

Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck

Band 57
Festschr. Scheminzky

S. 19-38

Innsbruck, Dez. 1969

Hydrochemische Untersuchungen im Wettersteinkalk und im Hauptdolomit des Karwendelgebirges

von

Carl JOB und Georg MUTSCHLECHNER

(Aus dem Forschungsinstitut Gastein der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (Mitteilung Nr. 346) und dem Institut für Physiologie und Balneologie der Universität Innsbruck; Vorstand beider Institute: Univ.-Prof. Dr. F. SCHEMINZKY)

Hydrochemical investigations in limestone mountains

Synopsis: The chemical composition of surface-waters and mine-waters in the Wetterstein limestone and in the dolomite of the Karwendel-mountains was investigated in the area of the saltmine near Hall and compared with the geological situation.

Two groups of springs can be distinguished with respect to the altitude of emergence, which are separated by an almost springless zone lying between 950 and 1200 m above sea level. At these altitudes two water stemming strata run through the area of investigation.

The surface waters contain mainly earth-alkali carbonates with different Ca/Mg-relations. Ca/Mg-relations around 1 characterize waters in the area of the dolomite. Ca/Mg-relations between 2 and 4 are found in waters emerging from the Wetterstein-limestone and from the gravels of the Inn-valley. The waters emerging from the non-uniform limestone strata between the Wetterstein- and Hauptdolomit-area show Ca/Mg-relations between 4 and 12. The Mg-content probably comes from strewn-in dolomite. The carbonate content of the higher situated springs is generally lower than that of the lower group of springs. Exceptions can be explained by the lusher vegetation in the emergence area. Springs emerging from dolomite tend to higher carbonate contents on account of the lusher vegetation in this rock. Sulfates were found in all springs of the Halltal as well as in some springs west of Thaur and in one spring in the eastern part of the investigated area emerging from saliferous clay. The chemical compositions of the waters of the Solbad Hall saltmine correspond to the penetrated rock material: while the highest inflow carries only limestone, the waters of the lower roadways contain gypsum and sodiumchloride.

Chemische Analysen einfacher kalter Quellen werden häufig zur Prüfung ihrer Brauchbarkeit als Trink- und Brauchwasser ausgeführt. Für diese Verwendungszwecke interessieren im allgemeinen nur relativ ergiebige, einigermaßen konstante

und für den Verbraucher günstig gelegene Wasseraustritte. Zur Klärung der Beziehungen zwischen dem Grundwasser und seinem geochemischen Umraum sind solche Nutzungsanalysen, die meist nur über die Wasserhärte und die Verschmutzungsindikatoren Aufschluß geben, nicht ausreichend. Deshalb schien uns die Durchführung einer regional dichteren und analytisch vollständigeren Quellenuntersuchung in einem geologisch gut definierten Gebiet wünschenswert.

Geologische Situation des Quellgebietes:

Das untersuchte Quellgebiet erstreckt sich zwischen $11^{\circ}26'$ und $11^{\circ}34'$ östlicher Länge und zwischen $47^{\circ}18'$ und $47^{\circ}20'$ nördlicher Breite. Die Grundlage für die Auffindung der Quellen im Gelände bildete die Umgebungskarte von Innsbruck (Maßstab 1:25.000) des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen. Die Karte wurde 1962 aufgenommen und 1964 durch einzelne Nachträge ergänzt.

Das Untersuchungsgebiet liegt am Südrand des zu den Nordtiroler Kalkalpen zählenden Karwendelgebirges (Abb. 1). Dieses ist ein Faltengebirge aus W-O-verlaufenden Faltenzügen. Die Hauptketten des Gebirges entsprechen mächtigen Schichtaufwölbungen (Faltensätteln), die dazwischen liegenden Täler den Einbiegungen (Faltenmulden). Diese Faltenzüge werden im Süden vom Inntal schräg angeschnitten. Am Halltal läuft mit dem Hohen Zunterkopf die südlichste Karwendelkette, die Innsbrucker Nordkette, spitz aus. Östlich dieses tiefen Taleinschnittes reicht der nächste Gebirgszug, die Halltal- oder Bettelwurfkette, an das Inntal heran. Diese orographische Gliederung entspricht jedoch nicht den geologischen Verhältnissen.

Im Fernblick von Süden gegen das Bettelwurfmassiv kann man dank der Verschiedenheiten der Geländeformung, der Gesteinsfarben und des Bewuchses zunächst zweierlei Gesteinsbereiche unterscheiden. Der Felssockel des Gebirges aus meist leicht bituminösem Hauptdolomit erscheint vergleichsweise weniger steil, fast überall gangbar, verhältnismäßig dunkel, mit Mischwald und Legföhren bestanden. Die darüber aufragende Gesteinsmasse aus Wettersteinkalk bildet steile, bleiche und kahle Felsformen, in denen nur örtlich einzelne kleine Legföhrenbestände noch ein Stück emporreichen. Zwischen diesen beiden so grundverschiedenen Gesteinsarten erstreckt sich eine schmale Zone, die etwas flacheres Gelände liefert und besser begrünt ist. Hier entspringen Quellen, die sich zu Bächen vereinigen. Hier führt auch ein vielbegangener Höhenweg, der die Verbindung zwischen den an die Wasseraustritte gebundenen Almen und Berghütten herstellt. Diese relativ schmale Zone ist sehr wechselnd und kompliziert zusammengesetzt. Über dem Hauptdolomit folgen stellenweise Lagen, Linsen und Späne von Plattenkalk, Kössener Schichten, Liaskalk, Radiolarit des Malm und Tithonkalk. Darüber erscheinen, ebenso ungleich umgrenzt, die viel älteren Reichenhaller Schichten (Rauhwacken, Dolomite, Kalke), Muschelkalk, Wettersteinkalk und Hauptdolomit. Erst dann kommt die Hauptmasse des Wettersteinkalks.

