Zur Geologie alpiner Thermal- und Sauerquellen

Autor(en): **Cadisch, J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden**

Band (Jahr): **66 (1927-1928)**

PDF erstellt am: **27.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-594579

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Zur Geologie alpiner Thermal- und Sauerquellen.

Von *J. Cadisch*, Basel.

∞∞

Wer die nutzbaren Lagerstätten der Alpen mit denen ihres Vorlandes vergleicht, wird bald inne werden, daß unser Gebirge arm an Bodenschätzen ist. Die durch lange Zeiten hindurch tätige Gebirgsbildung und die entsprechend intensive Abtragung verhinderten sowohl eine ruhige Ablagerung sedimentärer Bildungen, als auch die Entstehung größerer magmatischer Erzlagerstätten. So ergibt sich die merkwürdige Tatsache, daß unter den alpinen Bodenschätzen die Mineral- und Thermalwässer an erster Stelle stehen. Ihr Vorkommen in klimatisch ausgezeichneten Gegenden gab Veranlassung zur Entstehung blühender Kurorte; insoweit ließe sich ihr Wert ungefähr abschätzen. Nicht berechnen können wir aber den großen Nutzen, welchen unsere Volksgesundheit schon seit Jahrhunderten aus ihnen zieht.

Abgesehen von den Ärzten, welche sich schon frühzeitig mit Bädern und Heilquellen befaßten und den Wissenszweig der Balneologie begründeten, haben die Wissenschafter, sowohl die Physiker als auch Chemiker und Geologen, die Mineralquellen etwas stiefmütterlich behandelt, indem meist nur einzelne Vorkommen, seltener aber eine größere Zahl derselben im Zusammenhange erforscht wurden. Ausnahmen kommen vor, es sei nur an die Namen *Fresenius, de Launay* und *Ed. Suess* erinnert. Die Vernachlässigung der Mineralquellkunde dürfte zu einem guten Teil darauf zurückzuführen sein, daß wir es mit einem Grenzgebiet von Physik,

Chemie, Mineralogie und Geologie zu tun haben. Deshalb können auch die folgenden Ausführungen nicht auf gleichmäßiger wissenschaftlicher Durcharbeitung beruhen.

I. Über die Klassifizierung von Mineral- und Thermalquellen.

Weitaus die brauchbarste Einteilung der Mineral- und Thermalwässer ist die zurzeit im Gebrauche befindliche nach chemisch-medizinischen Gesichtspunkten. Nicht streng wissenschaftlich und nicht zu sehr in die Einzelheiten gehend, hat sie den Vorteil einer gewissen Dehnbarkeit, welche einer Einreihung bestimmter Fälle keine großen Schwierigkeiten bereitet. In erster Linie wird der Gehalt an therapeutisch wirksamen Komponenten berücksichtigt. Dabei sind oft die quantitativ vorwiegenden Bestandteile zugleich die medizinisch wichtigsten (Kochsalz, Glaubersalz), oft aber spielen andere quantitativ zurücktretende Stoffe, wie Jod, Arsen, Lithium, Borsäure, Schwefelwasserstoff u. a. m. die Hauptrolle.

Die Einteilung der Heilquellen in Mineralwasserklassen in dem von *E. Mory, H. Keller* und *E. Cattani* herausgegebenen Schweizerischen Bäderbuch (20) ist folgende:

1. Akratopegen oder einfache kalte Quellen, weniger als 0,5 g gelöster Mineralsubstanz und weniger als 1 g Gas pro l Wasser enthaltend. Temperatur unter 20° C.

2. Akratothermen, einfache warme Wässer oder „Wildbäder", schwach mineralisiert wie 1., Temperatur über 20° C.

3. Erdige Wässer. Vorwiegend Calciumkarbonat, Magnesiumkarbonat und Calciumsulfat gelöst enthaltend.

4. Alkalische Wässer. Hauptsächlich enthaltene Komponente Natriumkarbonat (bezw. Natriumhydrokarbonat).

5. Schwefelwässer. Schwefelwasserstoffhaltig.

6. Kochsalzwässer (muriatische Quellen) und Solen. Erstere 1 bis 15 g Kochsalz führend, letztere mehr als 15 g.

7. Jodwässer. Über 0,001 g Jod führend. Beispiel: Saxon.

8. Eisenwässer. Wenigstens 0,01 g „Eisensalz" enthaltend.

9. Arsenwässer. Mit mehr als 0,0002 g Arsenat (sollte wohl Arsenit heißen!). Beispiel: Val Sinestra mit 0,0016 bis 0,0053 g Natriumarsenit.

10. Bitterwässer. Mehr als 9,0 g gelöste Mineralsubstanz enthaltend. Chlor- und Sulfat-Anionen, Natrium- und Magnesium-Kationen vorwaltend. Ist Natriumsulfat in Vormacht, so spricht man von Glaubersalzwasser oder salinischem Wasser, bei Vorwiegen von Magnesiumsulfat von echtem Bitterwasser.

11. Radiumhaltige Quellen. Wässer mit stärkerer Radioaktivität, vor allem mit relativ großem Emanationsgehalt. Beispiele: Disentis, Locarno-Minusio.

Enthält eine Quelle mehr als 1,0 g freies Kohlendioxyd („Kohlensäure") im kg Wasser, so wird sie Säuerling genannt. Alle unter 3 bis 11 aufgeführten Mineralwässer können gleichzeitig auch Säuerlinge und Thermen sein (alkalische Säuerlinge usw.). In vielen Fällen weisen Mineralquellen Eigenschaften auf, die ihre Zuteilung in verschiedene Quellklassen rechtfertigen. So kann ein Eisen- und Arsenwasser zugleich alkalisch, salinisch und muriatisch sein.

Die Klassifikation des „Deutschen Bäderbuches" ist eine ähnliche: Zu den Akratopegen und Akratothermen zählen alle Wässer, welche weniger als 1 g Trockensubstanz und weniger als 1 g gelöste Kohlensäure enthalten. Die erdigen Säuerlinge werden als besondere Gruppe behandelt. Als Bitterwässer bezeichnet der Bearbeiter des betreffenden Abschnittes (C. Schütze) Wässer mit mehr als 1,0 g festen Bestandteilen, unter deren Anionen die Sulfat-Ionen an erster Stelle stehen. Eisenquellen enthalten nach der deutschen Einteilung mehr als 0,01 g Ferro- oder Ferri-Jon auf das kg Wasser (präzisere Definition als weiter oben unter 8.).

II. Eine geologische Einteilung der Mineralwässer

wäre von rein wissenschaftlichem Wert. Sie könnte von verschiedenen Gesichtspunkten ausgehen. In erster Linie lassen sich natürlich dieselben Unterscheidungen wie bei gewöhnlichen Quellen anwenden, so z. B. nach *Alb. Heim* die Zweiteilung in Fels- und Schuttquellen, je nach Beschaffenheit des durchflossenen Untergrundes. Auch die Unterscheidung von auf- und absteigenden Wässern wäre in mancher Beziehung von Vorteil. Bei absteigenden Wässern weist der unterirdische Wasserlauf gleichsinniges Gefälle auf, bei aufsteigenden Quellen fließt das Wasser nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren zuerst in das Erdreich hinein, um alsdann zur Quelle emporzusteigen. *E. Kayser* und *K. Keilhack* teilen die absteigenden Quellen ein in Talquellen (Beispiel: Grundwasseraufstöße), Schichtquellen (an der Grenze zwischen durchlässigem (oben) und undurchlässigem (unten) Horizont austretend, Überfallquellen (Abfluß eines Grundwasserbeckens aus einer Schichtmulde) und Stau- bezw. Verwerfungsquellen.

