

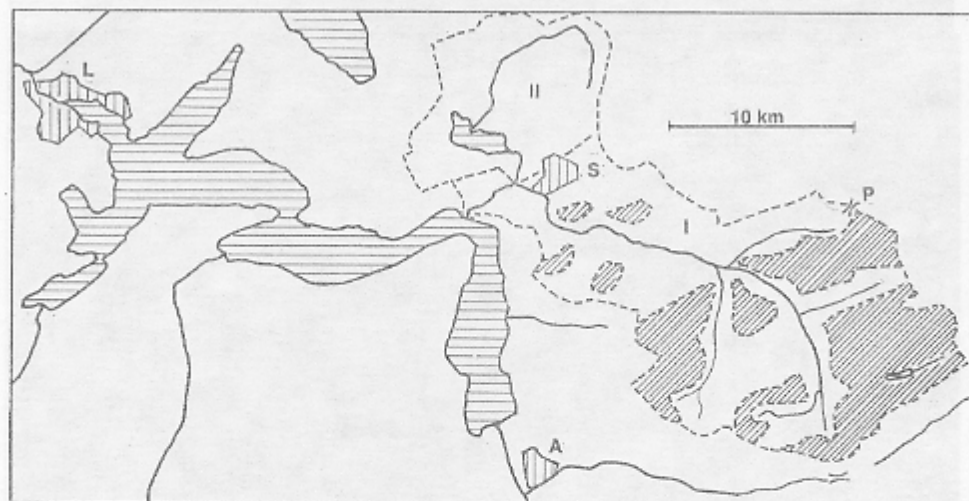
KARSTHYDROGRAPHISCHE STUDIEN IM EINZUGSGEBIETE DER MOUTA

ALFRED BÖGLI, Hitzkirch

Einleitung

Das Einzugsgebiet der Muota befindet sich in den zentralschweizerischen Kalkalpen östlich des Urnersees, dem Südast des vielarmigen Vierwaldstättersees. Es umfasst 316 km². Davon gehören 81 km² zur Seeweren, deren Wasser aus den undurchlässigen Gesteinen des Flysch und der Molasse stammen. Der engere Einzugsbereich der Muota beträgt 235 km², wovon mehr als 50% verkarstet sind.

Die Landschafts des Talschlusses und rechts der Muota bis zum Südufer des Starzlenbaches (Talzug zum Pragelpass hinauf) umfasst 93 km² wovon 68



Sl. 1. Položaj porječja Muota-e koje obuhvaća dolinu (I) sa podzemno odvodnjavanjem visokogorskim kršom (kosa šrafura) i nekrškim Seeweren-om (II) L. Luzern, S. Schwyz, A. Aldorf, P. Pragel Sedlo

Fig. 1. Lage des Einzugsgebietes der Muota, umfassend das Muotatal (I) mit dem unterirdisch entwässerten Hochgebirgskarst (schräg schraffiert) und dem karstfreien Bereich der Seeweren (II). L: Luzern, S: Schwyz, A: Aldorf, P: Pragelpass

km² (73%) völlig unterirdisch entwässert werde weitere ca. 10% partiell verkarstet sind. Sie ist karstmorphologisch und karsthydrographisch bis in viele Details untersucht, doch wurde darüber bisher nur wenig veröffentlicht (Bögli 1960, 1964, 1968a, 1968b, 1970, 1973). In diesem Gebiet liegt das Hölloch, eine aktive Höhle, das mit einer Länge von 124 km (1975) und mit einer Höhendifferenz von 828 m einen guten Einblick in das Verhalten der unterirdischen Gewässer gibt. Im Südosten liegt die Glattalp mit dem Glattalpsee, denen die nachfolgende Studie gilt. Grundlage hierzu sind Untersuchungen, die der Verfasser seit 1945 teil privat, teils für die Redaktion des »Atlas der Schweiz«, teils für die Elektrizitätswerke des Bezirkes Schwyz (EBS) durchgeführt hat. Den EBS sei für diese Möglichkeit gedankt.