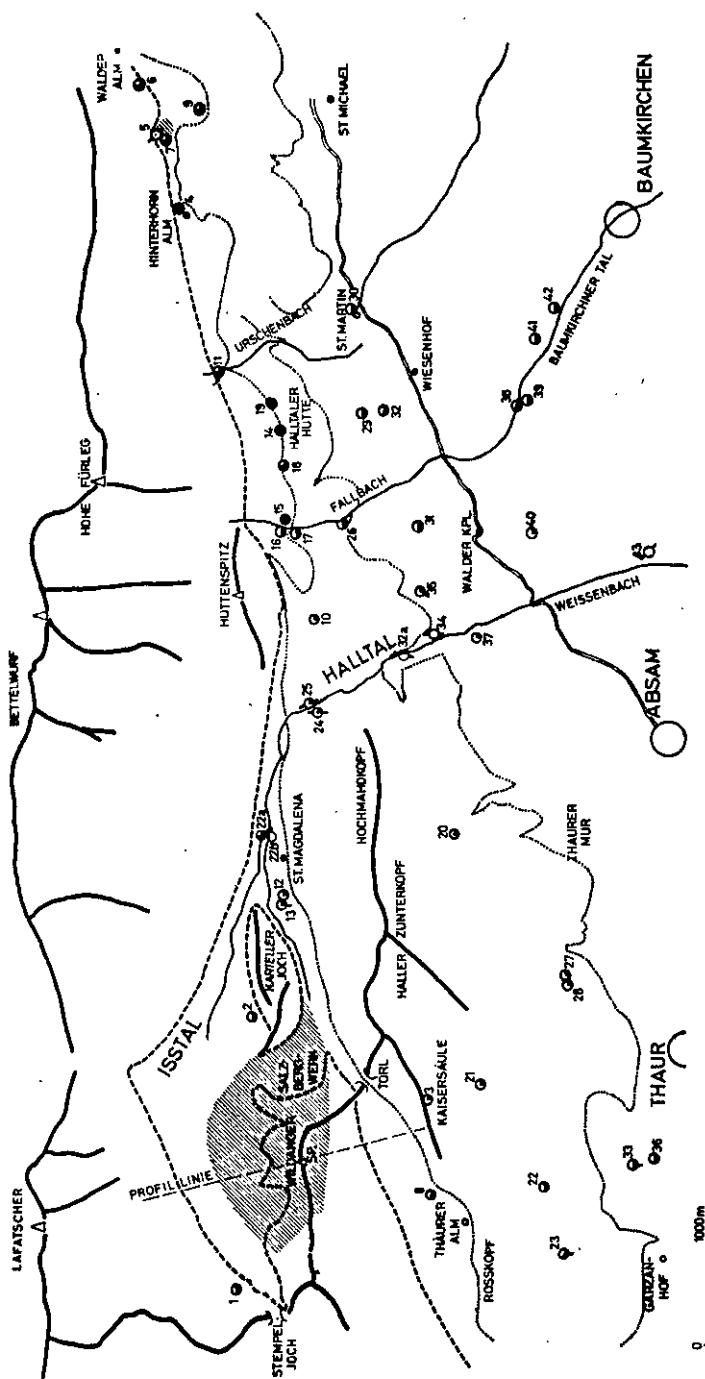


Abb. 1: Skizze des untersuchten Quellgebietes mit den wichtigsten Gebirgszügen (stark ausgezogene Linien), der Salz Lagerstätte bzw. der Salztonfundstelle bei Quelle 5 (schraffierte Felder), der Südgrenze des Wettersteinkalkes (gestrichelte Linie) sowie der Nord- bzw. Südgrenze des Hauptdolomits (punktiierte Linie). Zwischen der Südgrenze des Wettersteinkalks und den Nordgrenze des Hauptdolomits ist eine Zone von Trias- und Jura-Kalken eingeschoben. Die Quellen und Entnahmestellen sind durch Kreise markiert. Striche am Kreisrand kennzeichnen den Sulfat-Gehalt über 5 val% (1 Strich) bzw. über 20 val% (2 Striche). Die Ca/Mg-Quotienten sind durch unterschiedliche Kreisfüllung dargestellt und zwar als vierfach gefüllte Kreise bei Ca/Mg-Quotienten von 1 bis 2, als halb gefüllte Kreise von 2 bis 4, als dreiviertel gefüllte Kreise von 4 bis 8 und als ganz gefüllte Kreise von 8 bis 16.

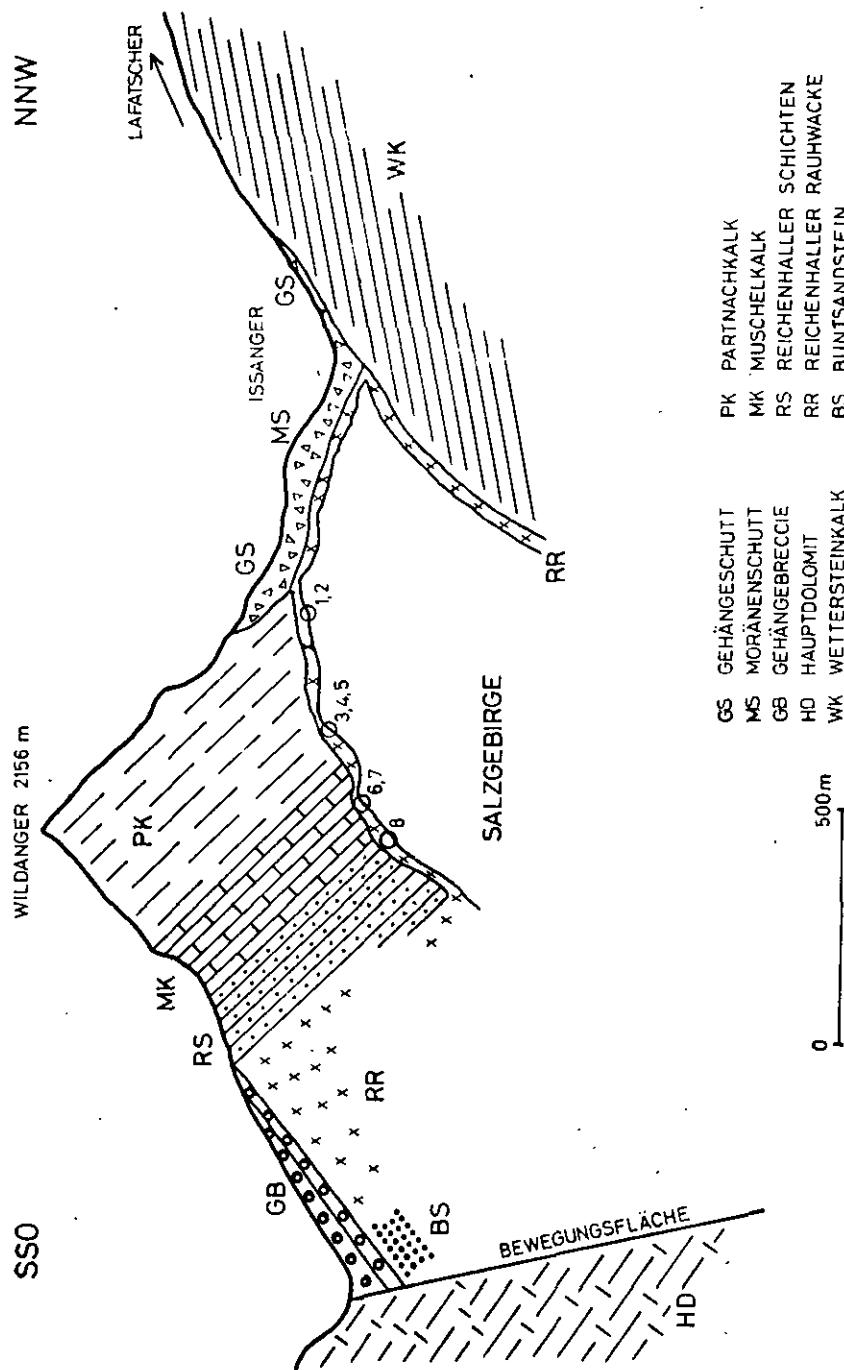


Abb. 2: Profil durch den Haller Salzberg. Das Salzgebirge liegt von einer Schicht Reichenhaller Rauhwacke umgeben unter Kalken. Die bezeichneten Kreise 1 bis 8 entsprechen den ungefähren Austrittsstellen der untersuchten Grubenwässer.

Die geologische Situation beiderseits des Halltals ist durch einen Deckenbau gekennzeichnet. Der Südrand des Karwendelgebirges und damit die tieferen Gebirgsteile westlich und östlich des Halltales wurden von O. AMPFERER zur Lechtaldecke gerechnet, das nördlich angrenzende Hochgebirge zur Inntaldecke. Die Grenze dieser beiden großtektonischen Einheiten ist eine steile Bewegungsfläche (Abb. 2). Der Ausstrich dieser in mehrfacher Hinsicht wichtigen Grenzfläche läßt sich durch die Hänge der Nordkette oberhalb Innsbruck von Westen nach Osten allmählich ansteigend — durch Wasseraustritte und kleine Almen markiert — zum Törl, dem Übergang in das Halltal verfolgen, wobei man in vielen Aufschlüssen immer wieder einen auffallend roten Sandstein (Buntsandstein) über dem grauen Dolomit sehen kann. Zwischen dem Törl und dem Haller Zunterkopf liegt südlich der Hauptstörungsfläche noch ein kleiner Deckenrest von Buntsandstein und Reichenhaller Schichten (Rauhwacke, Dolomit, Kalk) auf Hauptdolomit und Plattenkalk. Vom Törl in das tief eingeschnittene Halltal hinunter ist die unmittelbare Einsicht in die Grenzfläche weithin durch Schutt verhüllt. Doch stößt westlich von St. Magdalena Reichenhaller Rauhwacke an den Hauptdolomit. Die geologische Gesamtsituation läßt in diesem Bereich erkennen, daß der nördliche Gebirgsteil abgesunken ist. Oberhalb des Bettelwurfbrunnls (Abb. 1; Quelle 24) verläßt die Bewegungsfläche das Halltal. Die Grenze zwischen den beiden großen tektonischen Einheiten kann man unter den Steilabbrüchen des Wettersteinkalks entlang weithin nach Osten verfolgen: zunächst durch eine markante Geländefurche zum Vogelboden oberhalb der Alpensöhne-Hütte südlich vom Hüttenspitz. Die Fortsetzung zieht stets am Fuß der Kalkfelsen mehr oder weniger hoch über dem Höhenweg entlang. Sie schneidet den Fallbach bei 1400 m und weiter östlich den Urschenbach in gleicher Höhe. Dann verläuft sie unter Schuttbedeckung durch die Zunterseite. Nördlich der Hinterhornalm setzt die Bewegungsfläche wieder sichtbar ein und läßt sich über die Walder Alm hinaus feststellen. Besonders interessant ist eine Stelle östlich der Hinterhornalm am Ursprung des Hasenbaches, wo grüner Sandstein mit Gips zum Vorschein kommt.