Eine weitere Möglichkeit bestünde darin, die Wässer nach dem Herkunftsorte der gelösten Mineralstoffe einzuteilen. Wir sind ja oft imstande anzugeben, woher die gelöste Substanz stammt, auch wenn der Quellaustritt selbst in einem anderen Gesteinshorizont gelegen ist. So käme für die Schweiz und deren nähere Umgebung ungefähr folgende stratigraphisch-lithologische Einteilung in Frage: 1. Mineralwässer aus Alluvium und Diluvium, 2. aus dem Tertiär (Flysch, Molasse) und dem älteren Bündnerschiefer, 3. aus der Trias, 4. aus dem Kristallin. Mineralquellen, deren Mineralisation in Kreide, oberem und mittlerem Jura oder Perm vor sich geht, sind von untergeordneter Bedeutung. Wir benutzen dieses Einteilungsprinzip für einen kurzen Überblick:

Im Alluvium, vor allem in Mooren, entstehen Schwefelwässer durch Einwirkung von organischer Substanz auf pyrithaltiges Gesteinsmaterial (Beispiel: Spinabad bei Da-

vos). In Gipswässern, welche aus der Trias in Sumpfböden gelangen, kann durch Reduktion Schwefelwasserstoff entstehen (gewisse Schwefelquellen).

In den mächtigen eiszeitlichen Ablagerungen am Südufer des Genfer Sees entspringt das als Säuerling bezeichnete, jedoch nur 0,025 g freies Kohlendioxyd enthaltende Wasser von Evian. Verschiedene im Diluvium mineralisierte ausländische und schweizerische Wässer verdienen die Bezeichnung Mineralwasser nicht; sie wären besser als gewöhnliche gute Trinkwässer zu deklarieren.

Die Ablagerungen des Tertiärs und der mesozoischen Bündnerschiefer sind als Abtragungsprodukte des werdenden Gebirges von außerordentlich wechselnder chemischer Zusammensetzung, als gemeinsam besitzen sie einen oft ziemlich hohen Gehalt an organischer Substanz. Durch fortdauernde Zersetzung (Verkohlung usw.) derselben wird eine ganze Anzahl von Stoffen frei, die teils in Gasform auftreten, teils im Wasser gelöst sind. Ersteres trifft zu für das Methan, welches Gas noch jetzt im Rickentunnel den oligocänen Mergeln entströmt, im Burgerwald (Kt. Freiburg) aus dem Berra-Flysch austrat, im Prätigau-Flysch (Stollen Klosters-Küblis) und andernorts beobachtet wurde. Auch Kohlensäure und Schwefelwasserstoff verdanken ihre Bildung hie und da ähnlichen diagenetischen Vorgängen. Eigentliche Säuerlinge entstehen auf diese Art nicht.

Molasse, Flysch und Bündnerschiefer sind in der Regel ziemlich undurchlässige Sedimente, d. h. nicht ergiebige Quellhorizonte. Wird das Wasser gezwungen, in diesen Gesteinen längere Wege zurückzulegen, so kann infolge spärlicher und langsamer Zirkulation hochgradige Mineralisation stattfinden. Dieser Fall kommt zum Beispiel vor, wenn eine Schieferlage zwischen dichtere kristalline Komplexe eingebettet liegt. Aus den mächtigen, relativ einheitlichen Molasse- und Flyschkomplexen entspringen nicht viele und auch eher schwache Mineralwässer (Beispiele: Mineralquellen im Entlebuch und st. gallisch-appenzellischen Alpenvorland).

Aus der Trias beziehen wohl weit mehr als die Hälfte alpiner Mineralwässer ihren Gehalt (Beispiele: Aix-les-Bains-Lavey, Leuk, Bormio). Die Erklärung hierfür ist eine sehr einfache: Dieser Schichtkomplex ist durchgehend am reichsten an leichtlöslichen Salzen, wie Gips, Kochsalz u. a. m. Leider besitzen wir sehr wenig vollständige Analysen triasischer Gesteine, besonders nicht aus Tiefen, in welchen die Wirkung zirkulierender Wässer eine geringere ist. Dennoch dürfen wir in vielen Fällen mit Sicherheit annehmen, daß Brom, Jod, Lithium, Bittersalz (Magnesiumsulfat) und Glaubersalz aus triasischen Gesteinen stammen. Glaubersalz kommt als Mineral in Ischl und Hallstatt in der Trias vor.

Die rasche Wegführung leichtlöslicher Substanz bedingt in vielen Fällen eine Ausweitung des Wasserweges; bei genügendem Wasserzufluß nimmt alsdann der Quellertrag zu. Gelangt das Wasser in bedeutendere Tiefe, um alsdann mit größerer Geschwindigkeit wieder aufzusteigen, so besitzt es an der Austrittstelle eine Temperatur, welche höher ist als die mittlere Jahrestemperatur des betreffenden Ortes: es entsteht eine Therme.

Quellen aus dem altkristallinen Gebirge (Gotthard-Aar-Massiv usw.) weisen in der Regel einen schwachen Mineralgehalt auf. Sie werden meist wegen irgendeines in geringer Menge vorhandenen, jedoch therapeutisch wirksamen Stoffes (z. B. Radium) benutzt. Enthalten Quellen aus kristallinem Gebirge größere Mengen von Gips, Calcium- und Magnesiumkarbonat oder Kochsalz, so ergibt eine nähere Prüfung fast stets, daß nicht die kristallinen Felsarten, sondern ein benachbarter Triaszug mit Rauhwacke, Marmor, Dolomit u. a. Gesteinen diese Stoffe liefert. Als Beispiel dieser Art sei die Therme von Acquarossa (Tessin) genannt, welche im Bereiche kristalliner Gesteine entspringt, ihren Mineralgehalt mit vorwiegenden Calcium- und Magnesiumsalzen aber wohl aus der triasischen Unterlage der Simanogneise erhält.

Man könnte wohl zur Annahme neigen, daß über die Herkunft des Mineralbestandes von Wässern aus jungvulkanischem Gebiete keine Zweifel bestünden, und doch dis-

kutiert man auch hier über diese Fragen, so: ob das Natriumchlorid aus der angeschmolzenen Sedimentdecke stamme, ob die Kohlensäure aus ebensolchem Kalkgestein herrühre usw. Das größte Rätsel geben uns aber die vielen Säuerlinge auf, welche oft in großer Entfernung jetzt noch tätiger oder vor nicht allzulanger geologischer Zeit noch aktiver Vulkangebiete entspringen. Angesichts der wieder reger werdenden Diskussion über die Entstehung dieser Wässer wird man unwillkürlich an den alten Streit zwischen Neptunisten und Plutonisten erinnert; ging es vor mehr als hundert Jahren um die Entscheidung, ob der Basalt ein Eruptiv- oder Sedimentgestein sei, so handelt es sich heute um die Frage, ob die alpinen Säuerlinge mit aktiven vulkanischen Vorgängen in Zusammenhang stehen oder ob es sich um ausschließlich oberflächliche Lösungs- und Umsetzungsprozesse handle.

Die endgültige Lösung dieses Problems ist dem Chemiker und Petrographen vorbehalten. Immerhin dürfte auch die Abklärung der jeweiligen stratigraphischen und tektonischen Verhältnisse als kleine Vorarbeit erwünscht sein.

Die alpinen Sauerwässer stellen den allgemeinen Fall eines Mineralquellvorkommens dar. Ihre geologische Lage ist oft übereinstimmend mit derjenigen von Thermen, was denn auch verschiedene Forscher, so vor allem *de Launay* (16) in seinem fundamentalen Werke über die „sources thermo-minérales", betonten. Wir besprechen im folgenden zunächst die Thermen, weil ihr Auftreten besonders deutlich und einfach an gewisse geologische Erscheinungsformen gebunden ist.