1. Die Glattalp

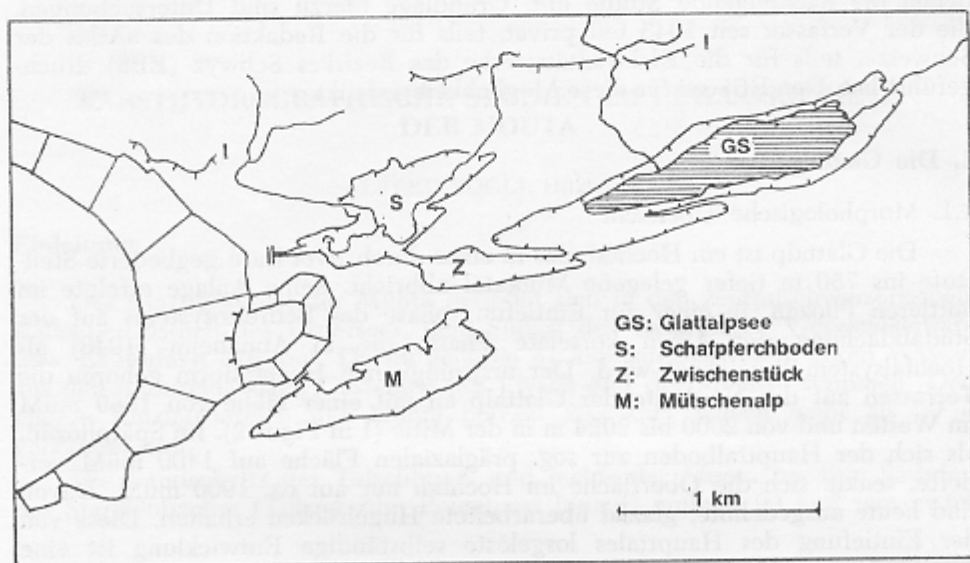
1.1. Morphologische Übersicht

Die Glattalp ist ein Hochtal, das in einer durch zwei Kare gegliederte Steilstufe ins 750 m tiefer gelegene Muotatal abbricht. Seine Anlage erfolgte im mittleren Pliozän, in einer zur Eintiefungsphase des Bedrettosystems auf der Stüdabdachung der Alpen korrelierte Phase, die in Annaheim (1946) als Hochtalssystem bezeichnet wird. Der ursprünglichen Hochtalform gehören die Terrassen auf der Nordseite der Glattalp an mit einer Höhe von 1989 müM im Westen und von 2000 bis 2024 m in der Mitte (I in Figur 2). Im Spätpliozän, als sich der Haupttalboden zur sog. präglazialen Fläche auf 1400 müM vertiefte, senkte sich die Oberfläche im Hochtal nur auf ca. 1900 müM. Davon sind heute ausgedehnte, glazial überarbeitete Hügelrücken erhalten. Diese von der Eintiefung des Haupttales losgelöste selbständige Entwicklung ist eine Eigenheit vieler Hochtäler, namentlich in den heutigen Karstgebieten. In deren Bildungszeit dürfte der Karst noch nicht entwickelt gewesen sein, sicher nicht auf Glattalp und auf der nördlich benachbarten Charetalp (= Karrenalp). Die Verkarstung setzte erst mit zunehmender Eintiefung des Haupttales ein.

Der Grund des Hochtales besteht zu einem guten Teil aus einer 3,2 km langen geschlossenen Hohlform von 1,2 km² Fläche. Eine Schwelle von der mittleren Höhe um 1900 müM, 70 m über dem tiefsten Punkt, trennt sie vom Steilabfall ins Bisistal. Darin befindet sich auf einer Verwerfung eine 35 m tiefe Lücke (1865 müM). Südöstlich der Schwelle liegt eine zweite geschlossene Hohlform mit 0,23 km² Fläche, die Mütschenalp (M in Figur 2). Sie ist 30 m tief und wird nie überschwemmt. Sie liegt zu drei Vierteln auf einem nackten Schichttreppen- und Schichttrippenkarst, einem karstglazialen Formkomplex (BöGLI 1964). Ein Viertel erstreckt sich über einen sehr flachen Schwemmfächer mit unterirdischer Entwässerung, die teils diffus erfolgt, teils durch kleine Dolinen.

Die Hohlformen sind glaziale Wannen ohne eine abdichtende Moränenauskleidung. Die verursachenden Gletscher stammen aus der Südflanke des Hochtales, deren Kamm eine mittlere Höhe von 2500 m aufweist und nordexponiert ist. Heute liegen hier auf 2400 m Höhe einige permanente Schneefelder, ein Beweis für die aktuelle klimatische Schneegrenze auf dieser Höhe bei NW-Exposition. Im Pleistozän flossen Gletscher aus den Karen senkrecht zur Talachse über die teilweise vertikalen, 100 bis 250 m hohen Kalkwände hinunter. Im Talgrund bildeten sich am Fusse der Wände, begünstigt durch

die Tektonik glaziale Erosionswannen. Mit deren Entstehung setzte aber auch die Verkarstung ein unter Bildung von Karrenfeldern auf den reinen Kalken und von Dolinen in den Mergelkalkbändern. Die Verkarstung war schon vor der Würmeiszeit soweit fortgeschritten, dass die Hohlformen postglazial nicht mehr mit Wasser gefüllt wurden. Es gibt keine Anzeichen dafür, dass der Glattalpsee im Postglazial über sein heutiges Becken hinausreichte.



Sl. 2. Prostor Glattalpa i njegovih župljih formi

Fig. 2. Uebersicht über die Glattalp und deren geschlossene Hohlformen

Die Hohlform der Glattalp umfasst zwei Becken, jenes des Schafpferchbodens (S) im Westen mit 0,35 km² Fläche, das Glattalpseebecken (GS) von 0,65 km² im Osten und einem Zwischenstück (Z) von 0,1 km². Der Schafpferchboden ist poljenähnlich und liegt zum grössten Teil auf den Mergelschiefern der Zementsteinschichten, reicht jedoch im Westen in den Quintnerkalk hinein. Der ebene, stark humose und saure Alluvialboden weist zahlreiche randliche Schlucklöcher auf. Die mittlere Höhe beträgt 1852 müM, und der tiefste Punkt ist der grosse Ponor im Quintnerkalk mit 1846 müM.

