

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie

Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel

Band: 1 (1959-1960)

Heft: 2

Artikel: Karsthydrographische Untersuchungen im Muotatal

Autor: Bögli, Alfred

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1089516>

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](#)

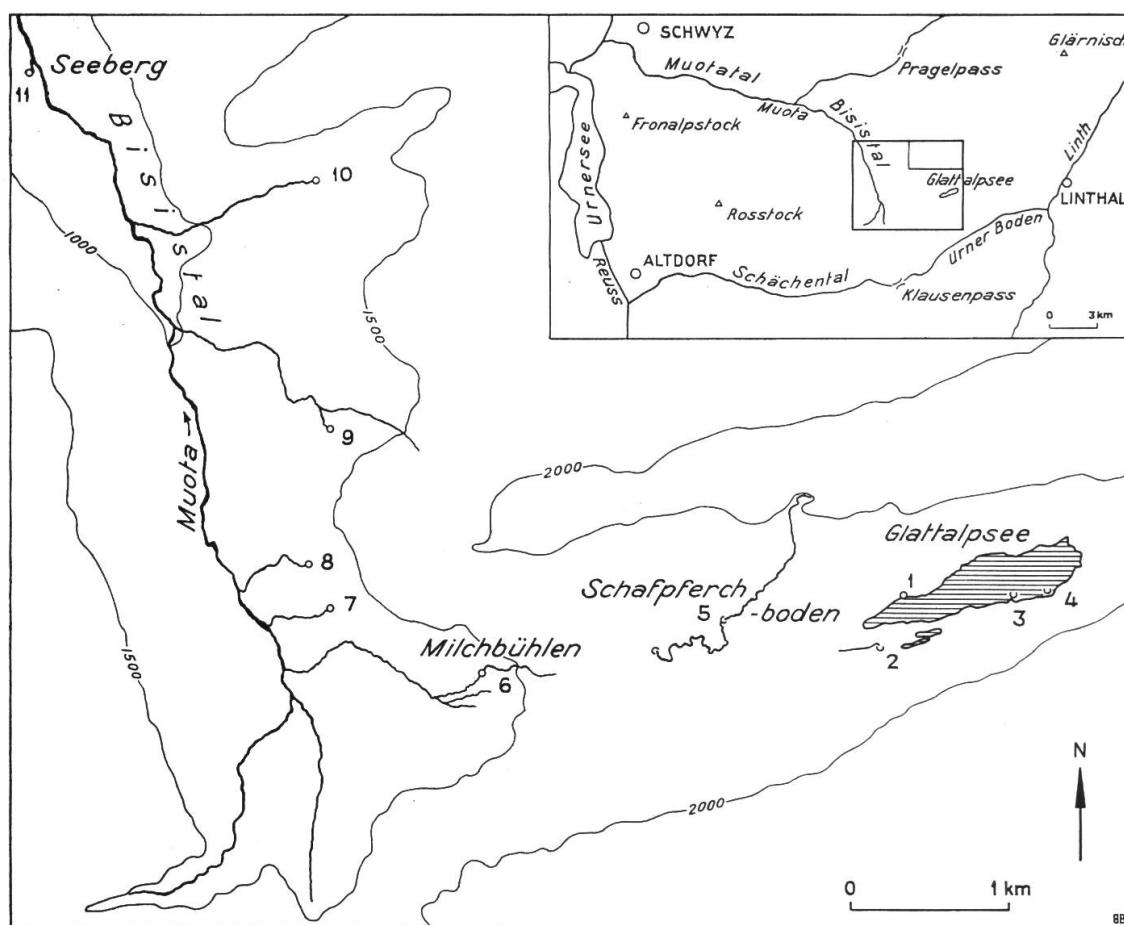
Download PDF: 14.01.2026

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

KARSTHYDROGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN IM MUOTATAL

ALFRED BÖGLI

Das Muotatal liegt im Einzugsbereiche des Vierwaldstättersees und durchzieht Säntis-Drusberg-Decke und Axendecke. Die Muota quert das grösste schweizerische Karstgebiet bis zum Südrande. Im Raume der Axendecke ergaben sich ausgezeichnete Möglichkeiten, karsthydrographische Untersuchungen durchzuführen, die sich vor allem einerseits auf den Raum Silbern-Twärenen-Bödmeren mit dem Höolloch, anderseits auf das Gebiet Glattalp-Karrenalp-Bisistal konzentrierten. Diese Studien stehen im grössten Rahmen einer geomorphologischen Erforschung des gesamten Muotatales, denen der Autor seit dem Jahre 1945 obliegt.



Bisistal-Glattalp. Die Färbestellen (1—5) liegen auf 1832 bis 1854 m Höhe, die wichtigsten Farbstoffaustritte zwischen 1400 m (6) und 780 m (11).

1. SILBERN-TWÄRENEN-BÖDMEREN

Der untersuchte Bereich westlich des Silberngipfels liegt in der Stirnregion der Axendecke und somit im Kreidegebiet. Er wird unterirdisch durch das Höolloch entwässert. Die Grenzen des Einzugsgebietes sind nicht sicher bestimmbar, da die orographische und die karsthydrographische Wasserscheide

sich kaum irgendwo decken werden. Im wesentlichen wurde der Einzugsbereich auf Grund geologischer Kriterien bestimmt und mit 20 bis 23 km² festgelegt. Es sind meist stark verkarstete Flächen auf Seewer- und Schratzenkalk. Bei anhaltend trockenem Wetter sind oberirdisch keine Wasserläufe zu beobachten. Bei normalem Regenwetter bildet sich im obern Roggenloch ein etwa 300 m langes oberirdisches Gerinne, das längste des ganzen Gebietes. Vom Roggenstöckli her fliessen zeitweilig einige kürzere Bäche in den Bereich des untern Roggenloches. Möglicherweise versickert ausserdem im Gutentalboden noch Wasser des vom Pragelpass herkommenden Starzlenbachs im Seewerkalk, da fast 600 m tiefer ein Ast des Höllisches in einer sehr wasserreichen Zone das Tal unterquert und unter die Säntis-Drusbergdecke hineingreift.