Das tiefeingreifende Halltal entspricht in seinem inneren, West-Ost orientierten Verlauf der Fortsetzung einer im Westen breiten, am Ostende jedoch stark zusammengepreßten Schichtenmulde. Diese wird von der großen, dem inneren Halltal folgenden, dann an der Verengungsstelle oberhalb des Bettelwurfbrunnls querenden Bewegungsfläche schräg angeschnitten. Der äußere, fast nord-südlich verlaufende Abschnitt des Tales durchbricht den gegen das Inntal vorgelagerten Riegel aus Hauptdolomit der Lechtaldecke und ist vermutlich durch einen Sprung oder Bruch der spröden Gesteinsmasse vorgezeichnet.

Das Halltal birgt als geologische Besonderheit das westlichste bekanntgewordene Steinsalzvorkommen der Ostalpen: den Haller Salzberg. Die Inntaldecke ist hier durch jüngere Brüche in mehrere große Schollen zerlegt, deren Begrenzungen in der Morphologie als tiefe Kerben in Erscheinung treten. Die Scholle der stark zerklüfteten Wildangerspitzen und die Scholle des Karteller Jöchl, zwischen dem

eigentlichen Halltal und dem Isstal, ruhen auf der Salzlagerstätte, die sich im innersten Teil beider Täler befindet.

Die durch den Bergbau teilweise aufgeschlossene Lagerstätte besteht hauptsächlich aus Haselgebirge, Salzton, Grausalz, Blättersalz, Fasersalz, aber auch mächtigen Zügen und Schollen von Anhydrit, ferner etwas Dolomit und Breunerit. Das Salz kommt überwiegend im Haselgebirge und nur seltener als größere Einlagerungen vor. Meist sind es nur sog. Salzstriche. Über Tag ist davon nur wenig zu sehen. Hier findet man nicht mehr das leicht lösliche Steinsalz, sondern nur mehr ausgelaugtes Haselgebirge, grünlichen Sandstein und Salzton sowie Gips. Die ganze Lagerstätte ist von einem verhältnismäßig dünnen Mantel aus Rauhwacken der Reichenhaller Schichten überzogen. Die mindestens bis auf das Jahr 1232 zurückreichende, vielleicht schon in urgeschichtlicher Zeit betriebene Salzgewinnung wurde im Sommer 1967 wegen Unrentabilität stillgelegt.

Die Weitung des inneren Halltales und des Isstales hängt mit der verhältnismäßig leichten Zerstörbarkeit der hier aufgedrungenen Salzlagerstätte und ihrer Begleitgesteine zusammen. Das bewegliche und schmiegende Salzgebirge suchte nach Stellen geringen Drucks auszuweichen. Die Lagerstätte liegt nach bisheriger Kenntnis zwischen zwei Störungszonen oder genauer Bruchzonen, nämlich zwischen der dem inneren Halltal folgenden Halltaler Störung (hier zugleich die Deckengrenze) im Süden und der durch das Isstal westlich bis über das Stempeljoch hinaus verfolgbaren Isstalstörung im Norden.

Die aus den Grubenbauen und den wenigen Aufschlüssen über Tag bekannte Lagerstätte ist durch das Emporquellen des im Vergleich zu dem Nachbargestein spezifisch leichteren und beweglicheren Materials in ein höheres Niveau gelangt, wobei der umgebende Mantel aus Rauhwacke die Wanderung mitgemacht hat. Der Haller Salzberg ist nur ein Teil des gesamten Salzgebirges. Das noch unerschlossene Salzgebirge zieht gegen Westen vermutlich bis unter das Gebiet der Pfeis hinein und nach Norden unter das Lafatscher Joch. Lediglich die Südgrenze ist eindeutig durch die große Störungszone der Halltaler Störung bestimmt. Das östliche Ende dürfte in der Gegend nördlich des Bettelwurf-Brünnls (Abb. 1, Quelle 24) zu suchen sein. Wie erwähnt, sind noch 5 km weiter im Osten Haselgebirge (mit den typischen grünen Sandsteinen) und Gips zwischen der Hinterhorn- und der Walder Alm längs der weit reichenden Bewegungsfläche entblößt, ein Hinweis, daß das Salzgebirge in der Tiefe noch beträchtlich über das sichtbar gewordene Verbreitungsgebiet reichen kann.

Hydrochemische Untersuchungen:

Analysen-Methoden:

Die Entnahme der Wasserproben erfolgte in den Monaten Juni bis November 1966 sowie Oktober bis November 1967. Die Bestimmung des pH-Wertes, der elektrolytischen Leitfähigkeit und die chemischen Analysen wurden innerhalb von 2 bis 3 Tagen nach der Entnahme nach allgemein üblichen Analysenverfahren durchgeführt: Na- und K-Ionen wurden nach 10facher Einengung der angesäuerten Wasserprobe und Pufferung mit Aluminiumnitrat

Caesium-Chlorid flammenphotometrisch bestimmt. Die Analyse auf Ca- und Mg-Ionen erfolgte komplexometrisch mit 0,02n EDTA in jeweils 50 ml Probe. Als Indikator diente bei der Ca-Bestimmung Calcon, bei der kombinierten Ca- und Mg-Bestimmung die Indikatorpuffer-tabletten Merck Nr. 8430. Aus der Differenz der beiden Titrationen ergab sich der Mg-Gehalt des Wassers. Eisen-(Mangan?)Spuren störten die komplexometrische Erdalkalibestimmung in den Wässern 4, 6, 7, 9. Die Störung wurde durch Natriumdiäthylthiocarbaminat und Ausschütteln mit Tetrachlorkohlenstoff beseitigt. Die Bestimmung der Gesamtalkalität erfolgte in 100 ml Wasser mit 0,05n Salzsäure durch elektrometrische Titration bis zum Äquivalenzpunkt der Hydrogencarbonate (pH 4, 3), die Chlorid-Bestimmung in 50 ml Wasser nach Ansäuerung mit Salpetersäure durch Titration mit 0,02n Quecksilbernitratlösung unter Verwendung von Diphenylcarbazon als Indikator. Zur Sulfatbestimmung wurden 100 ml Wasser mit einem stark sauren Kationen-Austauscher versetzt und 30 min gerührt. Das Wasser wurde sodann vom Austauscher filtriert und am kochenden Wasserbad mit einem bekannten Überschuß 0,1n Bariumchlorid-Lösung versetzt. Der nicht gefällte Teil der Barium-Ionen wurde komplexometrisch bestimmt (Sijderius 1954).

Die Konzentrationen der aufgefundenen Inhaltstoffe werden in Mikroval/l Wasser angegeben. Zur Umrechnung auf Milligramm/l sind die Werte durch 1000 zu dividieren und mit dem Äquivalentgewicht der betreffenden Ionen zu multiplizieren. Die Gesamthärte in deutschen Härtegraden entspricht der Mikroval-Summe der Ca- und Mg-Ionen multipliziert mit dem Faktor 0,0028. Die Carbonat-Härte ergibt sich durch Multiplikation des Hydrogencarbonat-Gehaltes mit demselben Faktor.

Prüfung der Analysengenauigkeit:

Theoretisch sollten die Mikroval-Summen der Kationen (S_K) und Anionen (S_A) gleich sein. Praktisch trifft dies aber nur in seltenen Fällen zu, da die Einzelanalysen unvermeidliche Fehler enthalten und nicht alle im Wasser enthaltenen Ionenarten analytisch erfaßt werden. Im allgemeinen wird ein Analysenergebnis als richtig betrachtet, wenn die Differenz zwischen der Kationen- und Anionen-Summe innerhalb der statistischen Standard-Abweichung liegt (Standard Methods 1960). Die Überprüfung kann durch den Prüfquotienten

$$Q = \frac{S_A - S_K}{106,5 + 0,0155 S_A}$$

vorgenommen werden. Bei nicht hinreichend genauen und vollständigen Analysen ist der Prüfquotient $Q > \pm 1$.