Das Becken des Glattalpsees ist eine ebenfalls geschlossene Hohlform von 0,53 km² innerhalb der grösseren. Am Ende der Schneeschmelze (aufangs Juli) nimmt der See davon heute maximal 80% ein und bleibt damit 2 1/2 m unter dem Ueberlauf zum »Zwischenstück«. Nicht selten ist das Wasser Ende Februar ausgelaufen, und der See beginnt sich erst wieder mit beginnender Schneeschmelze zur füllen.

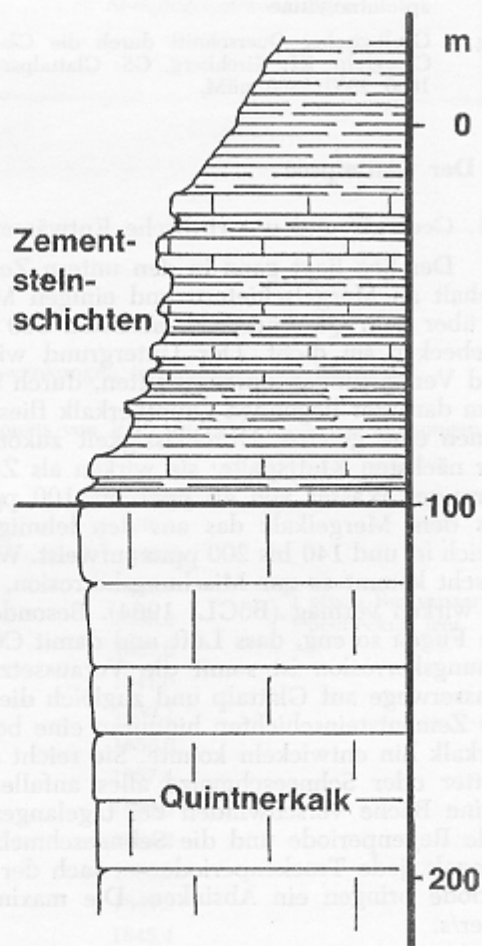
Die Nordseite der Glattalpedepression wird durch den Glattalpfirst mit einer mittleren Grathöhe von 2100 m eingenommen. Seine glazial überschlifften Flanken wurden nachträglich durch Denudation geformt: Kriechböden, Rutschungen, Sackungen, ein Bergsturz und viel Gehängeschutt mit hohem

Skelettanteil (Frostschutt). Zwei Terrassenfolgen, die eine auf 2000 müM, die andere auf 1900 m, sind Zeugen präglazialer Eintiefungsphasen.

Der Talschluss der Glattalp ist karartig rund mit seitlichen Kalkwänden oberhalb 2100 m und mit mächtigen Gehängeschutthalden darunter und im Talhintergrund.

1.2. Geologie

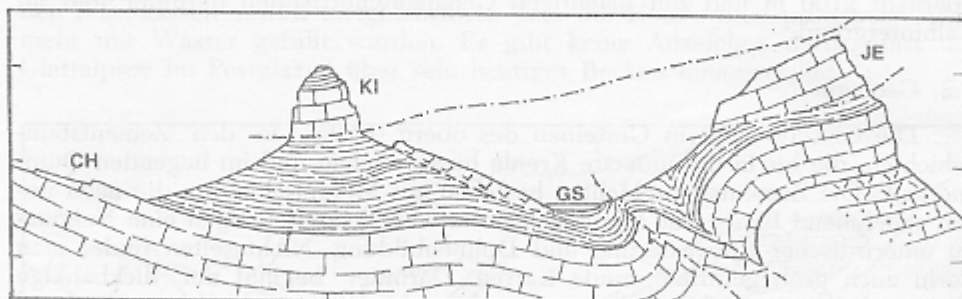
Die Glattalp liegt in Gesteinen des obern Malm, in den Zementsteinschichten, die bis in die unterste Kreide hinaufreichen und im liegenden Quintnerkalk. Die Zementsteinschichten bestehen aus Mergelschiefern, die nach unten zunehmend Bänke mit Mergelkalken aufweisen. Diese zeigen eine Neigung zu unterirdischer Entwässerung und Dolinenbildung. Nicht selten findet man darin auch grob geformte runde Karren. Darunter beginnt der dickbankige Quintnerkalk mit CaCO_3 -Gehalten von 95% bis 99% und mit entsprechend hoher Verkarstungsfähigkeit. Am Westende ist er an die 300 m mächtig. Darin schalten sich 35 m mergeliger Kalke ein.



Sl. 3. Generalizirani profil Glattalp-a

Fig. 3. Sammelprofil Glattalp

Die Tektonik ist kompliziert. Die Glattalp liegt ganz in der Axendecke s.s., doch verrät der Aufbau der Ortstock- Märenbergkette das Bestehen von Zweigdecken.



Sl. 4. Geološki presjek kroz Glattalp (djelomično prema Oberholzeru 1933) CH: Charetalp, KI: Kirchberg, GS: Glattalensee, JE: Jegerstöcke; oznake na 1600, 2000 i 2400 m apsolutne visine

Fig. 4. Geologischer Querschnitt durch die Glattalp (z. T. nach Oberholzer 1933). CH: Charetalp, KI: Kirchberg, GS: Glattalensee, JE: Jegerstöcke Seitliche Markierungen: 1600, 2000, 2400 mÜM.