Der Kalkgehalt der einsickernden Wasser beträgt auf nackten Karrenflächen 1,5 Härtegrade (1,5 g pro 100 Liter) bei voller Entwicklung des Niederschlages. Zu Beginn des Regens konnten bis zu 2,7 H gemessen werden und am Ende noch 1,7 H. Bei Anwesenheit von Humuspolstern steigt der durchschnittliche Kalkgehalt auf ca. 3,5 H. In Spalten ablaufendes Wasser konnte bisher auf voll bedeckten Karren aus technischen Gründen nicht gemessen werden, so dass hier der Durchschnittswert nur schätzbar ist. Bei geringerer Humusauf lagerung muss man mit etwa 6 H rechnen, bei mächtigerer mit etwas mehr. Ganz anders ist aber die Situation, wenn lehmige Böden einerseits das Wasser lange zurückhalten, andererseits darin grössere Mengen an biologisch entstandener Kohlensäure zur Verfügung stehen. Dabei kann das einsickernde Wasser sogar kalkgesättigt sein, ja so viel Kalk enthalten, dass dieser im Erdinnern als Tropfstein wieder ausgeschieden werden kann.

Der Kalkgehalt des Quellwassers ist abhängig vom Zustande der wasserliefernden Oberfläche. Ist sie nackt, dann muss man mit etwa 7 H rechnen; je mehr Humuspolster an der Oberfläche feststellbar sind, um so höher steigt der Kalkgehalt des austretenden Wassers und erreicht 8,5 H. Noch höhere Werte weisen auf grössere Anteile an bedeckten Karren hin, wobei das ins Erdinnere geschwemmte Humusmaterial durch weitere Zersetzung zusätzliche biologische Kohlensäuremengen liefern kann. Uebersteigt der Kalkgehalt 12 H, dann ist anzunehmen, dass im Einzugsgebiete tonige Böden vorhanden sind. Hier kommt es zur Bildung von Quellen bis zu 17,5 H. Noch höhere Beträge sind in unsern alpinen Karstgebieten selten anzutreffen und hängen mit besondern Verhältnissen zusammen, die hier nicht zur Diskussion stehen.

Für den untersuchten Bereich ergibt sich ein Mittel des Kalkgehaltes von einsickerndem Wasser von ca. 5 H. Das austretende Wasser des Höllisches, das im Schleichenden Brunnen erscheint, zeigt bemerkenswerte Schwankungen, die aber gut interpretiert werden können. Im Hochwinter kommt die Zersetzung der Humusstoffe zum Stillstand; der CO₂-Gehalt der Bodenluft ist klein; der Kalkgehalt des Höllochwassers ist mit 10 H relativ klein. Im Frühjahr beginnt die Schneeschmelze im Talgrund und steigt allmäthlich die Hänge hinauf. Das Wasser aus den gutbewachsenen Regionen lässt den Gehalt um 0,5 H ansteigen. Mit dem Einsetzen der Schneeschmelze in den grösstenteils nackten Lagen über 1600 m sinkt der

Gehalt auf nur 7 H. Nun nimmt aber auch die Aktivität der Bodenbakterien wieder zu, und im Juni erreichte der Kalkgehalt des Wassers nach einem Gewitter trotz des schnellen Durchsatzes schon wieder 8 H, weil von ihm vor allem stark bewaldete Gebiete betroffen wurden. Der leichte Anstieg hält während des Sommers an. Mit den ersten Schneefällen in den Hochlagen ändert sich der Wert kennzeichnend. Der sonst bedeutende Zustrom von Wasser aus den nackten Karrengebieten geht schnell zurück und das Wasser der bewachsenen untern Regionen kommt nun voll zur Geltung. Im November 1952 enthielt das Wasser 12 H an Kalk, als es bis 1100 m hinauf regnete, höher aber schneite. Das bedeutet eine Anlieferung von Wasser bis ca. 1400 m Meereshöhe, alles Waldgebiet mit eingelagerten Streifen toniger Böden aus Gaultgesteinen.

Es kann als Durchschnittswert angenommen werden, dass aus dem Erdinnern insgesamt 4 H an Kalk mit dem Wasser davongetragen werden, das wären 40 g pro m³. Der jährliche Wasserdurchsatz durch den verkarsteten Raum von 20 km² kann ziemlich genau geschätzt werden. Nach H. Uttinger (Niederschlagsmengen in der Schweiz 1901 bis 1940, Zürich 1949) erhalten die Talstationen von Muotatal (610 m) 1990 und Bisistal (853 m) 1989 mm Niederschlag. Die Hochflächen beginnen bei ca. 1300 m und erheben sich bis zum Silberngipfel auf 2319 m. Entsprechend steigen die Niederschläge an, so dass der Durchschnitt 2400 mm übersteigen dürfte. Die hohe Versickerungsgeschwindigkeit ergibt minimale Verdunstungsverluste, so dass der wahrscheinliche durchschnittliche Ablauf pro m² Fläche im Jahresmittel um 2000 Liter beträgt. Das entspricht einem totalen Wasserdurchsatz von ca. 40 Mio m³ jährlich. Der Schleichende Brunnen fördert etwa 50 Mio m³ (neue Berechnung auf Grund einer längeren Beobachtungszeit)¹. Ausserdem ist bei grossem Hochwasser der Austritt von Wasser aus zahlreichen Spalten und aus dem 100 m höher gelegenen Höhlenausgang zu beobachten, was mindestens weitere 5 Mio m³ ausmacht. Am Schleichenden Brunnen besteht also ein Ueberschuss von ca. 15 Mio m³, die auf Grund von Färbeversuchen eindeutig aus dem Muotagrundwasser stammen.