III. Westalpine Thermen.

Von den Alpes maritimes bis Wien, auf der ganzen Erstreckung des Alpenkörpers, treten da und dort warme Quellen auf. In den französischen Westalpen liegen die Thermen von Uriage (Isère) mit 27° C., Allevard (17°) Salins-Moûtiers (35°), Brides (36°), Aix-les-Bains (45°—47°), Saint-Gervais (40°), La Caille (26°) u. a. m. Die meisten dieser Wässer ent-

halten hauptsächlich Mineralstoffe der Trias, so Uriage (vorwiegend NaCl, Na_2SO_4) und Allevard (vorwiegend NaCl, Na_2SO_4, $CaSO_4$, $MgSO_4$), beide am Westrand des Belledonne-Massives gelegen, ferner Salins-Moûtiers und Brides in der Embrunaiszone (E. Haug). Die nur 0,49 g Mineralsubstanz pro l führende Akratotherme von Aix-les-Bains (Savoyen) entspringt am Westfuß der Rivard-Nivolet-Kette, deren kretazische Schichtfolge nach Westen überschoben ist. Die Schubfläche dient dem Thermalwasser als Weg, nachdem es großenteils aus triasischen Gesteinen seinen Mineralgehalt entnommen hat. Der Ertrag der Quellen ist sehr reichlich, ungefähr 2100 ml. Die Therme von Saint-Gervais (vorwiegend NaCl, Na_2SO_4) entspringt aus Triasdolomit und Gips, dort wo das Kristallin des Aiguilles-rouges-Massives nach SW unter die liegenden Falten der Mt. Jolygruppe eintaucht. Die Schwefeltherme von La Caille tritt aus Kreideschichten aus, in nächster Nähe der Transversalverschiebung von Crusille, welche die Salèvekette im Süden plötzlich enden läßt. Dieser Bruch mag dem Wasser wohl als aufsteigender Quellweg dienen.

Auf italienischem westalpinem Gebiete entspringen die Schwefelthermen von Valdieri (SW Cuneo) (38—69 °). Dem großen Ertrag entspricht eine sehr geringe Mineralisation (0,098—0,236 g pro kg). Ebenfalls im Innern des Mercantourmassives sind die muriatischen Thermen von Vinadio gelegen (17,7 cm^3 H_2S, 1,018 g NaCl und 0,171 g $CaSO_4$ pro kg Wasser).

Die Therme der Bagni di Craveggia entspringt im oberen, zu Italien gehörenden Teil des Val Onsernone bei Locarno. Sie liefert ein ziemlich indifferentes, 31 ° warmes Wasser (0,29 g feste Bestandteile pro kg). Über die geologischen Verhältnisse werden weiter unten Angaben gemacht.

Die bedeutenderen Thermen der Schweizer Alpen liegen alle noch im Westalpenabschnitt, d. h. westlich der Linie Bodensee-Maloja.

Im Quertal zwischen Martigny und Genfer See fließt die Therme von Lavey im Rhonebett aus, und zwar auf der Grenze zwischen Trias und Kristallin. Die tektonische

Lage ist folgende: Vom Rhonetal fällt das Aiguilles-rouges-Aar-Massiv steil nach Osten unter die helvetischen Sedimente ein, um in den Bergen zwischen Leuk und Lötschental wieder an der Oberfläche zu erscheinen. Der Sedimentmantel des Aar-Massivs dient sowohl in Lavey als in Leuk als Wasserträger, bei Lavey wird er durch die Rhone angeschnitten, bei Leuk entspringen die Quellen aus dem Scheitel der sedimentären Hülle. *M. Lugeon* (17) hat in seiner schönen Monographie der Thermen von Leuk gezeigt, daß deren Sammelgebiet in der Torrenthorngruppe liegt, d. h. im helvetischen Mesozoikum auf der Südseite des Massives. Einmal eingesickert, umfließt das Wasser den westlich eintauchenden kristallinen Rücken, um von dessen Nordseite durch die Bajocien-Spatkalke in den Scheitel über dem Massiv zu gelangen, wo es im Erosionsanschnitte der Dalaschlucht zum Ausfluß gelangt. Die geologischen Verhältnisse der genannten Quellen sind somit ähnliche, aber nicht ganz gleiche: in Lavey entspringen die Quellen am tiefsten Punkt der Nordflanke der Sedimentschale, in Leuk aus ihrem Scheitel. Wir können uns fragen, ob sich nicht auch auf der Südseite des Massives Thermen finden. In der Tat liegt hier, wo die Rhone den Südschenkel des Massivgewölbes anschneidet, die Quelle von Saxon. Die beiden Thermen von Lavey und Saxon sind symmetrisch zur Massiv-Längsachse gelegen. Zwischen diesen verschiedenen Quellen bestehen selbstverständlich keine direkten Zusammenhänge; ihre geologischen Verhältnisse zeigen aber weitgehende Übereinstimmung. In allen drei Fällen dient der Bereich zwischen undurchlässigem Kristallin und durchlässiger Trias als Sammelraum, das Wassergefäß besitzt also die Form eines Sattels.

Wir müssen weit nach Osten wandern, um im Aar-Massiv wieder eine Therme — die letzte — anzutreffen. Bei Vättis im Taminatal kommt das Aarmassiv-Gewölbe in einem kleinen (stratigraphischen!) Fenster noch einmal zum Vorschein, um alsdann endgültig unter den helvetischen Faltengebilden des Calanda zu verschwinden. Merkwürdigerweise entspringt die Therme des Wildbades Pfäfers

(37,5 °) nicht aus diesem Kristallin von Vättis, sondern einige Kilometer weiter nördlich aus dem Seewerkalk. In den „Grauen Hörnern" westlich des Tales sickert das Wasser in diese Oberkreidekalke ein und gelangt infolge intensiver Fältelung sowie Axialgefälle des Gesteins ostwärts in große Tiefe hinab, um sodann durch eine Kluft aufzusteigen und in der Taminaschlucht auszufließen. *Alb. Heim* (13) schätzt den Inhalt des Wasserreservoirs im Bergesinnern auf zwei Millionen m^3.

Von den übrigen schweizerischen Thermalwässern seien nur Weißenburg im Simmenthal und Vals im Vorderrheingebiet genannt. Das Gipswasser von Weißenburg (0,95 g Mineralgehalt pro l) besitzt eine Temperatur von 25,5 °, die Thermalität (= Wassertemperatur minus mittlere Ortstemperatur) beträgt 19,5 °. Die Quelle entspringt in der Bunschibachschlucht auf der Südseite der Stockhornkette aus dem hier gerade noch angeschnittenen Malmkern des „Leitern-gewölbes". Ein Kilometer weiter westlich wird diese Antiklinale durch die große Transversalverschiebung von Weißenburg abgeschert *(P. Bieri)*. Man ist versucht anzunehmen, daß das Thermalwasser in der Tiefe dieser Dislokationslinie folgt, dabei gipshaltige Horizonte antrifft und zuletzt den durchlässigen Malmkalk als Weg zur Oberfläche benutzt.

Die Therme von Vals besitzt ähnliche Eigenschaften. Es ist eine eisenhaltige Gipsquelle von 25,2 ° Temperatur. Das Thermalwaser entspringt aus dem Rötidolomit der verschuppten Grenzzone zwischen Adula-Kristallin und zugehöriger Bündnerschieferhülle.

Die Schüttung der alpinen Thermen, insbesondere der Akratothermen, ist im allgemeinen starken Schwankungen unterworfen. In Pfäfers ist der Ertrag nach schneearmen Wintern besonders klein *(L. de Launay,* 16). „Stärkere Schneeschmelze macht sich schon nach 3—8 Tagen bemerkbar" *(Alb. Heim,* 13).