2. Der Glattalensee

2.1. Geologie und unterirdische Entwässerung

Der See liegt ganz in den untern Zementsteinschichten mit einem hohen Gehalt an Mergelschiefern und einigen Mergelkalkbänken, im Westen ca. 50 m über dem Quintnerkalk, im Osten 100 m. Es wäre daher zu erwarten, das Seebecken sei dicht. Der Untergrund wird jedoch von zahlreichen Brüchen und Verwerfungen durchschnitten, durch die das Wasser auf kürzestem Wege zum darunter liegenden Quintnerkalk fließen kann. In den Mergelkalkbänken, denen eine gewisse Durchlässigkeit zukommt, fließt das Wasser seitlich weg zur nächsten Kluftspalte; sie wirken als Zubringer. Aus Bachbetten fließt kalkärmeres Wasser von 40 ppm bis 100 ppm Gehalt in die Spalten, während aus dem Mergelkalk das aus den lehmigen Böden einsickernde Wasser kalkreich ist und 140 bis 200 ppm aufweist. Wo sich dieses Wasser mit dem andern mischt kommt es zur Mischungskorrosion, die auch bei Abwesenheit von Luft zu wirken vermag (BöGLI 1964). Besonders zu Anfang der Verkarstung sind die Fugen so eng, dass Luft und damit CO₂ für die Kalklösung fehlt. Die Mischungskorrosion ist somit die Voraussetzung für die Bildung der heutigen Wasserwege auf Glattalp und zugleich die Erklärung dafür, warum sich durch die Zementsteinschichten hindurch eine bedeutende Entwässerung zum Quintnerkalk hin entwickeln konnte. Sie reicht aber trotzdem nicht aus, bei Regenwetter oder Schneeschmelze alles anfallende Wasser abzuleiten. Nur einige kleine Bäche verschwinden bei tagelanger Trockenheit ganz im Untergrund. Jede Regenperiode und die Schneeschmelze bewirken ein Ansteigen des Seespiegels, jede Trockenperiode — nach der Schneeschmelze — und jede Kälteperiode bringen ein Absinken. Die maximalen Verluste erreichen gegen 750 Liter/s.

Das Glattalpseebecken ist eine langgezogene Wanne von 2 km Länge. Seine Achse verläuft in der Achse der Glattalpsynklinale. Im Ostteil ist der tiefste Bereich durch Seebodenlehm, vermischt mit zahlreichen Steinen und vereinzelt Blöcken, bedeckt. Hier befinden sich drei grössere Schluckstellen. Die Hänge des Seebeckens sind durch die Gletscher blank geschliffen und nackt oder von Steinen und Blockwerk bedeckt.

2.2. Der Glattalpsee

Tabelle 1: Seestand, Fläche und Volumina des Glattalpsees

Seestand müM	Fläche ha	Volumen m ³	
1860,5	54,1	6,585,000	Inhalt des natürlichen Beckens
1858	46,8	5,306,000	
1856	42,1	4,417,000	normaler Hochwasserstand.
1854	36,0	3,636,000	bis zum Pegel 1845 m Bereich der
1852	29,5	2,981,000	häufigen sommerlichen
1850	24,7	2,438,000	Seespiegelschwankungen
1845	18,0	1,371,000	
1840	12,2	616,000	
1838	9,7	397,000	
1835	7,7	136,500	
1833	4,3	60'000	
1832	3,0	23,250	
1831	1,1	2,750	
1830,5	0	0	tiefster Punkt

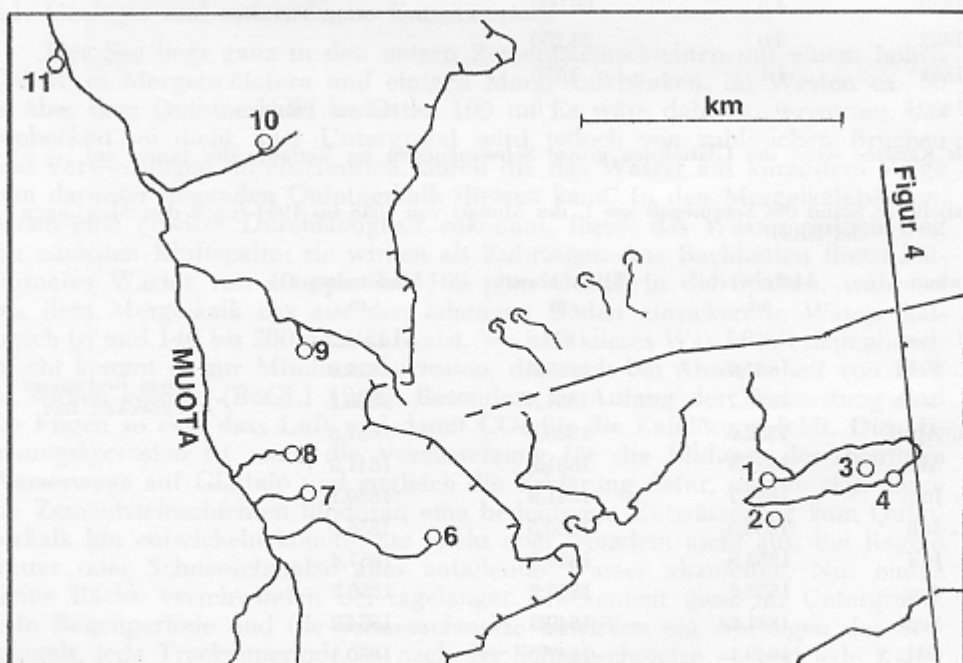
Als Karstsee weist der Glattalpsee grosse Schwankungen im Verlaufe des Jahres auf .