Die Prüfquotienten sind im letzten Stab der Analysentabellen angegeben. Die Oberflächenwässer (Tab. 1) hatten fast durchwegs negative Prüfquotienten, weil die Kationensumme größer als die Anionensumme war. Eine der Ursachen hierfür ist, daß der Äquivalenzpunkt der Hydrogencarbonate von ihrer Konzentration abhängt. Der pH-Wert von 4,3, bis zu welchem die Carbonatalkalität üblicherweise titriert wird, entspricht deshalb nicht immer dem tatsächlichen Endpunkt der Titration, so daß zu niedrige Hydrogencarbonat-Werte gefunden werden. Prüfquotienten bis zu $-0,4$ in Wässern mit überwiegendem Hydrogencarbonat-Gehalt haben meist diese Ursache. Einige Analysen ergaben Prüfquotienten $Q > -1$ und zwar auch bei Zweituntersuchungen, die 2 bis 13 Monate später durchgeführt wurden. Die Mehrzahl dieser Analysen betraf Wässer, die in der Nähe von beweideten Almen und Talungen austreten. Das Anionen-Defizit ist daher wahrscheinlich auf die nichtbestimmten Nitrat-Ionen zurückzuführen. Die Grubenwässer (Tab. 2) zeigten durchwegs Prüfquotienten $Q < \pm 1$, wobei allerdings im Wasser 7 die kritische Grenze beinahe erreicht wurde.

Chemische Charakteristik der Oberflächenwässer:

Die überwiegende Mehrzahl der untersuchten Quellwässer gehört dem Typ der bekannten Erdalkali-Hydrogencarbonat-Wässer an (Tab. 1). Die Ca-Werte der sulfatfreien Wässer streuen zwischen 1100 und 4900 Mikroval/l, die Mg-Werte

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung der Quellwässer. Austrittshöhe (Sh), Entnahmetag, Wassertemperatur (°C), pH-Wert bei 20° C, Leitfähigkeit (μS bei 20° C) und Ionenkonzentrationen in Mikroval/l. SK bzw. SA bedeuten die Kationen- bzw. Anionensummen. Der letzte Stab der Tabelle enthält die Prüfquotienten. Ca/Mg bedeutet Ca/Mg-Quotient. Ca/Mg-Quotienten, die durch Subtraktion des Sulfat-Gehaltes vom Calcium-Gehalt „korrigiert“ wurden, sind eingeklammert. Wässer mit mehr als 5 val% Sulfat sind durch einen Stern, solche mit mehr als 20 val% Sulfat durch zwei Sterne bezeichnet.

Nr.	Sh	Quelle	Tag	°C	pH	μS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	SK	Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	SA	Q
1	2030	Band-Steig	1. 8. 66	1,0	—	123	38	16	1102	401	1557	2,7	0	0	1561	1561	+0,03
2	1660	Issjöchl	1. 8. 66	4,0	7,8	176	31	5	1803	501	2340	3,6	0	0	2265	2265	-0,53
3	1660	Kaisersäule	27. 6. 66	4,0	7,7	300	31	4	2003	1807	3845	1,1	0	0	3756	3756	-0,54
4	1520	Hinterhornalm	21. 9. 66	11,5	6,9	400	41	18	4732	456	5247	10,4	64	0	4849	4913	-1,83
			26. 10. 67	—	7,6	410	39	26	4914	470	5449	10,5	64	0	5085	5149	-1,61
5	1510	Söllboden	26. 10. 67	8,0	7,8	635	13	12	6180	2532	8737	2,4(0,52)	16	4767**	3988	8771	+0,14
6	1500	Walderalm (Holztrog)	19. 9. 67	7,0	7,4	392	21	8	4300	952	5281	4,5	0	0	5095	5095	-1,00
7	1500	Söllboden	26. 10. 67	6,0	7,8	390	16	9	4250	872	5147	4,9	0	0	5026	5026	-0,66
8	1500	Thaurer Alm	27. 6. 66	5,0	8,0	172	23	4	1602	501	2130	3,2	0	0	2145	2145	+0,12
9	1380	Gungglkopf	19. 9. 67	7,0	7,8	370	26	11	4227	856	5120	4,9	0	56	4874	4930	-1,04
10	1370	Alpensöhne	6. 8. 66	8,5	7,4	350	20	4	2504	2003	4531	1,3	0	0	4451	4451	-0,45
11	1300	Urschenbach	26. 10. 67	7,0	7,8	144	6	4	1503	285	1798	5,3	0	0	1712	1712	+0,65
12	1300	St. Magdalena I	6. 8. 66	5,0	7,4	219	93	12	1302	1280	2687	1,0	16	0	2518	2534	-1,05
13	1300	St. Magdalena II	6. 8. 66	5,0	7,4	236	24	7	1602	1405	3038	1,1(1,0)	20	210*	2830	3060	+0,14
14	1270	Halltaleral Hütte	21. 9. 66	12,0	7,8	198	27	6	2353	200	2586	11,8	0	0	2397	2397	-1,32
			25. 11. 67	7,5	8,2	200	29	4	2355	200	2588	11,7	0	0	2392	2392	-1,36
15	1270	Fallbachhütte	25. 11. 67	8,0	8,0	226	9	4	2668	245	2926	10,9	0	0	2799	2799	-0,84
16	1270	Fallbach	25. 11. 67	5,0	8,0	142	7	3	1443	358	1811	4,0	0	0	1702	1702	-0,82
17	1260	Fallbach West	25. 11. 67	6,8	8,0	201	15	7	1969	599	2590	3,3	0	0	2432	2432	-1,10
18	1260	Grabenbach	25. 11. 67	9,0	8,1	244	29	11	2632	470	3142	5,6	0	0	2890	2890	-1,66
19	1260	Wandalm	25. 11. 67	7,5	8,1	260	16	8	2958	358	3340	8,3	20	0	3021	3041	-1,94
20	1250	Buchtalhütte	20. 8. 66	9,0	7,4	320	19	7	2203	2003	4232	1,1	0	0	4113	4113	-0,70
21	1250	Eggerhütte	10. 8. 66	14,0	7,7	320	24	4	2153	2157	4338	1,0	0	0	4260	4260	-0,45
22	1200	Haselberg	27. 9. 67	8,0	7,6	365	49	13	3906	1045	5013	3,7	0	0	4859	4859	-0,85

Tab. 1 (Fortsetzung)

Nr.	Sh.	Quelle	Tag	°C	pH	μS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	S _K	Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ⁴ ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	S _A	Q	
23	1120	R.-Gasperl-Quelle	27.	6.66	9,0	7,3	245	82	6	2303	801	3192	2,9(2,5)	32	281*	2930	3243	+0,33
24	1000	Bettelwurfbrünnl	6.	8.66	7,0	7,5	268	173	11	2103	801	3088	2,6(1,3)	153	1065**	1803	3021	-0,44
25	1000	Bettelwurf-Quelle	2.	11.66	6,0	7,6	250	61	6	2158	890	3115	2,2(1,1)	38	1168**	1862	3068	-0,31
26	950	Fallbachversickerung	25.	11.67	4,5	8,0	150	8	4	1515	394	1921	3,8	0	0	1797	1797	-0,93
27	910	Garzan Ost	10.	8.66	9,0	7,5	292	—	—	1853	1906	(3759)	1,0	0	0	3565	3565	(-1,19)
28	910	Garzan West	10.	8.66	8,0	7,3	315	40	8	2604	1505	4157	1,7(1,6)	16	170	3827	4013	-0,85
29	900	Fischleraste	27.	9.67	9,5	7,5	245	27	10	2540	651	3228	3,9	0	40	3122	3162	-0,42
30	890	St. Martin	26.	10.67	7,0	7,6	158	10	5	1865	498	2378	3,7	0	0	2276	2276	-0,72
31	890	Brugglahn	27.	8.66	13,0	7,8	350	32	5	3105	1502	4644	2,1	0	0	4572	4572	-0,41
32	880	Wiesenhof Nord	27.	9.67	9,5	7,2	266	27	10	2628	844	3509	3,1	0	0	3343	3343	-1,05
33	860	A.-Pichler-Quelle	27.	7.66	9,0	6,8	450	64	5	4707	1402	6178	3,4(3,1)	24	391*	5639	6054	-0,62
34	850	Maximilian-Quelle	27.	8.66	9,0	7,4	572	58	11	4857	2553	7479	1,9(—)	32	4931**	2300	7263	-0,99
35	840	Usterberg	27.	8.66	8,0	7,6	320	27	15	2303	1956	4301	1,2(1,0)	0	424*	3756	4180	-0,71
36	835	Marstanzboden	27.	9.67	9,5	7,5	510	73	12	5421	1306	6812	4,2(3,9)	0	282	6425	6707	-0,52
37	830	Salzbergstraße	18.	9.67	8,0	7,4	368	35	13	2942	2130	5120	1,4(1,3)	16	218	4758	4992	-0,70
38	735	Baumkirchner Tal	18.	9.67	10,0	7,5	292	84	36	2664	1093	3877	2,4	0	0	3651	3651	-1,39
			25.	11.67	7,0	7,8	274	72	31	2504	1013	3620	2,5	0	0	3424	3424	-1,23
39	730	Baumkirchner Tal	18.	9.67	8,0	7,5	301	46	29	2853	1165	4093	2,4	0	0	3899	3899	-1,16
			25.	11.67	8,5	7,6	296	45	26	2845	1033	3949	2,8	0	0	3756	3756	-1,17
40	725	Schöberbrünnl	18.	9.67	8,5	7,5	335	72	45	2853	1503	4473	1,9(1,8)	24	131	4270	4425	-0,27
41	705	Baumkirchner Tal	18.	9.67	9,0	8,0	276	56	37	2471	1065	3629	2,3(2,2)	24	141	3358	3523	-0,66
42	700	Baumkirchner Tal	18.	9.67	—	7,5	312	56	33	2958	1141	4188	2,6	0	0	3877	3877	-1,87
43	690	Milser Aichat	27.	9.67	9,0	7,4	429	54	22	3930	1728	5734	2,3(0,82)	32	2499**	3152	5683	-0,26