Die Gesamtmenge des jährlich aus dem Erdinnern herausgelösten Kalkes beträgt aktuell ungefähr 1600 Tonnen oder 600 m³. Das entspricht einer respektablen Höhle. Im Postglazial, das im Bisistal etwa vor 10 000 Jahren einsetzte, sind daher bei Annahme durchschnittlich ähnlicher Verhältnisse wie heute an 6 Mio m³ Gestein entfernt worden. Nun kann bei Analyse des zeitlichen Ablaufes der Hochwasserwellen das Bestehen eines über dem Höllloch liegenden Höhlenstockwerkes vermutet werden, das bisher nicht betreten werden konnte. Im Höllloch ist ausserdem ein oberes Gangsystem bekannt, dessen Mittelhöhe dem präglazialen Niveau des Muotatales entspricht. Das Alter des Höllisches, die noch nicht betretenen und vielleicht überhaupt nicht betretbaren Gänge eingeschlossen, dürfte daher mindestens präglazial sein, während sich der Hauptteil der bisher erforschten Räume während des grossen Interglazials und später entwickelte. Dies reizt zu entsprechenden Multiplikationen, um das Ausmass der noch vorhandenen Räume zu bestimmen. Der Wert muss aus verschiedenen Gründen zu hoch ausfallen. Einmal wurde ein kleiner Anteil durch Erosion wieder zerstört. Zum andern aber ändert sich im Verlaufe der Zeiten die hydrographische Wirksamkeit beträchtlich. Zuerst nimmt sie sehr langsam, dann aber immer schneller zu, bis sie einen Stand erreicht, der sich nur noch wenig ändert. Als weiteres kommt die Füllung hochgelegener Räume durch Sinterabscheidungen hinzu. Im bereits erforschten Höllloch, das zum grössten Teile unter bedeckten Karren liegt, sind die Tropfsteine selten. Wir müssen annehmen, dass das aus den tonigen Streifen einsickernde

kalkreiche Wasser den Kalküberschuss in einem höheren Stockwerk wieder ausgeschieden hat, ein weiteres Indiz für das Bestehen dieser hypothetischen Räume. Das Volumen aller vorhandenen Hohlräume macht gegen 100 Mio m³ aus. Davon sind in den 70 km vermessener Gänge des Höllisches bisher nicht viel mehr als 1 % bekannt geworden. Leider ist der Rest zum weitaus grössten Teile praktisch unzugänglich.

Mehrere Färbungen halfen den Verlauf der unterirdischen Gerinne abklären. Der Firma Durand & Huguenin, die uns Fluoreszein kostenlos überliess, gebührt unser Dank. Mit ihrer Hilfe konnte ein ausgedehntes Färbeprogramm durchgeführt werden, das allerdings auch heute noch nicht abgeschlossen ist. Die wohl wichtigste Feststellung dürfte der Beweis für die Existenz voneinander unabhängiger Wasserläufe sein, die sich überkreuzen. Sie münden in den gemeinsamen Vorfluter, der bisher von niemandem gesehen wurde, weil der Zugang zu diesem Höhlenfluss durch Siphons versperrt wird. Unsere Forschungen haben vermutlich den grössten Teil der Zuflüsse bereits erfasst.

Mit Hilfe der Färbungen konnten auch die Fliessgeschwindigkeiten ermittelt werden. Im Schluchtgangbereich brauchte das Wasser für eine Strecke von 1000 m «Luftlinie» 20 Stunden, einer Geschwindigkeit von 50 m/h entsprechend. Da die «Luftlinie» die kürzeste Verbindung, der wahre Weg aber sicher länger ist, so ist der gefundene Wert kleiner als der wahre. Doch ist er als Vergleichswert durchaus brauchbar, sagt er doch eindeutig, dass das Wasser nicht in ein Grundwasser ausmündet, dessen Fliessgeschwindigkeit um Zehnerpotenzen geringer ist. Die gesamte Laufzeit Schluchtgang-Donnertal-Schleichender Brunnen, welche Strecke 6 km misst, belief sich auf 196 Stunden. Dies entspricht einer minimalen Durchschnittsgeschwindigkeit von 30,6 m/h. In der eigentlichen Vorfluterstrecke von 5 km betrug sie sogar nur 28,4 m/h, bei einem Gefälle von nur 5,4 Promillen. Der Farbstoff erschien am Schleichenden Brunnen in recht hoher Konzentration, so dass die Muota weithin grün gefärbt war. Dies legt die Vermutung nahe, dass er in den Hauptzufluss eingeschüttet worden war.

Aus dem Verhalten des Höhlenwassers und den geringen mittleren Fliessgeschwindigkeiten kann geschlossen werden, dass der Vorfluter aus einer Reihe von Becken mit freier Wasseroberfläche besteht, die durch Engstellen mit Druckströmung (Düsen) miteinander verbunden sind. Diese Düsen stauen das Wasser bei grossem Andrang zurück, zwingen es, in die Höhe zu steigen und durch die uns bekannten Hochwasserwege abzufließen.

Bei der Annahme, die Farbe durchfliesse den gesamten Vorfluter, kann das Wasservolumen leicht auf Grund der Durchsatzzeit und des Ergusses berechnet werden.

$$V = E \cdot t \quad (\text{Erguss mal Zeit})$$

Der Erguss betrug schätzungsweise 300 l/sec, die Verweildauer der Farbe im Vorfluter 176 Stunden. Das Volumen lässt sich daraus zu ca. 200 000 m³ bestimmen. Dies ist aber nur richtig, wenn keine allzugrossen Zuflüsse in grössere Nähe der Austrittsstelle auftreten. Allerdings besteht der Vorfluter aus einer Reihe von Becken, in denen erfahrungsgemäss die Farbe dem Stromstrich folgt und nicht den ganzen Raum umfasst. Damit dürfte die im Vorfluter enthaltene Wassermenge bei Niedrigwasser 200 000 m³ beträchtlich übersteigen.

Ueber dem Vorfluter bestehen noch freie, uns unzugängliche Räume, die aus dem Verhalten der Hochwasserwellen erkennbar werden. Erst ein Niederschlag von 13 mm pro Tag zwingt den Wasserspiegel so hoch hinauf, dass er eben sichtbar wird. Der zum Vorfluter gehörende Luftraum ist mindestens so gross wie der Wasserraum bei Niedrigwasser. Der gesamte Hohrraum des Vorfluters bis zum Erscheinen des Wasserspiegels in den uns bekannten Gängen umfasst ungefähr eine halbe Million Kubikmeter.