Tabelle 2: Stand des Seespiegels am 1. des Monats von 1948 bis 1954 (nach den Messungen des EBS)

Datum	Mittelwert m	Minimalwert m	Maximalwert m	
1. Jan.	1839,7	1838,4	1841,5	
1. Febr.	1837,0	1835,6	1838,8	
1. März	1833,7	1831,5*	1836,2	°) etwas Restwasser
1. April	1832,6	1830,5*	1837,6	°) Seebecken leer
1. Mai	1837,5	1831,9	1841,0	
1. Juni	1846,7	1841,9	1850,1	
1. Juli	1853,3	1850,5	1856,0	
15. Juli	1853,8	1849,6	1857,4	
1. Aug.	1853,6	1849,2	1856,2	
1. Sept.	1851,6	1849,3	1854,2	
1. Okt.	1849,1	1847,0	1850,1	
1. Nov.	1845,9	1842,8	1849,2	
1. Dez.	1843,1	1840,7	1845,4	



Sl. 5. Dijagram srednjeg i ekstremnog kolebanja razine Glattalpsee-a od 1948. do 1954.
Fig. 5. Diagramm der mittleren und Extremwasserstände des Glattalpsees 1948 bis 1954



Sl. 6. Položaj mjesta bojanja vode i krška vrela u dolini Bisis (vidi Tab. 3)
Fig. 6. Lage der Färbestellen und Resurgenzen (Karstquellen) im Bisistal (s. Tab. 3)

Die Schneeschmelze beginnt im Verlaufe des April an den südexponierten Hängen und greift allmählich auch auf die nordexponierten über. Dieses Wasser fließt zusammen mit den Niederschlägen dem Seebecken zu und bewirkt einen schnellen Anstieg des Seespiegels um ca. 25 m. Im Verlaufe von 3 Monaten füllt der Niederschlag von 9 Monaten den See mit 5 Mio m³, zu welchem Volumen noch die Verluste hinzugezählt werden müssen, die bei Seeständen über 1852 müM 40,00 bis 70,000 m³/d ausmachen. Die mittleren Jahresniederschläge betragen um 250 cm.

2.3. Die ununterirdische Entwässerung des Glattalpsees

Ueber die hydrographischen Beziehungen von Glattalpsee und Karstquellen im hintern Muotatal (Bisistal) wurde vom Verfasser schon 1960 berichtet. Daraus sei hier das Wichtigste zusammengefasst, auf den neuesten Stand gebracht und ergänzt.

Die Färbungen mit Fluorescein fanden in den Jahren 1946 und 1947 durch R. U. WINTERHALTER und 1954 und 1958 durch den Verfasser statt (unveröffentlichte Berichte an das EBS).

Tabelle 3: Liste der Färbestellen und Resurgenzen (nach BÖGLI 1960) Färbestellen

Nr.	Ort	Höhe	Geologie
1	Glattalpsee NW	1850 m	Zementsteinschichten
2	Glattalpsee SW	1852 m	idem
3	Glattalpsee S	1892 m	idem
4	Glattalpsee SE	1854 m	idem
Resurgenzen			
6	Taschibach	1400 m	Schuttquelle (verdeckte Karstquelle) Doggerbasis
7	Eigeli	1350 m	Doggerbasis, Nähe Verwerfung
8	Feldmoos	1360 m	Doggerbasis, Sackungsrand
9	Hochweidquellen	1330 m	Doggerbasis, Nähe Verwerfung
10	Richliswaldbach	1200 m	Schuttquelle, verdeckte Karstquelle
11	Brünnen, Hinter-Seeberg	780 m	Abtauchen des Quintnerkalkes unter den Talboden; Grenze zu den Zementstein- schichten

Von allen Quellen reagierten jene am Richliswaldbach am schwächsten.

Tabelle 4: Horizontale Abstände (Ah), Höhendifferenzen (H) und Gefäl 12 (‰) zwischen Färbeort und Resurgenz (nach BÖGLI 1960)

Nr.		1	2	3	4
6	Ah	2700 m	2480 m	3360 m	3580 m
	H	450 m	452 m	492 m	445 m
	‰	17 ‰	18 ‰	13 ‰	12 ‰
7	Ah	3560 m	3410 m	4230 m	4440 m
	H	500 m	502 m	482 m	495 m
	‰	14 ‰	15 ‰	11 ‰	11 ‰

Nr.		1	2	3	4
8	Ah	3700 m	3570 m	4370 m	4580 m
	H	490 m	492 m	472 m	485 m
	%	13 %	14 %	11 %	11 %
9	Ah	3750 m	3700 m	4400 m	4600 m
	H	520 m	522 m	502 m	515 m
	%	14 %	14 %	11 %	11 %
10	Al	4860 m	4700 m	5230 m	5420 m
	H	650 m	652 m	632 m	645 m
	%	14 %	14 %	12 %	12 %
11	Ah	6540 m	6640 m	7060 m	7200 m
	H	1070 m	1072 m	1052 m	1065 m
	%	16 %	16 %	15 %	15 %