Eine Besprechung schweizerischer alpiner Thermen muß notwendigerweise auch die Quellen von Baden berücksichtigen, obschon dieselben im Jura gelegen sind. *Alb. Heim* hat aus verschiedenen Gründen angenommen, daß

dieses Thermalwasser aus den Glarner Alpen stamme und unter dem Molasseland durch nach Baden fließe. Die Quellen entspringen im Limmattal, wo dieses die Lägern-Gewölbeverwerfung quer durchschneidet. Für die Herkunft aus weiter Ferne spricht nach *Alb. Heim* die große Verzögerung, mit welcher sich die monatlichen Niederschlagsschwankungen im Erguß bemerkbar machen. Nach den genauen Untersuchungen von Ingenieur *H. Peter*[1] (1922) beträgt diese Verspätung 10—12 Monate (nicht 1½—2 Jahre, wie man früher glaubte). Die Vermutung von *Fr. Mühlberg*, daß das Wasser der Thermen von Baden und Schinznach auf den Scherflächen der umgebenden jurassischen Region in den Boden eindringe, ist nach *Alb. Heim* unwahrscheinlich, da in diesem Fall die Niederschlagsschwankungen sich im Ertrag rascher bemerkbar machen sollten. Fr. Mühlberg stützte seine Ansicht durch die Feststellung, daß die Schüttungskurve der Thermen besser mit der Niederschlagskurve des benachbarten Juras als mit der alpinen übereinstimme. Fließt das Badener Thermalwasser durch den Muschelkalk unter dem Mittelland durch, so muß es bis in eine Tiefe von ungefähr 5000 m unter die Erdoberfläche gelangen, wo die Felstemperatur gegen 150° beträgt. Man könnte sich auch fragen, ob die Thermen von Baden nicht zu der SW—NE streichenden „Lienheimer Flexur" in Beziehung stehen, welche nach *A. Amsler* bis aufs Kristalline hinabreicht und die sich bis ins Tertiär hinein immer wieder bemerkbar machte. Diese Störungslinie variszischer Richtung kreuzt in der Gegend von Schinznach die Scherflächen der dem Jura „angeschobenen" Triasschuppen. Eine dieser Schubflächen dient als „Thermenlinie" von Baden-Schinznach.

---

[1] Expertenbericht an die Baudirektion des Kantons Aargau über die Thermalquellen in Baden, erstattet von *H. Peter*, Ing., Direktor der städtischen Wasserversorgung Zürich. 14. Januar 1922.

IV. Ostalpine Thermen.

Hier seien nur einige wichtige Vertreter besprochen. Zuoberst im Veltlin liegt die schon in altrömischer Zeit bekannte Therme von Bormio (38—40°). Neun Quellen mit zusammen 1000 bis 1200 ml Ertrag entspringen hier aus jenem mächtigen Dolomit- und Kalkzug der Ortlerzone, welcher zwischen dem zugehörigen „Braulio"-Kristallin im Liegenden und der Umbraildecke im Hangenden eingeschlossen ist. Das Thermalwasser entströmt über dem undurchlässigen Verrukano den basalen Lagen des Triasdolomits, dort wo die junge Adda sich in enger Schlucht durch diese Gesteine einen Weg geschaffen hat. Es liegt der auf Fig. 1 A dargestellte Fall einer „Isoklinalquelle" vor. Der von Gipslagern begleitete Dolomit wird nachgewiesenermaßen von unterirdischen Wasserläufen durchzogen. *M. Craveri* (5) beschreibt, wie der in der Nähe gelegene „Lago delle Scale" einen unterirdischen Ablauf zur Fonte d'Adda oder Bocca d'Adda genannten starken Felsquelle besitze. Wird dieser Seeabfluß durch Gesteinsmaterial verstopft, so bildet sich ein oberflächlicher Überlauf, was jeweils eine kleine Hochwasserkatastrophe verursacht. Durch ähnliche, den Berg durchziehende Wasserläufe werden wohl die Thermen von Bormio gespiesen. Das Tagwasser muß eine beträchtliche Tiefe erreichen, um auf 40° erwärmt zu werden. Der Mineralgehalt von 1,2417 bis 1,2626 g pro l besteht zur Hauptsache aus Calcium-, Magnesium-, Sulfat- und Hydrokarbonat-Jonen, was auf die Herkunft aus Gips- und Dolomit hinweist. Der Quellschlamm besteht zu 51,3 % aus Schwefel und 12 % organischer Substanz (sulfatreduzierende und Schwefelbakterien). Die außerordentlich hohe Radioaktivität des Wassers (wirksame Emanation = 419,8 Mache-Einheiten) läßt den Gedanken einer Zufuhr magmatischer Dämpfe nicht ohne weiteres von der Hand weisen; sichere Beweise dafür besitzen wir zurzeit nicht.

Mitten im tertiären Granitmassiv zwischen Veltlin und Bergell, N des Mte. Spluga, entspringt im Tale von Masino

die gleichnamige Therme (38 °). An gelöster Mineralsubstanz enthält das Wasser nur 0,5100 g. Weitaus vorwiegend ist unter den Bestandteilen Natriumsulfat (Glaubersalz) mit 0,296 g. Die in der alten, nach Salzen berechneten Analyse aufgeführten Stoffe, Fluorcalcium, Aluminium, Kieselsäure und Calciumphosphat, lassen darauf schließen, daß ein typisches Auslaugungsprodukt des Bergeller Granits durch Oberflächenwässer vorliegt. Es wäre verfehlt, diese Quelle mit postvulkanischen Erscheinungen in direkte Beziehung zu bringen.

Von Bormio müssen wir uns ostwärts bis an den Brenner begeben, um wieder eine bedeutende Therme anzutreffen. In den höchsten Lagen der penninischen Kalkphyllite entspringt einige Kilometer südlich der Paßhöhe, im tiefsten Einschnitt des Gebirges, die Akratotherme des Brennerbades (Temperatur 23,1 °, Thermalität 19 °, Mineralgehalt 0,439 g). Die quantitativ vorwiegenden Mineralbestandteile sind nach *W. von Gümbel* 0,175 Calciumkarbonat, 0,044 g Magnesiumkarbonat und 0,158 g Calciumsulfat (Gips).

Das Brennerbad liegt am Westrand des Tauernfensters, dieser langen Aufwölbung penninischer Schiefer und Gneise, welche allseitig von höheren Einheiten überlagert und umrahmt werden. Mit ziemlich starkem Axialgefälle tauchen alle Fenstergesteine gegen Westen ein, um erst im Unterengadin wieder zum Vorschein zu kommen. Zu *W. von Gümbels* Zeiten konnte man sich den plötzlichen Gesteinswechsel über das Brennertal weg nur durch Annahme einer Verwerfung erklären, welche man irrtümlicherweise mit der „Iudicarienlinie", einer tektonischen Störungslinie im südlicher gelegenen Wurzelgebiet in Zusammenhang brachte. Nichts war alsdann einfacher, als die Brennerbad-Therme als Verwerfungsquelle aufzufassen. Heute könnte man sehr wohl an eine Schichtquelle denken, welche an der Intersektion von Quellhorizont und Terrainoberfläche (Taleinschnitt) austritt.

Das Tauernfenster reicht vom Brenner bis in die Berge südlich Radstatt (im oberen Ennstal). Das W—E streichende weitgespannte Gewölbe der Fenstergesteine wird durch eine

Depression im Sonnblick- und Hochalmgebiet schwach zweigeteilt. In der Ostflanke dieser Einsattelung liegt das Vorkommen der Thermen von Gastein (Wildbad Gastein und Hofgastein). Die ungefähr 18 Quellen, welche unzweifelhaft Verästelungen eines großen Thermalwasserstranges sind, treten an der Gasteiner Ache aus, und zwar aus Klüften im Ankogelgneis. Der Ertrag beläuft sich auf ungefähr 3000 ml. Chemisch liegt ein schwach mineralisiertes Wasser vor, der Trockenrückstand wiegt 0,339 g pro l, wovon 0,208 g Natriumsulfat. Die Süßwasserquellen der Umgebung zeigen ungefähr dieselbe chemische Zusammensetzung in fünffacher Verdünnung; es sind weiche Wässer, typisch für kristallinen Untergrund.