Die Herkunft des Wassers im Schluchtgange konnte bisher durch Färbung nicht festgelegt werden. Die Natur hat nun selbst für die notwendige Aufklärung gesorgt. Aus geologischen Gründen kommt als Herkunftsgebiet nur der Raum östlich und nördlich des Roggenstöckli in Frage. Nun werden durch gewitterbedingte Hochwasser in grosser Menge Samen und Tannnadeln eingeschwemmt, was eine gute Bestätigung der vermuteten Herkunft ist. Der nächste Punkt des Höllisches liegt horizontal nur 200 m von der Schluckstelle entfernt, bei einer Vertikaldistanz von 600 m. Wir sind zur Zeit an der Arbeit, den fraglichen Trichter auszuräumen und den Versuch zu machen, auf diesem Wege einen neuen, begehbarer Zugang zum Höllloch zu erzwingen.

Es müssen jedoch noch Zuflüsse aus höhern Lagen vorhanden sein, da mehrfach in den Gängen lebende Exemplare des Laufkäfers *Nebria Heeri* gefunden wurden, dessen Lebensraum über 2000 m Meereshöhe liegt. Dies ist auch geologisch wahrscheinlich.

Selten hat die Höhlenforschung in einem solchen Ausmaße Einblick in den Verlauf alter und neuer Karstgerinne vermittelt wie beim Höllloch. Die Gänge zeigen, dass die Wasserläufe in einem jungen Stadium der Verkarstung und bei hochliegendem Vorfluter netzförmig miteinander verbunden sind; das gilt auch sehr ausgeprägt für die Räume im reifen Zustande, wo hingegen die Gerinne immer unabhängiger voneinander werden. Diese Vernetzung in horizontalem wie vertikalem Bereich, wie die teilweise Unabhängigkeit der Gerinne wurde schon von O. Lehmann angenommen.

Die Hohlräume lassen die folgende hydrographische Zonierung erkennen:

A. Aktive Zone: Das Wasser erweitert die Hohlräume.

1. *Vorfluterzone* oder Zone dauernd wassererfüllter Hohlräume. Sie reichen weit unter den Spiegel benachbarter oberflächlicher Wasserläufe hinunter, da theoretisch bei Druckströmung fliessendes Wasser beliebig tief unter die Wasseroberfläche gelangen kann. Dafür liegen zahlreiche Beweise in heute trocken liegenden Gängen verschiedener Höhlen, vor allem auch im Höllloch vor.
2. *Hochwasserzone* oder Zone periodischer Wasserfüllung. Der Wasserandrang kann vom Vorfluter bei Hochwasser nicht mehr genügend schnell abgeführt werden. Je nach den Bedingungen kann diese Zone bis zu 100 und mehr Metern über das Vorfluterniveau hinaufreichen. Im hintern Höllloch liegt der Hochwasserspiegel 150 m über dem Vorfluterniveau, im vordern noch 100 m. Dabei sind zwei Typen zu unterscheiden:

- a) Zone der *Hochwasserströme*, die den Vorfluter entlasten und einer zeitweiligen stärkeren Erweiterung ausgesetzt sind.
 - b) In den *Piezometerröhren* steigt das Wasser unter dem hydrostatischen Drucke in die Höhe ohne andere Wirkung als der einer gelegentlichen geringen Korrosion, wenn das Gleichgewicht mit der Höhenluft nicht erreicht ist.
3. *Zuführende Stränge*. Ueber dem Vorfluter liegen Karsthohlräume, die nach oben immer steiler und zuletzt senkrecht werden. Sie werden durch das Wasser laufend erweitert. Je nach der Höhlenentwicklung ist der Anteil der Horizontalhöhle, die im wesentlichen Zone 1 und 2 umfasst, verschieden. Typisch für den Bereich sind aber die Vertikalthöhlen, die eine nie fehlende Ergänzung zu den flach verlaufenden darstellen.

B. Inaktive Zone: Das Wasser hat die Hohlräume verlassen. Formänderungen sind nur noch durch Versinterung oder Einsturz möglich. Diese Zone liegt über dem Hochwasserhorizont und umfasst alles, was nicht den zuführenden Strängen zugehört. Ihr Ausmass ist in hochgelegenen Karststöcken im allgemeinen sehr gross, ja viele betretbare Höhlen bestehen zum grössten Teil aus dieser Zone, so die Eisriesenwelt (46 km), die Dachsteinhöhlen u. v. a. Für die heutige Karsthydrographie ist sie ohne Bedeutung, dagegen lassen sich darin gute Einblicke in das frühere Verhalten des Karstwassers gewinnen.

2. GLATTALP-KARRENALP-BISITAL

Das hintere Bisital liegt im Bereich jurassischer Gesteine der Axendecke s. s. Infolge seiner Reinheit und Dickbankigkeit ist der Quintnerkalk ähnlich gut verkarstungsfähig wie der Schrattenkalk im Bereich des Höllloches. Die Basisbänke der hangenden Zementsteinschichten und der liegende Schiltkalk zeigen viel geringere Verkarstung, teils wegen des höheren Tongehaltes, teils wegen der dünnen Bankung, die beide zudem eine erhöhte Frostanfälligkeit bedingen. Dies drückt sich vor allem in der Zahl und Anordnung der Versickerungsstellen aus, wobei in dieser Hinsicht der Schiltkalk wegen seiner zu geringen Ausdehnung nicht berücksichtigt werden kann. Im Quintnerkalk erfolgt die Versickerung statistisch fast diffus, wenn auch an wohldefinierten Stellen, während sie sich in den Zementsteinschichten ausgesprochen an Verwerfungen hält, und zwar dort, wo diese die Kalkbänke queren.