zwischen 200 und 2200 Mikroval/l. Na- und K-Ionen sind nur in geringen Mengen vorhanden. Die Ca/Mg-Quotienten gruppieren sich mit einzelnen Ausnahmen um 1, zwischen 2 und 4 und mit größeren Streuungen um 8 (4,9 bis 11,8). In sulfat-hältigen Wässern wird der Ca/Mg-Quotient nicht nur durch das Ca/Mg-Verhältnis der Carbonat-Gesteine, sondern auch durch das Verhältnis Gips/Bittersalz bestimmt. Sofern Gips überwiegt, kann man das aus den Carbonatgesteinen stammende Ca annähernd durch Subtraktion des Sulfatgehaltes vom Gesamt-Ca berechnen. Diesen „korrigierten“ Ca-Werten entsprechen die in der Tab. 1 eingeklammerten Ca/Mg-Quotienten. Diese Korrektur ändert den Ca/Mg-Quotienten bei sulfatgehalten unter 20 Mikroval% nur unbedeutend. Bei höheren Sulfatgehalten wird der Quotient mitunter kleiner als 1 (Quelle 5, 43) oder läßt sich, weil das Wasser mehr Sulfat als Calcium enthält, nicht berechnen (Quelle 34). Solche Wässer führen dann nicht nur Gips, sondern auch größere Mengen Bittersalz.

Chloride waren in den untersuchten Quellwässern nicht oder nur in sehr geringen Mengen (16 bis 64 Mikroval/l) nachweisbar. Nur das Wasser der Quelle 24 (Bettelwurf-Brünnl) hatte einen etwas höheren Cl-Gehalt (153 Mikroval/l). Da auch der Na-Gehalt (173 Mikroval/l) erhöht war, hat dieses Wasser offensichtlich eine schwach kochsalzhaltige Zone durchlaufen.

Die Hydrogencarbonat-Werte (HCO_3 -Werte) streuen zwischen 1561 und 6425 Mikroval/l. Sie stehen in Beziehung zur Seehöhe der Quellen. Nach den Höhenlagen der Austritte lassen sich zwei Gruppen von Quellen unterscheiden, die zwischen 1200 m und 950 m Seehöhe von einer nahezu quellfreien Zone getrennt sind (Abb. 3). In der oberen Quellgruppe liegen die HCO_3 -Werte vorwiegend in den Konzentrationsbereichen zwischen 2000 und 3000 Mikroval/l sowie 4000 und 5000 Mikroval/l. In der unteren Quellgruppe kommt dagegen ein mittlerer Konzentrationsbereich (3000 bis 4000 Mikroval/l) am häufigsten vor. Mit einer einzigen Ausnahme zeigen alle Wässer der unteren Quellgruppe HCO_3 -Werte über 3000 Mikroval/l. Wässer mit Ca/Mg-Quotienten um 1 enthalten im Durchschnitt mehr Hydrogencarbonate (3946 ± 651 Mikroval/l) als Wässer mit Ca/Mg-Quotienten zwischen 2 und 4 (3181 ± 1003 Mikroval/l). Dieser Unterschied ist nach dem t-Test für $p = 0,05$ zwar noch nicht signifikant, liegt aber immerhin der Signifikanzgrenze schon so nahe, daß bei größerer Probenzahl Signifikanz zu erwarten ist. Ca/Mg-Quotienten über 4 finden sich nur in den Wässern der oberen Quellgruppe. Bei diesen Wässern besteht keine Beziehung zwischen dem Ca/Mg-Quotienten und den HCO_3 -Gehalten.

Chemische Charakteristik der Grubenwässer:

Die chemische Zusammensetzung der Grubenwässer des Haller Salzberges läßt alle Übergänge zwischen einfachen Ca-Mg-Hydrogencarbonat-Wässern und Ca-Sulfat-Wässern mit geringen Anteilen von Kochsalz und Magnesiumsulfat erkennen (Tab. 2). Das Wasser des Wallach-Schurfs (Abb 2, Austritt 1) entspringt direkt aus geklüfteten Partnachkalken und hat das Haselgebirge noch nicht berührt. Auf der

Kationenseite überwiegen die Ca-Ionen (Ca/Mg-Quotient = 6,1), auf der Anionenseite sind, abgesehen von ganz geringen Cl-Mengen, ca. 1700 Mikroval/l Hydrogen-carbonat enthalten. In dieser Größenordnung liegen auch die HCO_3^- -Werte der übrigen Grubenwässer (1600 bis 1900 Mikroval/l). Sie sind somit im Durchschnitt niedriger als in den Übertagquellen gleicher Höhenlage. Ähnlich niedrige HCO_3^- -Werte wurden in allen frei fließenden Bächen (Tab. 1: 11, 16, 26) beobachtet, aber nur in drei Quellwässern des Untersuchungsgebietes (Tab. 1: 1, 24, 25), von denen die Quelle 1 den höchstgelegenen Wasseraustritt darstellt, während die beiden anderen (24, 25) durch ihren Sulfatgehalt von mehr als 20 val% den Grubenwässern an die Seite zu stellen sind. Die Austritte des Schwarzhuberwandl- und Zacher-Wassergebäudes (Tab. 2: 2, 4, 8) führen Ca-Sulfat-Wässer*. Die übrigen Grubenwässer sind als Ca-Sulfat-Hydrogencarbonat-Wässer zu bezeichnen. Die Mineralwassergrenze (1000 mg/l) wird nur im Wasser des Zacher-Wassergebäudes überschritten (1470 mg/l).

Geologische Beziehungen der Oberflächenwässer:

Quellhorizonte:

Bei der Besprechung der HCO_3^- -Gehalte der Oberflächenwässer ist bereits auf das Bestehen von 2 Quellgruppen verschiedener Höhenlage hingewiesen worden, die durch eine quellfreie Zone zwischen 950 m und 1200 m Seehöhe getrennt sind. In diesen Höhenlagen durchziehen wasserstauende Schichten das Untersuchungsgebiet. Die Untergrenze der oberen Quellgruppe (1200 m) entspricht westlich des Halltales einem Band von Raiblerschichten, das von der Thaurer Alm durch die Südflanke des Halltaler Zunterkopfes zieht. Östlich des Halltales wirkt die bunt zusammengesetzte Schichtenfolge unter der Deckengrenze wasserstauend, weshalb hier nahezu sämtliche Quellen an der Nordgrenze des Hauptdolomits austreten. Die obere Begrenzung der tieferen Quellgruppe (950 m) entspricht weitgehend der Fels-Schutt-Grenze. Hier stauen die lehmreichen Schuttmassen des Inntals das Wasser.