Im Süden der Stadt Wien, wo die Kalkalpen plötzlich gegen das Wiener Becken abbrechen, entspringt eine Reihe von Thermen, von denen Baden-Wien (salinisch-erdig) und Vöslau (einfache Therme) genannt seien. *W. Petraschek* hat zuletzt beschrieben, wie am Abbruchrand des Wiener Beckens sowohl im Westen als Südosten (Leithagebirge) Thermen ausfließen. Dieser Autor vermutet, daß der Sulfat- und Schwefelwasserstoffgehalt des Wassers aus den tertiären Ablagerungen des „Schlier" stammen könnte, welcher allerdings in Nähe der Thermen nicht aufgeschlossen ist. Für die westliche Thermengruppe (Baden usw.) käme unter Umständen noch Warmwasserwirkung auf Trias mit Gips in Frage. Wenn auch die weiter südlich erfolgten Andesit- und Basaltdurchbrüche mit den oberwähnten vorobermiocänen Bruchbildungen in ursächlichem Zusammenhange stehen, so besteht doch allem nach kein zwingender Grund, die Thermen selbst als vulkanische Begleiterscheinungen aufzufassen.

Überblicken wir noch einmal die geologischen Verhältnisse der nunmehr kurz besprochenen wichtigeren alpinen Thermen, so zeigt es sich, daß jede geologische Einteilung derselben, sei es nach tektonischen oder stratigraphisch-lithologischen Gesichtspunkten, willkürlich, erkünstelt sein muß. Jede Quelle ist ein so kompliziertes, von hunderterlei Einflüssen abhängiges Ding, daß ihre Beurteilung nach einer

einzelnen Eigenschaft zwecklos wäre. So begnügen wir uns, einige häufigere Typen hervorzuheben: Bei vielen Thermen haben wir es mit „Schichtwässern" zu tun, welche erst in Nähe der Oberfläche zu Kluftquellen werden (Leuk, Pfäfers), seltener sind eigentliche Schichtquellen (Vals). In manchen Fällen ist das Auftreten von Thermal- und Mineralquellen an Stellen starken Axialgefälles der tektonischen Einheiten gebunden (Bognanco u. a. O.). Oft dient eine durchgreifende Verwerfung entweder als Entwässerungsweg oder zugleich noch als Wasserbehälter. Immer aber ist der Ort des Quellaustrittes gegeben als tiefster gemeinsamer Punkt von Terrainoberfläche und Wasserträger (Schicht, Kluft). Die Mehrzahl der ertragsreichen großen alpinen Thermen wird ausschließlich durch Oberflächenwasser gespiesen und steht in keiner Beziehung zu postvulkanisch-hydrothermalen Vorgängen. Dies hängt damit zusammen, daß die Zone vulkanischer Tätigkeit entsprechend dem fortdauernden Zusammenschub des Gebirges immer mehr ins Vorland hinein verschoben wurde. So treffen wir denn erst auf der Südseite der Dinariden, in den Euganeen bei Padua auf Thermen, die unzweifelhaft der hydrothermalen Phase der tertiären Rhyolith-Basaltergüsse zugehören. Die Temperatur dieser Wässer ist oft eine sehr hohe, z. B. in Abano 81,25° C. Auch hier ist natürlich der Großteil des geförderten Wassers Oberflächenwasser (Grundwasser), nur ein kleiner Teil vielleicht juvenilen Ursprunges.

V. Alpine Sauerquellen.

Wie durch Zufall entspringen fast alle schweizerischen Säuerlinge aus dem Bündnerschiefer (= Schistes lustrés der Franzosen), einige wenige nur aus stratigraphisch-äquivalenten Gesteinszonen. Aus diesem Grunde hat sich die Diskussion über die Entstehung solcher Wässer bei uns allzusehr an die politischen Grenzen gehalten, wobei allerdings die Schwierigkeiten zu berücksichtigen sind, in ausländischer Literatur einschlägige Angaben zu finden. Diesen Eindruck

erhält man auch bei näherer Prüfung der interessanten Arbeit von *Ad. Hartmann* (12), welche vor Jahresfrist erschien: „Die Entstehung der Mineralquellen von Tarasp-Schuls und der anderen Bündner Säuerlinge". Wir gehen kurz auf dieses Thema ein.

Zunächst gibt *Ad. Hartmann* eine willkommene Übersicht der bis dahin von geologischer und chemischer Seite vertretenen Auffassungen. *G. Theobald*, später *G. Nußberger* (21, 23) und *Chr. Tarnuzzer* führten die Entstehung der in bündnerischen Sauerwässern enthaltenen Kohlensäure auf Verwitterungserscheinungen zurück. Durch Zersetzung von Pyrit und anderen Kiesen entstünde Schwefelsäure, welche weiterhin durch Umsetzung mit Karbonaten die Kohlensäure der Quellen und Mofetten entwickelt. Diese Erklärungsweise trifft wohl da und dort zu — sie wird in allen Lehrbüchern erwähnt —, in Bergbauten ist diese Entstehungsart von Säuerlingen schon sicher beobachtet worden. Bei den bündnerischen Säuerlingen aber kann man sich wohl mit Recht fragen, ob nicht zumindest die Kohlensäure vulkanischen Ursprunges sei, wie *W. von Gümbel* schon vermutete.

Soweit sie die geologischen Verhältnisse betreffen, seien die hauptsächlichen Ergebnisse Ad. Hartmanns hier kurz wiedergegeben:

1. „Die Bündner Säuerlinge sind das einzige bis jetzt bekannte Beispiel einer durch den Deckenbau eines Gebirges bedingten Ablenkung vulkanischer Gase, die, wenn der Gasherd im Adamellogebiet liegen sollte, 50—80 km betragen sollte. Sie sind die einzige Stelle der Schweiz, wo heute noch Erscheinungen des tätigen Vulkanismus zu sehen sind."

2. „Für die Lage der Gasaustritte ist maßgebend: in erster Linie Gebirgsbau, gasdurchlässige Bündnerschiefer, überwölbt von gasundurchlässigen, mächtigen ostalpinen Decken mit einem Loch im Scheitel, [2] in zweiter Linie das Einfressen von Erosionsfurchen durch Bäche und Flüsse."

---

[2] Anmerkung. *Ad. Hartmann* nimmt an, daß die Quellaustritte von

3. „Die Bündner Säuerlinge sind eine zwar noch Jahrtausende anhaltende, aber geologisch doch rasch verschwindende Erscheinung. Stoffe, wie Borsäure, Chlor, Natrium und Arsenverbindungen werden heute nicht mehr aus der Tiefe zugeführt, und ihre kleinen Vorräte sind durch Auslaugung rasch aufgezehrt."

Diese Ausführungen können wir nicht ganz unbestritten lassen:

ad 1: Hartmann teilt die Bündner Mineralquellen in drei Gruppen ein:

I. Schwefelwasserstoffquellen (Alvaneu, Serneus u. a.) und Gipswässer (Bergün, Andeer, San Bernardino),

II. „erdige Eisenquellen mit einem teilweise beträchtlichen Kohlensäuregehalt, der aber doch nicht hinreicht, um die Quelle zu einem eigentlichen Säuerling zu machen". Beispiele: Peiden im Lugnez, Rhäzüns, Rothenbrunnen, Tiefenkastel. Die Kohlensäure dieser Quellen entsteht nach *Ad. Hartmann* durch Pyritverwitterung.