Der Glattalpsee liegt in den Zementsteinschichten und ist ohne oberirdischen Abfluss. Zahlreiche Schluckstellen, meist in der Zone der sommerlichen Wasserspiegelschwankungen gelegen, führen das Wasser weg. Der Seegrund ist infolge einer mächtigen Auflage von Seelehm bis auf eine Stelle dicht. Benachbarte Becken zeigen nur bei Hochwasser infolge Rückstau an den Schluckstellen wenige Stunden dauernde Wasseransammlungen, da sie alle am Quintnerkalk enden. Dieser bildet bezeichnenderweise auch die Erosionsbasis.

Im Zuge der Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen den Schluckstellen auf Glattalp und den Quellen im Bisital, die im Auftrage

der EBS, Elektrizitätswerke des Bezirkes Schwyz AG, und ihrem Rechtsvorgänger gemacht wurden, konnten aufschlussreiche Beobachtungen gemacht werden, die eine karsthydrographische Bearbeitung erfolgreich erscheinen liessen. Wir sind den EBS für die Ueberlassung ihres Materials zu Dank verpflichtet.

Erste umfassende Färbeversuche wurden durch R. U. Winterhalter in den Jahren 1946 und 1947 am Glattalpsee und im Schafpferchboden mit Erfolg durchgeführt. 1954 und 1958 folgten weitere Färbungen durch A. Bögli zur Abklärung spezieller Probleme. Insgesamt wurden solche an fünf natürlichen Schluckstellen von karsthydrographischem Interesse durchgeführt, auf der beiliegenden Kartenskizze mit den Zahlen 1 bis 5 gekennzeichnet. Die Nummern 1, 3 und 4 liegen im unmittelbaren Bereich des Glattalpsees, 2 wird bei hohem Seespiegelstand zugedeckt. Die Färbestelle 5 befindet sich im Schafpferchboden am Vorderleckibach.

Von den vielen kontrollierten Wasseraustrittsstellen wurden sechs charakteristische Fälle herausgegriffen, die den Vorteil einer lückenlosen Beobachtung aufweisen; es sind die Nummern 6 bis 11. *Dazwischen* liegen weitere Quellen, die nie gefärbt erschienen, somit schon auf diese Art und Weise die Unabhängigkeit der Karstgerinne aufzeigen.

Tabelle 1: Höhen und geologische Lage der Färbestellen und Resurgenzen.

Färbestellen

1	Glattalpsee NW	1850 m	Zementsteinschichten
2	Glattalpsee SW	1852 m	idem
3	Glattalpsee S	1832 m	idem
4	Glattalpsee SE	1845 m	idem
5	Schafpferchboden	1854 m	idem

Resurgenzen

6	Taschibach	1400 m	Schuttquelle (verdeckte Karstquelle), vermutlich Basis des Doggers
7	Eigeli	1350 m	Basis des Doggers, Nähe Verwerfung
8	Feldmoos	1360 m	Basis des Doggers, an Sackungsrand
9	Höchweidquellen	1330 m	Basis des Doggers, Nähe Verwerfung
10	Richliswaldbach	1200 m	Schuttquelle, Nähe Doggerbasis
11	Brünnen im Hinter-Seeberg	780 m	Abtauchen des Quintnerkalkes unter den Talboden; Grenze zu den Zementsteinschichten

Von allen Austrittsstellen wurden die Quellen im Richliswaldgebiet am wenigsten stark gefärbt, z. T. um mehrere Zehnerpotenzen weniger als die andern. Der Richliswaldbach lag an der Grenze der Sichtbarkeit, die sog. Schwarzenbachquellen verrieten ihren Farbstoffgehalt erst unter dem Fluoroskop.

In der Tabelle 1 wurde die künstlich hervorgerufene Schluckstelle im Glattalpsee nördlich Nr. 3 nicht angeführt. Hier durchstieß eine Bohrung den dichten Lehmteppich des Seegrundes und erreichte im Anstehenden eine Kluft. Ein Färbeversuch liess die Brünnen kräftig grün fliessen, den Richliswaldbach schwach grün erscheinen, während alle andern Quellen unberührt blieben. Das weist darauf hin, dass hier eine unterirdische Verbindung getroffen wurde, die von den natürlichen Schluckstellen aus nicht bedient wird.

Tabelle 2: Horizontaldistanzen, Höhendifferenzen und Gefälle zwischen Färbeort und Resurgenz.

	1	2	3	4	5
6 Distanz	2700 m	2480 m	3360 m	3580 m	1530 m
Höhendiff.	450 m	452 m	432 m	445 m	454 m
Gefälls-%	17 %	18 %	13 %	12 %	30 %
7 D	3560 m	3410 m	4230 m	4440 m	2460 m
H	500 m	502 m	482 m	495 m	504 m
%	14 %	15 %	11 %	11 %	20 %
8 D	3700 m	3570 m	4370 m	4580 m	2620 m
H	490 m	492 m	472 m	485 m	494 m
%	13 %	14 %	11 %	11 %	19 %
9 D	3750 m	3700 m	4400 m	4600 m	2770 m
H	520 m	522 m	502 m	515 m	544 m
%	14 %	14 %	11 %	11 %	20 %
10 D	4660 m	4700 m	5230 m	5420 m	3870 m
H	650 m	652 m	632 m	645 m	654 m
%	14 %	14 %	12 %	12 %	17 %
11 D	6540 m	6640 m	7060 m	7200 m	5900 m
H	1070 m	1072 m	1052 m	1065 m	1074 m
%	16 %	16 %	15 %	15 %	18 %

Die Tabelle 2 zeigt Gefälle, die wenig voneinander abweichen, wenn wir von der Verbindung Schafpferchboden-Taschi abssehen. Sie sind allgemein hoch, was sich aus dem Berechnungsverfahren ergibt. Es ist normalerweise bei Karstgerinnen nicht möglich, die wahre Länge zu bestimmen. Deshalb verwendet man üblicherweise die Horizontaldistanz Schluckstelle-Resurgenz. Das ergibt das maximal mögliche Gefälle.

Von Interesse sind die Fliessgeschwindigkeiten, die ebenfalls auf Grund der Horizontaldistanz berechnet werden müssen. Im Gegensatz zum Gefälle ergeben sich hier nun Minimalwerte, da die wahre Länge immer länger sein wird als die «Luftlinie».