Geologische Position der einzelnen Quellen und Wasserläufe:

Im großen gesehen haben die untersuchten Quellwässer eine oder mehrere der fünf geologisch gut charakterisierbaren Schichten entweder durchlaufen oder berührt: den Wettersteinkalk des Hochgebirges, den Hauptdolomit des Gebirgssockels, den dazwischenliegenden Schichtenkomplex verschiedener Kalke und Mergel, das Salzgebirge und schließlich — teilweise als Folgequellen nochmals erscheinend — die gegen das Inntal an- und aufgelagerten Schuttmassen (Terrassenschotter, Sande, sandige Tone, „Bändertone“, Grundmoräne und junge Schuttfächer).

* Die Namensgebung bezieht sich auf diejenigen Ionen, die mit mehr als 20 Valprozent im Wasser enthalten sind.

Theoretisch müßte sich die chemische Zusammensetzung der durchlaufenen Gesteine im Chemismus des Wassers widerspiegeln. Diese Zusammenhänge sind aber oft schwer erkennbar, weil das Quellwasser auf dem Weg vom Nährgebiet zum Austritt meist sehr verschiedene Gesteinsarten berührt. Soweit Aussagen über den mutmaßlichen Quellweg und das Austrittsmaterial möglich erschienen, wurden sie für den Vergleich mit den chemischen Analysen in der nachstehenden Tabelle geordnet.

Höhenlage	Quellort oder Entnahmestelle	Austrittsmaterial	Quellweg
2030	Wilde Bande-Steig NO vom Stempeljoch	Wettersteinkalk	Vermutlich kurz. Nur durch Kalk mit Dolomitbänken
1660	Östlich Issjöchl	Reichenhaller Schichten	Kurz, durch kalkreiche Moräne
1660	Östlich der Kaisersäule	Hauptdolomit	Kurz, nur durch Dolomit
1520	Nahe östlich der Hinterhornalm	Aus Kalken und Mergeln	Durch verschiedene Kalke
1510	750 m ONO der Hinterhornalm	Ausgelaugtes Haselgebirge	Durch verschiedene Kalke
1500	300 m südwestlich der Walder Alm	Feuchte Wiese über hornsteinführendem Kalk	Kalkreiche Moräne
1500	Östlich der Hinterhornalm	Hornsteinführender Kalk	Durch verschiedene Kalke
1500	Nordöstlich der Thaurer Alm	Reichenhaller Schichten	Vorwiegend durch Kalke
1380	Fahrweg südlich vom Gungglkopf	Kalke und Mergel	Durch kalkreiche Gesteinsarten
1370	Östlich der Alpensöhne-Hütte	Hauptdolomit	Nur durch Dolomit
1300	Urschenbach	Kalkschutt	Durch und über verschiedene Kalke
1300	Westlich St. Magdalena (Halltal)	Hauptdolomit	Vorwiegend durch Dolomit
1300	Westlich St. Magdalena (Halltal)	Hauptdolomit	Vorwiegend durch Dolomit

Höhenlage	Quellort oder Entnahmestelle	Austrittsmaterial	Quellweg
1270	Brunnen bei der alten Halltaler Hütte	Kalkschutt	Durch verschiedene Kalke
1270	50 m östlich Fallbachhütte	Aus Hangschutt an der Obergrenze des Hauptdolomits	Durch verschiedene Kalke und Mergel
1270	Fallbach, oberhalb Steig	Bachschutt (Kalk)	Durch und über Kalk mit Dolomitbänken
1260	Westlich vom Fallbach, unterhalb des Steiges	Verwitterungsboden oberhalb Hauptdolomitgrenze	Durch Kalke und Mergel (Kössener Schichten und Jura)
1260	Graben westlich der alten Halltaler Hütte	Kalkschutt an der Obergrenze des Hauptdolomits	Durch verschiedene Kalke
1260	Nahe oberhalb der Wandl-Hütte	Verwitterungsboden an der Obergrenze des Hauptdolomits	Durch Kalke und wenig Mergel (Kössener Schichten und Lias)
1250	Buchthalhütte unterhalb Hochmahdkopf	Raibler Schichten	Durch Hauptdolomit
1250	Südöstlich der Kaisersäule, östlich der Eggerhütte	Raibler Schichten	Durch Hauptdolomit
1200	Südöstlich der Thaurer Alm	Raibler Schichten	Karbonatreiche Raibler Schichten
1120	R.-Gasperl-Quelle, südlich vom Thaurer Roßkopf	Raibler Schichten	Karbonatreiche Raibler Schichten, vermutlich auch Raibler Dolomit
1000	Bettelwurfbrünnl (Halltal)	Dolomitschutt	Durch Hauptdolomit
1000	Bettelwurf-Quellen (Halltal)	Dolomitschutt	Durch Hauptdolomit
950	Fallbach-Versickerung	Über Kalk- und Dolomitschutt	Zuerst über Wettersteinkalk, dann über Hauptdolomit
910	Garzan, südlich Guggermauer-Hütte	Dolomit der Raibler Schichten	Dolomit der Raibler Schichten
910	Garzan, südlich Guggermauer-Hütte	Dolomit der Raibler Schichten	Dolomit der Raibler Schichten

Höhenlage	Quellort oder Entnahmestelle	Austrittsmaterial	Quellweg
900	Südlich der Fischler-Aste	Kalkreicher Schutt über Grundmoräne	Kalkreicher Schuttfächer
890	Nahe östlich der Kirche St. Martin	Kalkreicher Schutt über Grundmoräne	Langer Weg durch kalkreichen Schutt. Zusammenhang mit dem Urschenbach nicht ausgeschlossen
890	Brugglahn nördlich der Walder Kapelle	Kalkreicher Moränenschutt	Längerer Weg durch kalkreichen Schutt
880	Nordwestlich vom Wiesenhof	Kalkreicher Schutt über Grundmoräne	Durch kalkreichen Schutt. Vielleicht eine Folgequelle
860	Adolf-Pichler-Quelle	Grundmoräne unter kalkreichem Schutt der Raibler Schichten	Durch kalkreiche Raibler Schichten
850	Maximilian-Quelle	Schuttstrom aus Dolomit und Kalk	Durch das Schuttbett des Weißenbaches
840	Usterberg östlich der Maximilian-Quelle	Dolomitschutt	Durch Hauptdolomit
835	Marstanzboden, südlich der A.-Pichler-Quelle	Grundmoräne des Inngletschers	Durch Kalke, vermutlich von Nordwesten
830	Quelle an der Salzbergstraße oberhalb Bettelwurf-Siedlung	Grundmoräne des Inngletschers	Durch Hauptdolomit
735	Baumkirchner Tal	Kalkreicher Schutt über Tonlagen	Durch kalk- und dolomitreichen Schutt sowie durch Inntalschotter und -sande.
730	Baumkirchner Tal	Kalkreicher Schutt über Tonlagen	Vermutlich auch Wasser des Fallbaches
725	Schöberbrünnl, südlich Walder Kapelle	Grundmoräne	Vermutlich durch Inntalschotter und -sande
705	Baumkirchner Tal	Schotter und Sande über Tonlagen	Durch Inntalschotter und -sande
700	Baumkirchner Tal	Schotter und Sande über Tonlagen	Durch Inntalschotter und -sande
690	Milser Eichat	Schuttfächer des Weißenbaches	Durch das Schuttbett des Weißenbaches

Ionenverhältnisse:

Das Verhältnis der Alkali-Ionen (Na/K-Quotient) steht in keiner erkennbaren Beziehung zur geologischen Position der untersuchten Quellen. Lediglich die Kalium-Gehalte zeigen eine leichte steigende Tendenz in den Quellwässern, die inner- und unterhalb wirtschaftlich genutzter und teilweise bebauter Gebiete austreten (4, 38 bis 43).

Die Ca/Mg-Quotienten wurden in vier Gruppen zusammengefaßt (Ca/Mg = 1 bis 2, 2 bis 4, 4 bis 8 und 8 bis 16). Diese geometrische Intervallprogression erwies sich zweckmäßig, weil mit abnehmendem Mg-Gehalt kleine, geochemisch irrelevante Schwankungen desselben zunehmend größere Unterschiede des Ca/Mg-Quotienten bewirken. Die gewählten Intervalle umfassen prozentuell gleiche Änderungen des Mg-Gehaltes.