III. Eigentliche Säuerlinge mit 1,5—2,7 g freier Kohlensäure im kg Wasser. Beispiele: Schuls, St. Moritz, Passugg, Fideris. Die Kohlensäure dieser Wässer soll vulkanischen Ursprunges sein.

Diese Einteilung der bündnerischen Mineralquellen scheint uns nicht ganz richtig zu sein, und zwar aus folgenden Gründen: Jedes Mineralwasser beliebiger Zusammensetzung kann durch Aufnahme von Kohlensäure (vulkanische oder nicht) zum Säuerling werden. Es ist wissenschaftlich unbegründet, die Säuerlinge als besondere Mineralwasserklasse aufzufassen. Es besteht kein zwingender Grund, die unter II. genannten Eisensäuerlinge mit beträchtlichem Kohlensäuregehalt als ganz anderer Art den „eigentlichen Säuerlingen" (III.) gegenüberzustellen. Übrigens verwickelt sich *Ad. Hartmann* in einen unlösbaren Widerspruch, wenn er an anderer Stelle (S. 286) die Kohlensäure der unter II. als

---

Säuerlingen im allgemeinen auf Antiklinalscheiteln stattfinden. Der Einfachheit halber bezeichnen wir diese Theorie als „Gasometertheorie".

nicht „eigentliche Säuerlinge“ angeführten Quellen des Domleschg und Lugnez (Rothenbrunnen, Rhäzüns und Peiden kommen in Frage) als „magmatisch“ vermutet. Dies zeigt deutlich, wie wenig angezeigt es ist, den nun einmal allgemein gebräuchlichen Grenzwert 1 g freie Kohlensäure pro kg Wasser, von welchem an die Bezeichnung Säuerling verwendet wird, auf 1,5 g zu erhöhen. Die Heraufsetzung dieses Grenzwertes und die damit verbundene Zusammenfassung einer Anzahl mittelbündnerischer und Engadiner Mineralquellen zu einer Gruppe geht Hand in Hand mit der unrichtigen Ansicht *Ad. Hartmanns*, daß das Auftreten der eigentlichen Säuerlinge mit der Verbreitung ostalpiner Schubmassen in Zusammenhang gebracht werden müsse. Die weit von jeder ostalpinen Schubmasse entfernten Säuerlinge von San Bernardino (Graubünden) und Courmayeur (bei Aosta) mit 1,6 bezw. 1,55 g freier Kohlensäure gehören mit demselben Recht zu den „eigentlichen Säuerlingen“ wie z. B. diejenigen von St. Moritz.

ad 2. Weiterhin ist die Hypothese, daß der Bündnerschiefer gasdurchlässig (aber wasserundurchlässig), die ostalpinen Gesteine aber infolge wassererfüllter Klüfte gasundurchlässig seien, nicht richtig. Erstens einmal sind im Bündnerschiefer nur ganz bestimmte Lagen — vor allem der Bündnerschieferflysch und auch dieser nicht durchwegs — undurchlässig. Die älteren, mesozoischen Bündnerschiefer aber, aus welchen die meisten Säuerlinge entspringen, sind ziemlich kalkhaltig und deshalb wasserführend. Treten diese Gesteine zwischen kristallinen Felsarten auf, so funktionieren sie unfehlbar als Wasserträger (Simplontunnel u. a. O.). Sind sie gar, was oft vorkommt, mit triasischen Gesteinen vergesellschaftet, so trifft dies für beide zusammen erst recht zu (Mineralquellen von San Bernardino, Vals usw.). Es kommt somit immer auf die relative, nicht auf die absolute Durchlässigkeit an; ein mächtiger Kalkklotz kann sehr wohl undurchlässig sein, derselbe Kalk aber, zwischen Mergellagen eingebettet, als Wasserhorizont dienen.

Die wasser*un*durchlässigen Bündnerschiefer aber sind allem nach auch ebenso gas*un*durchlässig, was sich bei Druckversuchen im Stollen des Kraftwerkes Klosters-Küblis deutlich zeigte. Die unter zirka 6 Atmosphären Druck durch die Betonrisse in den Fels verdrängte Luft strömte nach Beendigung der Versuche wie das Wasser wieder in den Stollen zurück.

Wenn die „Gasometerhypothese" zuträfe, müßten alle Sauerquellen von *Ad. Hartmanns* Gruppe III zwischen wasserdurchlässigem Ostalpin und wasserundurchlässigem Penninikum ausfließen. Die tatsächlichen Verhältnisse sind einfachere und andere. Die sehr ergußreichen Arsensäuerlinge von Val Sinestra entspringen mindestens 1000 m tief unter dem Ostalpinen im Bündnerschiefer, die Quellen von Passugg ebenfalls. Fideris ist mitten im Flysch-Halbfenster des Prätigau gelegen. Die wasser- und zugleich gasführenden Gesteinslagen sind in allen solchen Fällen zwischen weniger durchlässige Schiefer eingeschaltet.

ad 3. Chlor stammt wohl in den meisten Fällen mit einer äquivalenten Menge Natrium aus triasischen Gesteinen. Darüber hinaus vorhandenes Natrium kann aus mesozoischen Schiefern, aus Altkristallin und anderen Felsarten herrühren (Kaolinisierung) und als Natriumhydrokarbonat in Lösung gegangen sein. Solange der Nachweis nicht geleistet ist, daß benachbarte Rauhwacken- und Gipsvorkommnisse in einiger Tiefe kein Kochsalz enthalten, ist dessen vulkanischer Transport fraglich. Das reichliche Auftreten von Borsäure, Ammoniak und Arsen spricht nur für vulkanische Herkunft ebendieser Stoffe; die diesbezüglichen Erhebungen sind noch nicht endgültige (s. weiter unten).

Dem Petrographen steht auch die endgültige Entscheidung darüber zu, ob die Kohlensäure der Großzahl alpiner Säuerlinge nicht durch Gesteinsmetamorphose in größerer Tiefe frei wird, d. h. durch Austreiben aus Kalkgestein unter Silikatbildung. Die Tatsache, daß einerseits die penninischen und ostalpinen Sedimente in ungewöhnlich große Tiefen (nach *R. Staub* über 20 km) hinabreichen, anderseits durch

fortdauernde orogenetische Bewegungen die ausschlaggebenden Faktoren Druck und Temperatur stetiger Veränderung unterworfen sind, läßt eine solche Erklärungsart nicht ohne weiteres hinfällig werden. Ein Transport von Mineralbestandteilen aus weitabgelegenen „vulkanischen" Gebieten (Bergell, Adamello usw.) würde sich in diesem Falle erübrigen.

Nach Besprechung dieser zurzeit schwebenden Fragen sollen einige Vertreter west- und ostalpiner Säuerlinge kurz beschrieben werden. Einige allgemeine Feststellungen mögen vorausgehen.

Weitaus die Mehrzahl der Mineralquellen sind aufsteigende Quellen, d. h. ihr Wasser sickert relativ langsam bis auf den Wasserträger ein, um alsdann durch denselben rascher aufzusteigen. Die Thermen mit großer Schüttung kann man nicht gut — wie dies *C. W. von Gümbel* getan hat — als absteigende Wässer betrachten; der große Ertrag und die gleichzeitig hohe Temperatur können nur bei Annahme größerer Wasserspeicher in ansehnlicher Tiefe anhalten.

Nach *de Launay* ist der im tiefstgelegenen Abschnitt eines Thermensystems vorhandene hydrostatische Druck abhängig 1. von der Differenz des Gewichtes der absteigenden kalten Wassersäule und der aufsteigenden warmen Säule, 2. von der Gasexpansionskraft (Kohlensäure der Säuerlinge), 3. von der Kapillarwirkung in allen engen Wasseräderchen.

