endroit, dépasser 100 m. La vallée préglaciaire monte à 1400 m à la Ruosalp, où commence la tête de vallée. On constate que les vieilles surfaces ne peuvent pas se maintenir dans leur position initiale sur des roches tendres mais seulement sur une roche morphologiquement résistante, ici, un calcaire karstifiable. Elles prennent ainsi le caractère de surfaces substructurales. Le fait exceptionnel est, dans la vallée de la Muota, l'enfoncement préglaciaire s'étendant sur de vieilles surfaces d'aspect tabulaire. Ici, la spéléologie peut apporter une aide précieuse. Elle permet non seulement de confirmer la position du cours d'eau préglaciaire à environ 1200 m, mais elle donne aussi une vue intéressante de l'hydrographie karstique préglaciaire. Le système supérieur dans le Hölloch est l'œuvre de conditions phréatiques. Les recherches apportent en outre quelques connaissances générales sur la spéléogénèse, l'importance de la zone phréatique, ainsi que sur les relations entre la spéléomorphologie et l'hydrographie karstique.

Le rapport est démontré entre la naissance des galeries dans des conditions phréatiques et le réseau en maille — la pente indécise — la galerie en section elliptique comme entre la naissance dans des conditions vadoses et le réseau ramifié ou simple — la pente en sens unique — le couloir à forme de gorge. Mais il reste à prouver s'il existe un rapport plus ou moins réel, d'une part entre les conditions phréatiques et la naissance des galeries sur des plans de stratification et d'autre part entre les conditions vadoses et la naissance dans les diaclases.