Betrachtet man die Ca/Mg-Quotienten (Tab. 1 und Abb. 1), so fällt zunächst auf, daß diese in den Wässern aus dem Wettersteinkalk (1, 11, 16 und Tab. 3: 22a) sehr verschieden sind (Ca/Mg = 2,7; 5,3; 4,0; 6,4). Die über 1000 m mächtige Kalkmasse ist nämlich nicht ausschließlich Kalk. Horizontweise sind dünne dolomitische Einlagerungen nicht selten. Eigentlicher Wettersteindolomit d. h. kartenmäßig erfaßbarer Dolomit gleichen Alters kommt hier aber nicht vor.

Im Bereich des Hauptdolomits, des zweiten Felsbildners, der auf die tieferen und dem Inntal näher gelegenen Gebirgsteile beschränkt ist, äußert sich das Ca/Mg-Verhältnis des Gesteins von annähernd 1 in gleicher Weise auch im Wasser. Geringe Abweichungen sind durch den Übergang des Hauptdolomits in den hier vorkommenden Plattenkalk bedingt.

In der zwischen den beiden Hauptgesteinsarten eingeklemmten und sehr bunt zusammengesetzten Zone aus Kalken verschiedenen Alters, von Reichenhaller Kalk der älteren Trias bis zum Aptychenkalk des jüngeren Jura und zusätzlicher Einschaltung von Mergeln; verschiebt sich das Ca/Mg-Verhältnis stark zugunsten des Ca. Die Zone mit Ca/Mg-Quotienten über 4 erstreckt sich zwischen dem Oberlauf des Fallbaches und der Walder Alm. Im Bereich der Inntalschuttmassen liegen die Ca/Mg-Quotienten in der Regel zwischen 2 und 4.

Ca/Mg-Quotienten um 1 sind durch Auflösung des Dolomits erklärbar, der ja eine Ca-Mg-Carbonat-Verbindung darstellt, die fast gleiche Anteile von beiden Erdalkalien enthält. Schwerer zu deuten sind die von 1 abweichenden Ca/Mg-Quotienten. Bei der Auflösung eines Gemisches von Ca- und Mg-Carbonat übersteigt nämlich — wie Laboratoriumsversuche ergeben — der Mg-Gehalt den Ca-Gehalt der Lösung um das Zehnfache, wenn das Gemisch nur 1 val% Mg enthält. Die natürlichen Wässer enthielten aber stets mehr Calcium- als Mg-Ionen. Es folgt daraus, daß ihr Mg-Gehalt entweder aus einem Kalkgestein kommt, das nur Spuren von Mg-Carbonat enthält, oder aber, und das ist wahrscheinlicher, aus Dolomiteinlagerungen.

Hydrogencarbonat-Gehalt:

Die Löslichkeit der Erdalkalcarbonate ist bekanntlich weitgehend von dem im Wasser gelösten Kohlendioxydgas abhängig, das, soferne es nicht vulkanischen Ursprungs ist, aus der atmosphärischen Luft und aus biologischen Oxydations-

vorgängen im Erdboden stammt. Die HCO_3 -Werte der Quellwässer des Untersuchungsgebietes waren nicht zufällig verteilt, sondern gruppierten sich in den Quellgruppen der beiden Höhenlagen um verschiedene Schwerpunkte (Abb. 3). In der unteren Quellgruppe (690 bis 950 m) lagen mit einer Ausnahme (Quelle 30) alle HCO_3 -Werte über 3000 Mikroval/l, wobei eine deutliche Häufung im Konzentrationsbereich zwischen 3000 und 4000 Mikroval/l erkennbar war. Die obere Quellgruppe wies zwei bevorzugte Konzentrationsbereiche auf, wovon der eine zwischen 2000 und 3000 Mikroval/l, der andere zwischen 4000 und 5000 Mikroval/l lag. Läßt man diesen höheren Konzentrationsbereich zunächst außer Betracht, weil er durch besondere lokale Verhältnisse bedingt ist (siehe unten), dann haben die Wässer der unteren Quellgruppe im Durchschnitt einen höheren HCO_3 -Gehalt als die der oberen. Als Ursache hierfür kommt in erster Linie ein größerer Gehalt an Vege-

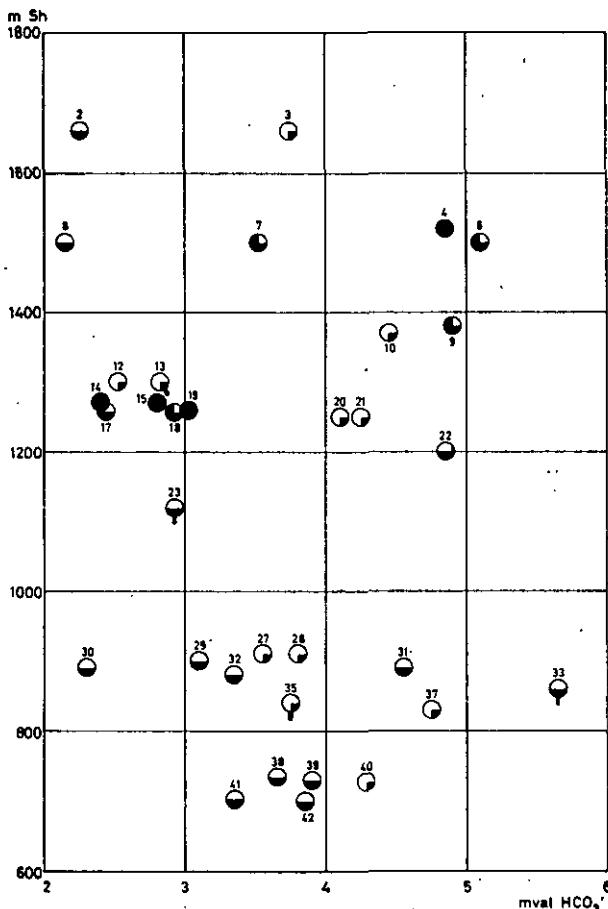


Abb. 3: Hydrogencarbonat-Konzentrationen geordnet nach den Austrittshöhen der untersuchten Quellen. Wässer mit mehr als 20 val% Sulfat wurden nicht eingezeichnet. Die Bachwässer (11, 16, 28) sowie die Quellwässer 1 und 36 liegen außerhalb des dargestellten Bereiches. Es sind zwei Quellgruppen (unterhalb 950 bzw. oberhalb 1200 m) mit drei bevorzugten Konzentrationsbereichen erkennbar, die in der unteren Quellgruppe zwischen 3000 und 4000 Mikroval/l, in der oberen Quellgruppe zwischen 2000 und 3000 Mikroval/l sowie 4000 und 5000 Mikroval/l liegen. 1000 Mikroval = 1 Millival (mval).

tationskohlensäure im Erdböden der tieferen Geländeabschnitte in Frage. Die biologische CO_2 -Bildung hängt vom Bodentyp und von der Art des Bewuchses ab. Durch die Atmung der Wurzeln und Bodenbakterien wird im Erdreich CO_2 frei und steht für die Auflösung von Erdalkalcarbonaten zur Verfügung. Man nimmt an, daß etwa ein Drittel von den Wurzeln und zwei Drittel von den Mikroben gebildet wird. In einem Naturexperiment zeigt sich die Wirkung der Boden- CO_2 am Verhalten der HCO_3^- -Werte in den einzelnen Abschnitten des Fallbaches. Der HCO_3^- -Gehalt ändert sich im freien Abfluß zwischen 1070 m (Entnahmestelle 16) und der Versickerung bei 950 m (Entnahmestelle 26) nur unbedeutend von 1702 auf 1792 Mikroval/l. In der anschließenden ca. 2 km langen Versickerungsstrecke aber, bis zum Wiederaustritt des Wassers im Baumkirchner Tal (Quelle 38, 735 m), steigt der HCO_3^- -Gehalt auf rund 3400 Mikroval/l an.