Tabelle 5: Abstand (A), Laufzeit in h (t), relative Fließgeschwindigkeit in m/h (v) zwischen Färbeort und Resurgenz

Nr.	1	2	3	4
	A(t)v	A(t)v	A(t)v	A(t)v
6	2737(18)152	2520(29) 87	3388(70)48	3608(32)113
7	3595(16)225	3447(23)150	4257(70)61	4468(24)186
8	3732(16)233	3604(23)157	4395(70)63	4606(24)192
9	3785(15)252	3736(25)149	4428(70)63	4629(23)201
10	4705(—) —	4745(—) —	5268(135)39	5458(42)130
11	6627(18)368	6726(30)224	7138(75)95	7278(22)331
Datum	15./17. 7. 1947	23./28. 9. 1946	6. 2. ff 1958	27./31. 8. 1947
	Winterhalter	Winterhalter	Bögli	Winterhalter

Die Fließgeschwindigkeiten wurden mit Hilfe des Abstandes

$$A = \sqrt{Ah^2 + H^2}$$

bestimmt, was einen gegenüber BÖGLI (1960) etwas höheren Wert ergibt. A ist die gedachte kürzeste Strecke zwischen Schluckstelle und Resurgenz. A ist immer kleiner als die wahre Länge, die kaum jemals bekannt ist. Nur da, wo einzelne Strecken erfassbar sind, lässt sich der Faktor f za A bestimmen.

$$\text{Wahre Länge} = f \cdot A$$

Im Hölloch konnte der Wert mit ca. 1,25 gefunden werden. Das ist ein sehr niedriger Wert, der im allgemeinen weit überschritten wird. Um das gleiche Ausmass ist auch die mittlere Fließgeschwindigkeit grösser.

Der Vergleich der Tabellen 3 und 4 zeigt, dass eine direkte Beziehung zwischen Gefälle und Fließgeschwindigkeit nicht besteht, dass somit andere Faktoren ausschlaggebend sind. Je grösser das Wasserangebot, um so grösser auch die Fließgeschwindigkeit, doch besteht nur in reinem gravitativem Fliesen im vadosen Raum (freie Wasseroberfläche) eine gewisse Proportionalität, wo mit steigendem Angebot auch eine grössere Querschnittsfläche zur Verfügung steht. Beim Uebergang ins Druckfliessen ist der ganze Querschnitt

ausgenützt, und die Geschwindigkeit selbst muss erhöht werden. Das ist aber nur möglich, wenn der Druck im Wasser entsprechend ansteigt.

$$v = \sqrt{2gh} \quad h \text{ ist die Höhe der Wassersäule, welche die } v \text{ bestimmt.}$$

Anders ausgedrückt: Der Wasserspiegel im unterirdischen Röhrensystem steigt an. Wegen der Druckverluste durch Reibung bei höherem v , kann die Fliessgeschwindigkeit in Düsen kaum 10 m/m überschreiten, besonders, wenn natürliche, raue Oberflächen auftreten. Dadurch steigt aber der Hochwasserspiegel im unterirdischen Bereich immer höher an, und es treten neue Gerinne in Aktion, bis ein Gleichgewicht zwischen Wasseraugebot und Abfluss gefunden ist. Unter Umständen kommt es zum Wasseraustritt an die Erdoberfläche, was allerdings im Glattalgebiet nicht der Fall ist.

Die Schluckstellen 3 und 4 liegen nahe beisammen. 3 wurde im Februar bei minimalen Wasserangebot untersucht, 4 bei grossem im August. Das Geschwindigkeitsverhältnis $v_3 : v_4$ zu den Resurgenzen 7 bis 11 beträgt $1:3,25 \pm 0,2$. Anders jedoch die Verbindung zu Resurgenz 6. Das Wasser folgt hier einer einzigen Verwerfung über eine grössere Distanz und vermutlich teilweise in gravitativem Fliessen. Dem entspricht das kleinere Geschwindigkeitsverhältnis $1 : 2,33$.

Die Tatsache, dass von jeder Schluckstelle der Farbstoff zu jeder Karstquelle gelangt, verrät eine ausgeprägte Vernetzung der Gerinne in Untergrund. Es gilt freilich auch hier das »karsthydrographische Paradoxon« nach LEHMANN (1932), denn es gibt ausser den Färbeorten noch zahllose andere Schluckstellen. Die Vernetzung ist in diesem Falle ein Zeichen für die noch nicht erreichte Reife der unterirdischen Verkarstung. Die Bedingungen im Glattal-Charetalgebiet müssten in der Reife die Bevorzugung eines Hauptstranges ergeben, da ein einseitiges Gefälle vorherrscht. Das sind wesentlich andere Verhältnisse als im reifen Karst des Dachsteins oder des Toten Gebirges. Dort haben ZÖTL (1957), bzw. MAURIN und ZÖTL (1964) nach der Beschickung einzelner Schlucklöcher mit gefärbten Lycopodiumsporen nicht etwa die Existenz eines Hauptgerinnes feststellen können, sondern das Bestehen eines Karstwasserkörpers, auf dessen Oberfläche die Sporen mit dem Wasser dem Gefälle folgend zu verschiedenen Karstquellen driften.