Was den Einfluß der Mineralisation auf das spezifische Gewicht anbelangt, so wird dasselbe durch gelöste Salze erhöht, durch gelöste Gase erniedrigt.

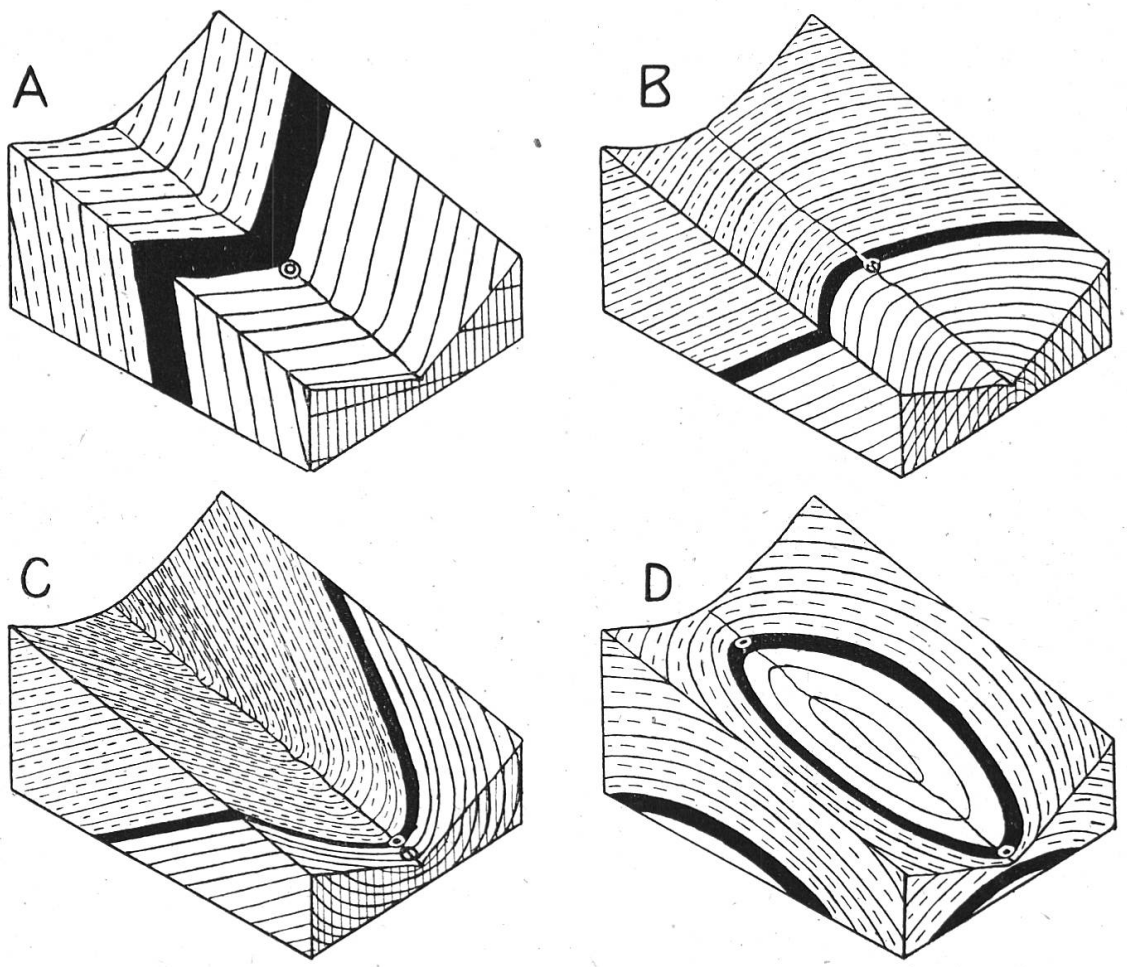


Fig. 1. **Schichtquelltypen.**
A. Isoklinalquelle (Beispiele: Courmayeur, Bormio).
B. Antiklinalquelle.
C. Synklinalquelle (Bognanco).
D. Kuppelquelle, unter Umständen = Fensterquelle (Crodo, Tarasp).
schwarz = Wasserträger = durchlässigere Schicht.

Der gegenüber benachbarten Wasserläufen vorhandene Überdruck im Mineralquellsystem verhindert in erster Linie eine starke Durchmischung mit Tagwasser.

Wie alle Mineralquellen, so sind auch die Sauerwässer in ihrem Auftreten nicht an bestimmte tektonische Stellen (z. B. an Antiklinalscheitel) gebunden. In Antiklinaltälern treten bei geneigter Faltenachsenlage „Antiklinal-Quellen"

aus (Fig. 1 B), in Synklinaltälern „Synklinal-Quellen" (Fig. 1 C), in Quertälern in isoklinal einfallendem Gebirge finden sich „Isoklinal-Quellen" (Fig. 1 A). Da sich die Erosion oft keineswegs um den tektonischen Bau kümmert, ist oft ein Zusammenhang zwischen Quellaustritt und Tektonik nur mühsam herauszufinden. Die auf Fig. 1 dargestellten Beispiele stellen Normalfälle dar, die keiner langen Erläuterung bedürfen. Beim Synklinaltyp fließt das Wasser in einem schüsselförmigen Wasserträger, wobei — um den Vergleich durchzuführen — nicht die Schüssel von Wasser erfüllt ist, sondern ihre hohle Doppelwandung. Beim Antiklinalfall hat man sich diese Schüssel umgekippt vorzustellen.

Sauer- und Thermalquellen im Vorland.

Bei Aix-les-Bains zweigt der Jura von den Alpen ab. Der Verlauf der Juraketten wird bestimmt durch die nördlich vorgelagerten alten hercynischen Massive und die Unebenheiten des kristallinen Untergrundes. Alte Störungen in demselben ließ die alpine und Jurafaltung wieder aufleben. Als solche reaktivierte Dislokationslinien muß man nach *W. Deecke* u. a. auch die Bruchlinien beidseitig des Rheintalgrabens auffassen, welche sich bis tief in den Jura hinein bemerkbar machen. Die jungtertiäre Grabenbildung zwischen Vogesen und Schwarzwald war von starken vulkanischen Ausbrüchen begleitet (Kaiserstuhl u. a. O.). Es ist deshalb naheliegend, die Bildung der elsässischen und badischen Thermal- und Sauerwässer mit vulkanischen Vorgängen in Zusammenhang zu bringen. In einer sehr anregenden Schrift hat dies *P. Keßler* 1927 (15) versucht. Die oberrheinischen Mineralquellen sind nach diesem Autor als Enddifferentiationsprodukte des Magmas zu betrachten, welches durch die alpine Gebirgsbildung nach dem Vorland abgedrängt wurde. Die Mehrzahl der im Wasser gelösten Stoffe (Cl, Br, J, Li, As usw.) werden als Abkömmlinge des Magmas betrachtet. *P. Keßler* weist darauf hin, daß die Quellen aus salzleeren Gesteinen (gemeint sind natürlich leichtlösliche Salze) austreten und schon deshalb vulkanischer Natur sein müssen.

Als Kennzeichen für teilweise magmatische (juvenile) Herkunft eines Mineralwassers gelten nach P. Keßler: 1. ein beträchtlicher Fluorgehalt; 2. eine große Menge Arsen; 3. mehr als O, 13 g H_2SiO_3; 4. mehr als ¼ g freies Kohlendioxyd. — Freier Stickstoff soll weder für vadose noch für juvenile Wässer charakteristisch sein. Im Bereiche des Vogesen-Abbruchrandes liegen u. a. die Thermal- und Mineralquellvorkommen: Dürkheim (Kochsalzquelle, 1,645 g freies CO_2), Bergzabern (Schwefelquelle), Niederbronn (Kochsalzquelle, 18°), Gebolsheim (sulfatische Kochsalzquelle, 0,3 g CO_2), Sulzbad (sulfatische Kochsalzquelle, 14°), Rappoltsweiler (salinisch-sulfatische Bitterquelle, 16°, mit 0,287 g freiem CO_2), Sulzmatt (alkalische Quelle mit 1,835 g freiem CO_2) usw.