Tabelle 3: Laufzeit t in Stunden und Laufgeschwindigkeit v in m/h zwischen Färbeort und Resurgenz.

	1 t/v	2 t/v	3 t/v	4 t/v	5 t/v
6	18/150	29/ 86	70/ 40	32/112	12/131
7	16/222	23/148	70/ 60	24/185	13/189
8	16/231	23/155	70/ 62	24/190	13/201
9	15/288	25/148	70/ 63	23/200	13/213
10	—	—	135/ 38	42/129	—
11	18/363	30/221	75/ 94	22/327	16/368
Datum	15./17. 7. 1947	23./28. 9. 1946	6. 2. ff 1958	27./31. 8. 1947	8./9. 7. 1954
Leiter	W.	W.	B.	W.	B.

(W.: R. U. Winterhalter; B.: A. Bögli)

Diskussion der Zahlenwerte

Ein erster Vergleich der Tabellen 2 und 3 zeigt, dass kein direkter Zusammenhang zwischen Gefälle und Fliessgeschwindigkeit besteht, dann also andere Faktoren das v beeinflussen müssen. Es wäre jedoch zu einfach, die Horizontaldistanz soweit zu verlängern, dass die Fliessgeschwindigkeit eine Funktion des Gefälles wird. Auch im steilsten Gefälle kann sich ein unterirdisches Seebecken einschalten. Es kann jedoch auf Grund der hohen

Fliessgeschwindigkeiten gefolgt werden, dass grössere unterirdische Becken fehlen, ein Indiz für eine relativ junge Verkarstung. Diesem Indiz kommt nur im Zusammenhang mit andern Indizien etwelche Bedeutung zu, da es durchaus nicht zwingend ist.

Die an einzelnen Resurgenzen feststellbaren, grossen Unterschiede der Fliessgeschwindigkeiten durch Zuflüsse sind eine Folge des Füllungsgrades des unterirdischen, karsthydrographischen Netzes und des Wasserangebotes von der Oberfläche her. Die unterirdischen Räume haben auch im Karst eine gewisse Speicherfähigkeit, wie das im ersten Kapitel schon gezeigt wurde. Das Verhältnis von Speicherraum und Abflussmöglichkeit bestimmt die Speicherwirkung des Karstgesteins. Der Durchfluss ist in jedem Zeitpunkte für eine bestimmte Düse durch den Querschnitt nach Form, Fläche und Rauhigkeit und durch den augenblicklichen Druck fixiert. Unmittelbar vor Beginn der Schneeschmelze, meist also im März, erreicht das Speicherwasser ein Minimum. Das Wasserangebot ist von der Oberfläche her minimal, was zu einem Maximum der Reibungsverluste pro cm^3 und damit zu einer beträchtlichen Verlangsamung des Fliessens führt. Das ist deutlich beim Färbeversuch vom 6. 2. 1958 erkennbar, wo durchschnittlich nur 40 % der sommerlichen Fliessgeschwindigkeiten gemessen wurden.

Mit der Schneeschmelze beginnen sich die Klüfte zu füllen. Die gespeicherte Wassermenge erreicht im Juli ihr Maximum. Dann beginnt die Entleerung, die je nach Witterung verschieden schnell verläuft, jedoch erst im Herbst schnellere Fortschritte macht. Es spricht für eine recht hohe Speicherfähigkeit des Glattalp-Karrenalpkarstes, dass Ende August des trockenen Jahres 1947 noch beachtliche Wassermengen austraten.

Die Fliessgeschwindigkeit ist eindeutig eine Funktion des Wasserangebotes. Daher steigt sie von einem Minimum im März auf ein Maximum Mitte Juli an, um hierauf zuerst langsam, dann immer schneller wieder abzusinken, bis im Dezember nahezu der Tiefpunkt erreicht wird. Der Glattalpsee als natürliches Speicherbecken wirkt dabei ausgleichend.

Die Abhängigkeit der Fliessgeschwindigkeiten von den Witterungsverhältnissen erschwert einen Vergleich zwischen den einzelnen Zuflusswegen zu den Austrittsstellen. Die Wirkung der Witterung lässt sich aber zu einem guten Teil ausschalten, indem wir auf eine Vergleichsmöglichkeit reduzieren. Von den Färbestellen bis zum Austrittsort der Brünnens muss ein Hauptstrang führen, der von allen untersuchten Wassern benutzt wird. Die individuellen Zuflüsse hierzu machen sich nur wenig bemerkbar, so dass diese Strecke wie keine andere als Vergleichsbasis geeignet ist. Wir setzen die Fliessgeschwindigkeit Färbeort-Brünnens gleich 100; dann ge-

Tabelle 4: Absolute Fliessgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsindizien in Prozenten der Vergleichsgrösse Färbeort—Brünnens.

	1		2		3		4		5		
	v	%	v	%	v	%	v	%	v	%	
6	150	41	86	39	48	51	112	34	131	36	
7	222	61	148	67	60	64	185	57	189	54	
8	231	64	155	70	62	66	190	58	201	54	
9	250	69	148	67	63	67	200	61	213	58	
10	—	—	—	—	38	40	129	39	—	—	
76	11	263	100	221	100	94	100	327	100	368	100

winnen wir für die andern Indizien, die in Prozenten der Vergleichsgrösse ausgedrückt sind.

Schon rein topographisch lassen sich vier Quellgruppen unterscheiden, die nun auch in der Tabelle 4 deutlich hervortreten. Die südliche befindet sich auf Milchbühlen; es folgt die Gruppe Eigeli, Feldmoos, Höchweid. Im Richliswald existiert eine weitere Gruppe und die Brünnen bilden die westliche und zugleich die grösste.