Im Gebiete von Glattal und Charetal sind Schächte nicht häufig und Höhlen fehlen ganz, bzw. sind nur wenige Meter lang. Nur die Oberflächenverkarstung ist ausgezeichnet entwickelt, Karrenfelder vor allem, dazu kleinere Dolinen. Hierzu sind verhältnismässig kleine Zeiträume erforderlich — das Postglazial genügt — im Gegensatz zur unterirdischen Verkarstung. Das Ganze weist auf die Jugendlichkeit des Karstes in diesen Gebieten hin. Damit steht das Glattal-Charetal-Gebiet in einem starken Gegensatz zur benachbarten Karstlandschaft Silber-Twärenen-Bödmeren, in welchem nicht nur das Hölloch, sondern zahlreiche weitere Höhlen und tiefe Schächte (bis -210 m) auftreten. Die 22 km² Oberfläche werden zu einer einzigen Karstquelle hin, zum »Schleichenden Brunnen«, entwässert. Das ist der Ausdruck einer weit entwickelten, reifen Verkarstung, in welcher das Wasser in einem Hauptstrang zusammengefasst wird. Diese Verkarstung ist schon präglazial gut entwickelt gewesen, gehören doch die höheren Gänge im Hochsystem der vorpleistozänen Zeit an.

2. 4. Die Verteilung der Schluckstellen

Die Schluckstellen sind im Glattalpseebecken in kennzeichnender Weise verteilt. Vorerst wurde eine Karte der vorhandenen Schluckstellen aufgenommen. Bei ruhigem Wetter lassen sie sich im See direkt mit Fluorescein-Wolken nachweisen, die vom wegfließenden Wasser zwischen die Steine gesogen werden. Ausserhalb sind sie überwiegend morphologisch erfasst worden, z. B. als Kleindolinen (\varnothing kleiner als 1 m), als Normaldolinen und Kluftspalten, vor allem auch da, wo Bäche Wasser in den Untergrund verlieren. Während der Schneeschmelze und bei Starkregen wurden die Formen auf ihre Schluckfähigkeit überprüft.

Zur Analyse wurde das Beckengelände in Streifen, zwei Meter Höhendifferenz umfassend, aufgeteilt. Die Anzahl Schluckstellen wurden nach der Karte ausgezählt und daraus die Schluckstellendichte S/ha berechnet. Das Steinibachdelta im Osten des Sees wurde nicht in die Untersuchung mit einbezogen.

Tabelle 6: Schluckstellendichte im Glattalpseebecken unter Ausschluss des Steinibachdeltas; Höhengürtel 2 m

Höhengürtel müM	Fläche ha	Schluck- stellen	S. — Dichte S/ha	
1830,5 — 1832	2,68	3	1,12	tiefste Stelle; in Febr. und März häufig leer
— 1834*	2,60	1	0,38	* überwiegend flacher Seegrund
— 1836*	2,33	1	0,43	von hier an Hanganteil schnell zunehmend
— 1838	1,88	1	0,53	
— 1840	1,42	1	0,70	
— 1842	1,06	0	0	
— 1844	1,98	1	0,51	Hanganteil nahezu 90%
— 1846	2,87	8	2,79	See gefriert im Herbst häufig bei diesem Seestand \pm 2 m
— 1848	1,81	8	4,42	
— 1850	2,10	22	10,48	
— 1852	3,78	32	8,47	Seespiegel nach topogr. Karte
— 1854	5,29	58	10,96	
— 1856	4,36	30	6,88	häufiger Höchstwasserstand im Jahresablauf
— 1858	3,94	41	10,40	seltener Höchstwasserstand
— 1860	4,39	36	8,20	Beckenrand
— 1862	4,99	70	14,03	
— 1864	2,86	52	18,18	
— 1866	3,25	28	8,62	
— 1868	2,31	28	12,12	
— 1870	2,54	22	8,80	
1830,5 — 1870	58,44	443	7,58	

(Die Differenz zu den Flächen in Tab. 1 ist gegeben durch das Fehlen des Steinibachdeltas in Tab. 6)

Die Tabelle zeigt das Auftreten zweier Gruppen im Glattalpseebecken. Die Fläche von 1830,5 bis 1844 müM umfasst 14 ha mit einer Schluckstellendichte von 0,6 S/ha. Zwischen 1848 bis 1860 müM, 24 ha, ist das Mittel 9,1 S/ha. Dazwischen schiebt sich eine schmale, 4 m hohe Uebergangszone mit einer Dichte von 3,4 S/ha. Die über den maximal möglichen Seestand hinausragenden Teile zeigen auf 16 ha eine Dichte von 12,5 S/ha, die oberhalb 1870 müM aber stark zurückgeht.