Die Höhenverteilung der HCO_3^- -Werte wird nun aber durch eine Reihe von Quellen der oberen Gruppe durchbrochen, die 4000 bis 5000 Mikroval/l Hydrogencarbonate enthalten. Diese in Anbetracht der Höhenlage der Quellenaustritte zu hohen HCO_3^- -Werten sind durch besondere Vegetationsverhältnisse im Austrittsgebiet bedingt. Hier handelt es sich um Hauptdolomit-Quellen und um Quellen im Gebiet bewirtschafteter Almen (Hinterhornalm, Walder Alm). Es wurde bereits erwähnt, daß die Quellwässer aus dem Hauptdolomit im allgemeinen zu etwas höheren HCO_3^- -Werten tendieren. THURNER (1967) führt die größere Härte der Dolomitgestein-Wässer auf die engen Kluftwege dieser Gesteinsart zurück, die ein langsameres Durchfließen bewirken, so daß mehr Carbonate aufgenommen werden können. Wahrscheinlich ausschlaggebender ist aber die bessere Vegetationsbedeckung des Hauptdolomits. Hierbei kommt es nicht nur auf die biologische Aktivität im Erdreich des Einzugsgebietes an: Der HCO_3^- -Gehalt des Wassers kann sich auch im Austrittsgebiet noch merklich erhöhen, besonders bei kleineren Quellen, deren Wässer oft mehr oder weniger diffus durch die Bodenkrume sickern, ehe sie in einer Geländefurche zusammenfließen und an einer Geländestufe zutage treten.

Sulfat- und Chlorid-Gehalt:

Sulfathaltige Wässer wurden in drei Zonen des Untersuchungsgebietes gefunden. Das erste Gebiet umfaßt die Quellen im Halltal längs des Weißenbächs. Die Salz-lagerstätte des Halltales enthält große Mengen Anhydrit und Gips. Dieses Material gelangt durch Auslaugung in den Grundwasserstrom des Halltals und macht sich in den Quellen bemerkbar (13, 24, 25, 34, 37, 40, 43). Der Weißenbach des äußeren Halltales entsteht durch den Zusammenfluß seines Oberlaufes mit dem Issbach (Abb. 1: 22a bzw. 22b) und erhält neben kleineren Zuflüssen auch die Überläufe der zur Trinkwasserversorgung gefaßten Bettelwurf-Quellen. Diese Bachwässer wurden in letzter Zeit untersucht. (Tab. 3): Während der Issbach gewöhnliches Ca-Hydrogen-carbonat-Wasser führt, enthält der Oberlauf des Weißenbächs zusätzlich beträchtliche Kochsalzmengen (rd. 4 g/l) und Gips. Die Chloridwerte im Unterlauf des

Weißenbachs (Abb. 1, 32a) treten durch die Vermischung mit den sulfathältigen, aber chloridarmen Überwässern der Bettelwurf-Quellen stark zurück. Ähnliche Vermischungen scheinen auch im Grundwasserstrom statzufinden, da die Quellen des äußeren Halltals nur sehr schwach kochsalzhältig sind, aber reichlich Gips enthalten.

Ein stark sulfathältiges Wasser findet sich im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes zwischen der Hinterhornalm und der Walder Alm (Quelle 5). Hier konnte die geologische Feststellung (graugrüner Salzton mit Gips an der Deckengrenze) nunmehr auch durch die chemische Untersuchung bestätigt werden.

Sulfathältige Wässer entspringen auch nordwestlich von Thaur (Quelle 23, 33, 36). Es wäre aber wohl verfrüht, darin eine Bestätigung jener Überlieferung zu erblicken, wonach früher bei Thaur Kochsalz-Quellen ausgetreten seien.

Geologische Beziehungen der Grubenwässer des Haller Salzberges:

Das Salzgebirge ist von einem ungleichmäßig dicken, das Wasser abhaltenden Mantel ausgelaugten Haselgebirges (mit Gips) und von einem lückenhaften Überzug aus Rauhwacke umgeben (Abb. 2). Trotz dieser schützenden Hülle tritt an mehreren Stellen aus den darüber befindlichen stark zerklüfteten Kalkmassen des Wildangergebirges und aus den Blockablagerungen Wasser in das Grubengebäude ein.

Die chemischen Zusammensetzungen der einzelnen in den höchsten Horizonten des Salzberges entspringenden Quellen bzw. eindringenden Wässer zeigen große Unterschiede (Tab. 2). Darin kommt die Beschaffenheit des durchwanderten Gesteinsmaterials sehr deutlich zum Ausdruck. Das am Wallach-Schurf (Wasserberg) eindringende Wasser (Tab. 2, Austritt 1) ist am schwächsten mineralisiert. Es ist mit dem Salzgebirge noch wenig in Berührung gekommen. Das 105 m tiefer im Zacher-Wassergebäude des Steinberg-Horizontes entnommene Wasser (Austritt 8) zeigt die stärkste Mineralisierung. Es enthält reichlich Ca- und Mg-Sulfat sowie Kochsalz.

Im Zusammenhang mit der im Sommer 1967 erfolgten Auflassung des Haller Salzberges erhebt sich das noch zu wenig beachtete Problem, wie sich diese bisher sorgfältig gesammelten und aus dem Berg abgeleiteten Wässer im Laufe der Zeit auswirken können, wenn ihre Fassungen und Ableitungsrohre zugrunde gehen. Durch die auflösende Wirkung des Wassers wird das Salzgebirge auf natürliche Weise allmählich ausgelaugt und zerstört werden. Die dabei entstehenden Kochsalzwässer werden sich in den Weißenbach ergießen und diesen noch mehr als bisher „versalzen“. Es könnte dadurch auch zu einer Beeinträchtigung der Trinkwasserquellen kommen.

Die Abbildungen und Tabellen wurden von Frau Helma Stöver angefertigt. Ihr möchten wir an dieser Stelle für die gewissenhafte Ausführung herzlich danken.

Tab. 2: Chemische Zusammensetzung der Grubenwässer. Austrittshöhe (Sh), Entnahmetag, Wassertemperatur (°C), pH-Wert bei 20° C, Leitfähigkeit (μS bei 20 °C) und Ionenkonzentrationen in Mikroval/l. S_K bzw. S_A bedeuten die Kationen- bzw. Anionensumme. Der letzte Stab der Tabelle enthält die Prüfquotienten.

Nr.	Sh	Quelle	Tag	°C	pH	μS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	S_K	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	S_A	Q
1	1655	Wallach-Schurf	2. 11.	3,0	7,6	147	41	7	1455	238	1741	28	0	1692	27	1747	+0,04
2	1655	Schwarzhuber	2. 11.	3,0	7,5	655	74	6	8266	364	8710	44	7008	1672	32	8756	+0,19
3	1630	Wallach-Schurf (Fuß)	2. 11.	3,0	7,7	423	81	9	4666	552	5308	88	3292	1873	28	5281	-0,16
4	1640	Wandl-Wassergebäude	2. 11.	3,5	7,5	965	146	10	12745	715	13616	137	11781	1611	28	13557	-0,18
5	1630	Corolanza-Wassergeb.	2. 11.	4,0	7,2	400	254	8	4290	426	4978	245	2794	1883	22	4944	-0,18
6	1600	Landsee-Wassergeb.	2. 11.	3,5	7,5	470	73	7	5419	477	5976	44	4179	1662	34	5919	-0,29
7	1595	Puchenberg	2. 11.	4,0	7,5	255	58	5	2496	552	3111	44	1240	1657	23	2964	-0,96
8	1550	Zacher-Wassergeb.	2. 11.	4,0	7,6	1330	1284	36	16996	2471	20787	1374	17782	1893	29	21078	+0,67

Tab. 3: Chemische Zusammensetzung der Bachwässer des Halltales. Zeichenerklärung siehe Text zu Tab. 2, Lage der Entnahmestellen siehe Abb. I.

Nr.	Sh	Bach	Tag	°C	μS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	S_K	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	S_A	Q	
22a	1180	Weißenbach, Oberlauf	11. 4. 68	3	6450	67249	483	9122	2021	78875	68716	7932	1959	78607	-0,2	
22b	1180	Isstalbach	11. 4. 68	4	180	49	5	1885	293	2232	48	0	2104	2152	-0,57	
37	32a	880	Weißenbach, Unterlauf	11. 4. 68	7	450	262	16	3834	1551	5663	334	3305	2054	5693	+0,15

Literatur:

SIJDERIUS, R.: Anal. Chim. Acta 11, 28 (1954).

STANDARD METHODS: Standard Methods for the Examination of water and waste water.
11. Auflage. American Public Health Association. INC. New York, 1960.

THURNER, A.: Hydrogeologie, Springer-Verlag 1967, Seite 102.

Anschrift der Verfasser: Doz. Dr. C. Job, Institut für Balneologie, A-6020 Innsbruck, Schöpfstraße 41; Doz. Dr. G. Mutschlechner, A-6020 Innsbruck, Innrain 30a.