Die Gruppe von Milchbühlen umfasst mehrere Quellen von unterschiedlicher Herkunft, was sich durch verschiedene Intensität der Färbung kund tut. Die meisten sind verdeckte Karstquellen treten jedoch aus dem Schutte aus. Die Indizien liegen für die Untersuchungsstelle am Taschibach (6) zwischen 34 und 51, je nach Herkunft des Wassers. In dieser Schwankungsbreite drückt sich der relativ hohe Anteil der individuellen Gerinnestrecken aus. Es ist durchaus möglich, dass überhaupt kein gemeinsamer Strang vorliegt. Eine Vernetzung der Gerinne unter sich und mit allen andern Quellgruppen ergibt sich daraus, dass bei Färbeversuchen immer alle andern Quellen auch gefärbt erscheinen. Das Nichtansprechen des Richliswaldbaches (10) dürfte eher auf eine Ungenauigkeit des Beobachtens als auf eine fehlende Verbindung mit den Färbeorten 1 und 2 zurückzuführen sein. Das Wasser war beim Versuch 3 teilweise auch erst im Fluoroskop erkennbar gefärbt. Es fällt ausserdem auf, dass die Fliesszeiten trotz höherem Gefälle eher länger sind als auf den Strecken zur fast doppelt so weit entfernten Gruppe Eigeli-Höchweid. Der Verdünnungsgrad zeigt ausserdem die Beteiligung von fremdem Karstwasser, vermutlich teils aus der Glattalp, teils aus der Märenbergkette.

Die Gruppe Eigeli-Höchweid (7, 8, 9) umfasst neben den angeführten Quellen weitere, die nicht gefärbt erschienen, so Feldmoosbrunnen, Schmallauibach, Giebelbach und Schrundbach. Diese führen nebst Gehängeschuttwasser reines Karrenalpwasser ohne Beimischung von Glattalpwasser ab. Die drei gefärbten Quellen zeigen 50 bis 95 % höhere Fliessgeschwindigkeiten als der Taschibachzufluss. Die Indizien sind sich sehr nahe und differieren nur um 3 bis 8 Einheiten. Auch die Laufzeiten sind nahezu gleich. Es kann damit gerechnet werden, dass ein gemeinsamer Strang bis nahe an die Austrittsstellen heranführt, die immerhin 1100 m auseinanderliegen. Davon macht einzig der Strang vom Schafpferchboden her eine Ausnahme, so dass dieser höchstens auf eine kurze Strecke im gemeinsamen Gerinne mitgeht.

Die Richliswaldgruppe (10) umfasst ebenfalls mehrere Quellen, darunter auch reine Schuttquellen, die nie gefärbt sind. Während die Färbung des Richliswaldbaches meist noch die Sichtbarkeitsgrenze überschreitet, wenn auch wenig, so waren die Schwarzenbachquellen nur noch mit Hilfe des Fluoroskopes als fluoreszeinhaltig erkennbar. Obschon die Laufzeiten gross sind, so erreicht doch der Index den Wert 40. Vermutlich handelt es sich um kleine Absickerungen aus dem Strang Glattalp-Brünnen, die in unterirdische Gerinne aus dem Bereich des Robutzli einmünden. Die Resurgenz selbst ist durch den Schutt des Richliswaldes und der Schoossriesi verdeckt, so dass das Wasser als Schuttquelle zutage tritt. Erst der Farbstoffgehalt zeigt, dass mindestens ein Teil davon Karstwasser ist.

Die Brünnen (11) im hintern Seeberg sind ein sehr komplexer Wasser-aufstoss, der durch seine Grösse auffällt. Es ist ein Quelltopf, in welchem zahlreiche Quellen aus den schlammbedeckten Schottern aufsprudeln. Die Färbungen haben gezeigt, dass ein Teil des Wassers aus dem Glattalpgebiet stammt. Weiteres kommt aus den Quintnerkalkflächen der Karrenalp und der Hänge westlich der Muota. Das würde die Bezeichnung Stromquelle rechtfertigen. Dazu kommt noch Sickerwasser aus dem Gehängeschutt des westlichen Talhanges, wo die Bäche teilweise versitzen. Ausserdem ist, wie beim Schleichenden Brunnen, Muotagrundwasser wesentlich beteiligt. Trotz all dieser fremden Zuflüsse war das Fluoreszein deutlich sichtbar. Die Fliessgeschwindigkeiten von teilweise 10 cm/sec, die auch für Karstgerinne hoch sind, lassen eine direkte Verbindung mit den Schluckstellen des Glattalpgebietes vermuten, die weder grosse Umwege noch bedeuten-

dere Flachstrecken aufweist. Da aus geologischen Gründen bis in die Gegend des Richliswaldes Geschwindigkeiten, wie sie der 2. Gruppe eigen sind, erwartet werden müssen, so sind für das letzte Drittel der Strecke Durchschnittsgeschwindigkeiten von 20 cm/sec zu erwarten. Das sind auch für Karstgerinne ausserordentliche Beträge, die als Extreme bezeichnet werden müssen.

Schlussfolgerungen

Die *Vernetzung* der unterirdischen Gerinne ist sowohl vertikal wie horizontal klar bewiesen, ähnlich wie es die Anschauung im Höolloch selbst lehrt. Es ist aber eindeutig, dass noch keine ausgeprägten Gerinne vorliegen können, die in einem reifen Karst das Wasser auf Kosten anderer an sich ziehen. Die Karstentwicklung ist somit noch nicht weit vorgeschritten, der Karst ist relativ jung (vergl. auch S. 72).

Die Vernetzung bedeutet aber auch eine Zusammenfassung der zahllosen, oberflächlichen Versickerungsstellen in wenige Stränge, was dem *karsthydrographischen Paradoxon* von O. Lehmann entspricht. Aber deren Zahl ist noch zu gross, um den Wasseraustritt auf einige wenige Resurgenzen zu beschränken.