2.5. Diskussion der Schluckstellendichte

Das anstehende Gestein ist für das ganze Glattalpseebecken hydrographisch gleichwertig. Die Zahl der Verwerfungen variiert kaum von West nach Ost. Die Tiefe des unterliegenden Quintnerkalkes nimmt von West nach Osten von 50 m auf nahezu das Doppelte zu. Der Seegrund im Osten ist von einem wenig durchlässigen, steinigen Seebodenlehm bedeckt, der örtlich einige Meter mächtig werden kann. Trotzdem sind im Bereiche grösster Mächtigkeit drei grössere Schluckstellen gefunden worden (1830,5—1832). In den anschliessenden 6 Höhenstreifen mit geringerer Ueberdeckung sind es nur je 1, in einem Falle sogar 0 Schluckstellen. Von 1846 müM aufwärts nimmt die Schluckstellendichte schnell zu, im Mittel auf das 16-fache. Diese Zone ist der Bereich der sommerlichen Wasserspiegelschwankungen, der Regen mit ihrer Lösungskraft, der Temperaturwechsel, wo in der nächtlichen Abkühlung vorher im Gleichgewicht befindliches Wasser unvermittelt aggressiv wird. Da das Seewasser meist Temperaturen um 4°C und weniger aufweist — abgesehen von den obersten 2 dm — bleiben die Niederschläge in den obersten Wasserschichten stecken, vor allem auch bei Schneefall. So bildet sich eine oberflächennahe, schwach aggressive Wasserschicht von einigen Dezimetern Mächtigkeit, welche beim Einfließen in die Schlucklöcher zu korrodieren vermag und dadurch die Abläufe erweitert. Die Zone oberhalb 1848 müM erweist sich somit als der Bereich der stärksten Korrosion. Das allein würde schon genügen, die grössere Häufigkeit der Schluckstellen zu erklären. Hinzu kommt nun aber, dass in den tieferen Lagen des Glattalpsees normalerweise kein aggressives Wasser auftritt, auch kein CO₂ anderer Art für die Kalklösung zur Verfügung steht. Die Zersetzung organischer Substanz verläuft im Wasser von 4°C und weniger so langsam, dass dieses biogene CO₂ vernachlässigt werden kann. Infolgedessen werden sich diese Schluckstellen nur äusserst langsam oder überhaupt nicht erweitern. Deshalb blieben auch die potentiellen Wasserwege auf Kluffugen unverändert, und einzig die schon vorhandenen Spalten (offene Klüfte) wurden vom Wasser benutzt. Das erklärt die geringe Schluckstellenzahl unterhalb 1845 müM.

Das Seewasser hat einen geringen Kalkgehalt. Trifft es nun auf seinem Weg durch das Gestein auf eine wasserführende Kluft, die ihr Wasser von der Oberfläche erhält, dann ist dieses im allgemeinen von höherem Kalkgehalt. Dadurch kommt es zur Mischungskorrosion, und die unterirdischen Wasserwege werden erweitert.

VERWENDETE LITERATUR

- Annaheim H. (1946): Studien zur Geomorphogenese der Südalpen zwischen St. Gotthard und Alpenrand. Geogr. Helv. 1/2, pp. 65—149.
- Bögli A. (1960): Karsthydrographische Untersuchungen im Muotatal. Regio Basiliensis, Basel.
- (1964): Le Schichttreppenkarst. Revue belge de Géographie, Fasc. 1/2, Bruxelles.
- (1968a): Präglazial und präglaziale Verkarstung im hinteren Muotatal. Regio Basiliensis, Basel.
- (1968b): Höhlenniveaus und Hölloch-niveaus. IVe Congrès de Spéléologie, Ljubljana.
- (1970): Le Hölloch et son Karst. Edition de la Baconnière, Neuchâtel (Suisse).
- (1973): Karrenalp und Glattalp im Muotatal. Atlas der Schweiz, Geomorphologie II, Geomorph. Karte.
- E B S (Elektrizitätswerke des Bezirkes Schwyz). Unveröffentlichte Gutachten aus den Jahren 1947 bis 1964.
- Eidgenössisches Oberbauinspektorat (1903): Wasserverhältnisse der Schweiz, Reussgebiet, 1. Teil: Flächeninhalte.
- Lehmann O. (1932): Die Hydrographie des Karstes. In Enzyklopaedie der Erdkunde, Franz Deuticke, Leipzig und Wien.
- Maurin V., Zöl J. (1964): Karsthydrologische Untersuchungen im Toten Gebirge. Oesterr. Wasserwirtschaft, 16, pp. 112—123.
- Oberholzer J. (1933). Geologie der Glarner Alpen, I. Textband, II. Atlas. Beitr. Geolog. Karte der Schweiz, NF 28., Bern.
- Zöl J. (1957). Neue Erkenntnisse der Karsthydrologie. Erdkunde, 11/2, pp. 107—117, Bonn.

STUDIJE KRŠKE HIDROGRAFIJE U PODRUČJU MOUTA-e

Alfred Bögli

U slivnom području Muok pritoke Vierwaldstättersee-a u Centralnošvicarskim vapnenačkim Alpama, nalazi se na 1850 m ap. visine jedan značajan glacijalni valov s Glattalpsee-om. Glacijalni valov nastao erozijom ledenjaka, bio je nakon njegovog povlačenja karstiliciran. Oticanje iz prostora glacijalnog valova vrši se samo podzemnim kanalima. Gustoća ponora raste od nižeg prema višim nivoima. Razlike gustoće ne mogu se objasniti petrografski. Razlike korozivnih uvjeta mogu se objasniti različitim dubinama jezerskog bazena, kao i zonom ljetnih kolebanja jezerskog nivoa.

Preveo V Rogić