Besonders ausgeprägt ist für das ganze gegen das Bisistal hin entwässernde Gebiet von Glattalp-Karrenalp das *Fehlen ausgeprägter Höhlen* im Gegensatz zum Bereich Silbern-Twärenen-Bödmeren. Der Quintnerkalk ist in allen für den Verkarstungsprozess wichtigen, lithologischen Eigenschaften dem Schrattenkalk, in welchem sich das Höolloch befindet, sehr ähnlich; allerdings ist die Clivage höher, was aber erst bei der Frostspaltung von Bedeutung ist. Das Gestein ist somit nicht die Ursache des Fehlens von Höhlen. Klüfte und Spalten sind hydriisch bedeutend weniger erweitert als im Bereich der Silbern. Ausgeprägte Schächte gehören zu den Seltenheiten und sind meist klein und wenig tief. Schächte gehören aber als Vertikalthöhlen zum Bild einer reifen, unterirdischen Entwässerung. Sie sind als Zubringer für die tief gelegenen Horizontalhöhlen unerlässlich. Auch dies ist ein Indiz für die relative Jugendlichkeit dieses Karstes.

Auf Grund der verschiedenen Indizien kann an der relativen *Jugendlichkeit des Glattalp- und Karrenalpkarstes* nicht mehr gezweifelt werden. Eine Erklärung hierfür ist schwer zu erbringen und muss wohl immer hypothetischen Charakter haben. Genauere geologische Untersuchungen zeigen, dass die Abtragung in den flacher gelagerten Quintnerkalken weniger tief greift. Es ist wahrscheinlich, dass Zementsteinschichten bis tief ins Präglazial hinein den Kalk deckten und höchstens örtlich die Unterlage freigaben. Durch die flächenhafte Glazialerosion wurden die Quintnerkalke entblösst und damit der Verkarstung zugänglich gemacht. Die Ausbildung des unterirdischen Wassernetzes begann somit erst im Diluvium. Das Wasser folgte vorerst den zahllosen Spalten und Klüften, also primären hydrographisch wegsamen Hohlräumen von geringer, teilweise noch kapillarer Öffnungsweite. Die Ausbildung wohldefinierter, zusammenfassender, unterirdischer Gerinne braucht sehr viel Zeit und wurde durch die fortschreitende, diluviale Tieferlegung der Talböden wesentlich gestört. Immer tiefere Teile der Kalke wurden dabei zum Vorfluter und kamen somit neu in den Bereich des Hauptdurchflusses. Ein über längere

Zeit konstantes Vorfluterniveau fehlte. Und doch ist gerade dieser Punkt wesentlich für die Ausbildung von grösseren Hohlräumen, was durch den Etagenbau der grossen Höhlen eindeutig unter Beweis gestellt wird. Die Verbindungen zwischen den einzelnen Etagen sind im allgemeinen kleiner.

Die Verhältnisse waren beim Höolloch ganz anders. Schon das präglaziale Vorfluterniveau dürfte sehr lange angedauert haben. Dann aber ist der Unterschied des heutigen und des erstinterglazialen Niveaus mit ca. 100 m nicht so gross, dass sich die Wirkungen gegenseitig nicht hätten unterstützen können. Dabei scheint die glaziale Uebertiefung nur unwe sentlichen Einfluss gehabt zu haben. Die Festlegung der Höollochniveaus erfolgte durch Korrelierung mit den Oberflächenformen. Dabei war zu berücksichtigen, dass ein Vorfluterniveau an der Oberfläche in einem verkarsteten Raume tief darunter reichende Gänge mit Druckströmung hervorruft, so dass erst eine sorgfältige Formenanalyse die Zusammenhänge aufdecken kann.

Die Verkarstung des Glattalp-Karrenalpgebietes ist im Gegensatz zum Silbergebiet noch jung und unreif und zeigt aus diesem Grunde auch das karsthydrographische Paradoxon in einer gemilderten Form.

ÉTUDES HYDROGRAPHIQUES DANS LE KARST DU MUOTATAL (*Résumé*)
Dans le Muotatal, en Suisse Centrale, deux contrées ont été étudiées à fond au point de vue de l'hydrographie karstique. La première comprend à peu près 23 km² de champ de lapiés en partie boisés au-dessus du Trou de l'Enfer. Celui-ci se trouve presque entièrement dans le calcaire urgonien et donne avec ses 70 km de galeries mesurées un aperçu des réseaux souterrains. La surface est trouée de gouffres et de cavernes.

L'eau de la surface ressort au «Schleichender Brunnen». Elle contient en moyenne 90 mg de carbonate de chaux par litre, tandis que l'eau ne disparaît dans les crevasses de la surface qu'avec 50 mg. Cela fait que chaque m³ d'eau de la résurgence emporte 40 g de l'intérieur de la montagne, au total à peu près 600 m³ par an.

Le réseau souterrain montre l'existence de courants d'eau indépendants qui s'entre croisent. La vitesse d'écoulement dans la galerie principale toujours inondée est de 28 m par heure sur une longueur de 5 km et une pente de 0,5 %. Cette vitesse exclut l'existence de l'eau de fond comme la mentionne Grund. Les galeries montrent, que dans un stade de prématûrité le réseau souterrain était en forme de filet.

Tous ces faits nous prouvent que cette contrée se trouve dans le stade de maturité.

L'hydrographie de la Glattalp présente d'autres traits, quoique le calcaire du malm inférieur ressemble fortement au calcaire urgonien. La grande vitesse de déplacement de l'eau de 368 m/h est due à la pente moyenne de 18% sur une longueur de 6 km. Le réseau souterrain est encore en forme de filet. Les sources latérales sont nombreuses. La surface ne contient ni gouffres, ni cavernes. Le karst de la Glattalp est encore au stade de prématûrité.

EINIGE BEMERKUNGEN ZUM PERIGLAZIAL-BEGRIFF

HANS BOESCH

Im Jahre 1910 berichtete W. von Lozinski (Lemberg) am XI. Internationalen Geologischen Kongress in Stockholm über Blockverwitterung in den Karpathen und im Sudeten Gebirge, wobei er vor allem den Zusammenhang zwischen den Blockbildungen und der pleistozänen Verbreitung des Inlandeises hervorhob. Er schrieb:¹ «... Als das diluviale Inlandeis

¹ Lozinski W. von: Die periglaziale Fazies der mechanischen Verwitterung. CR XI. Congrès Géologique Int. 1910, 1912.