Am Schwarzwald- und Odenwald-Rand entspringen: die 1914—18 neuerbohrte Sol-Therme von Heidelberg, Rothenfels (Kochsalzquelle, 19,3°, 0,10 g CO_2), Baden-Baden (Kochsalztherme, bis 68°), Badenweiler (einfache warme Quelle, 26,4°).

Gehen wir noch weiter ins Vorland hinaus, so treffen wir überall auf Thermen und Säuerlinge, die mit jungen vulkanischen Gesteinsvorkommen in ursächlichem Zusammenhange stehen, in Böhmen (Karlsbad), in der Eifel, im Taunus und Westerwald. Die Quellen des Plateau central hat *L. de Launay* (16) ausführlich beschrieben. Wir finden in diesem letzteren Gebiete Thermen, welche unzweifelhaft magmatische Stoffe fördern. So die Quelle von Bourbon l'Archamboult (Temp. = 53°, 0,37 g freies CO_2 p. l.), aus einem Quarzgang entspringend, welcher Baryt, Strontianit, Flußspat und Zinkblende führt. Die salinischen Thermen von La Bourboule (60° C., 0,37 g NaCl) und Mont Dore (44° C., 3,15 g NaCl) treten an einer pliozänen Bruchlinie aus, in nächster Nähe von Auvergne-Vulkanen. Die Sauerquellen von Royat bei Clermont-Ferrand weisen bei einer Schüttung von 1000 ml eine Temperatur von 34,2° und einen Gehalt von 1,39 g freiem CO_2 pro kg Wasser auf. Sie sind nur ein Beispiel von vielen Säuerlingen. Auch Mofetten sind in diesem Gebiet häufig.

Mit verschiedenen anderen Forschern nimmt *de Launay* an, daß das Wasser dieser Sauerquellen vados, die Kohlensäure magmatischen Ursprunges sei.

Säuerlinge in den Westalpen.

Wir beginnen mit der Einzelbesprechung im Westen:

1. **Borgofranco bei Ivrea** (W Novara, Italien). Dieser arsenhaltige Säuerling entspringt auf der Grenze zwischen den kristallinen Schiefern der Sesiazone und der „Serie dioritico-kinzigitica", d. h. zwischen penninischer und unterostalpiner Wurzelzone. Die Nähe des jungen, spät- oder postalpinen Dioritstockes von Traversella läßt vermuten, daß der Gehalt an freier Kohlensäure hydrothermalen Ursprunges sei. Andererseits könnte man gerade angesichts der Kieslagerstätten von Traversella, welche im Kontakthof des Biotit-Amphibol-Diorites auftreten, an eine Entstehung durch Kiesverwitterung denken. Nur eine petrographische Untersuchung kann hier Klarheit schaffen.

Das Mineralwasser ist ein schwach mineralisierter Arsen-Eisensäuerling mit 1,670 g freiem CO_2 pro kg Wasser.

2. **Courmayeur bei Aosta.** Zwischen Entrèves im Val di Ferret und Pré St-Didier durchbricht die Dora Baltea, in einem typischen Quertal fließend, folgende Gesteinszonen: a) die mesozoischen Kalke und Schiefer der helvetischen Wurzelzone östlich des Montblancmassives, b) den Porphyrzug des Mont Chétif, welcher auch im Hangenden von einer mesozoischen Kalkzone begleitet wird, c) eine Zone von Triasdolomit, -rauhwacke und -gips, d) die mächtige Schistes-lustrés-Zone (Kalkschiefer mit Dolomitbreccien) von Sion, d. i. die Unterlage der Bernhard-Decke. An diesem natürlichen Querschnitt entspringen die nach dem Hauptort benannten Quellen von Courmayeur, zwischen jurassischen Schiefern und Porphyr die „Acqua sulfurea La Saxe", weiter talabwärts aus dem Triaszug drei erdige Sauerwässer, allem nach Verdünnungsgrade ein- und desselben Wassers darstellend. Die Quelle „La Saxe", welche nicht aus der Trias fließt, enthält, wie zu erwarten ist, be-

deutend weniger Calciumsulfat. Der Schwefelwasserstoff wird nachgewiesenermaßen erst oberflächlich durch sogen. sulfatreduzierende Bakterien erzeugt.

Die Analyse der gehaltreichsten Quelle „Vittoria" (gegenüber Courmayeur) lautet nach Prof. *Issoglio* (1923):

Kationen		*Anionen*	
Kalium-Ion	0,0089	Chlor-Ion	0,1078
Natrium-I.	0,1078	Sulfat-I.	1,4032
Lithium-I.	0,0018	Hydrophosphat-I.	0,00035
Calcium-I.	0,8344	Hydrokarbonat-I.	1,8261
Magnesium-I.	0,1214	organische Substanz	0,0183
Ferro-I.	0,0024	freies Kohlendioxyd	1,5529
Aluminium-I.	0,00048	Sauerstoff	0,0004
		Stickstoff	0,0053

Summe der gelösten Bestandteile (g pro kg) 6,0356

Die Wassertemperatur beträgt 14°; es liegt eine subthermale Quelle vor.

Im benachbarten Pré St-Didier entspringt aus den Bündnerschiefern (Schistes lustrés) eine schwache Glaubersalz-Eisentherme (34 und 35° C.).

3. **St. Vincent im Aostatal.** In nächster Nähe von Châtillon entspringt in einem nördlichen Seitentälchen ein Glaubersalz-Säuerling. Die Grüngesteine der Schieferhülle zwischen Monte-Rosa-Decke und Dent-Blanche-Decke bilden den örtlichen Untergrund. Im nächstöstlichen Seitental kommen die Gneise der Monte-Rosa-Decke im Fenster von Arcesa zum Vorschein. Nach der von *E. Mattirolo* und *V. Novarese* aufgenommenen geologischen Karte (3, Nr. 29) wird dieses Fenster im Norden von einem Bruch abgegrenzt, welcher in der Richtung gegen St. Vincent verläuft, aber nicht bis dort verfolgt werden konnte. Wir wissen deshalb nicht, ob die Quelle an dieser Störung entspringt.

Nach Ing. *Nuvoli* (1894) enthält das Wasser folgende wichtigere Bestandteile:

Natriumchlorid NaCl	1,975 g	in 1 l
Natriumsulfat (Glaubersalz) Na_2SO_4	1,570	
Natriumhydrokarbonat $Na(HCO_3)$	3,573 (!)	
Calciumhydrokarbonat $Ca(HCO_3)_2$	0,570	
Magnesiumhydrokarbonat $Mg(HCO_3)_2$	1,724	
Eisenhydrokarbonat $Fe(HCO_3)_2$	0,017	
freie Kohlensäure CO_2	0,726	

Es handelt sich somit um einen erdigen salinisch-muriatischen Säuerling mit höherem Glaubersalzgehalt als Karlsbad. Der Glaubersalzgehalt rührt wohl von Oxydationsprozessen her, bei welchen Schwefelsäure auf Grünschiefer einwirkte.

4. **Bognanco** und **Crodo,** westlich und nördlich Domodossola. Die erdigen Säuerlinge von Bognanco (13° warm, mit 1,4 g freiem CO_2 pro l) entspringen in der Bognaschlucht, eine Stunde westlich Domodossola, wo mit der Zeit ein großer Kurort entstanden ist.

Es handelt sich um eine „Synklinal-Quelle" (Fig. 1 C). Auf Fig. 2 sind die geologischen Verhältnisse nach der geologischen Aufnahme von *A. Stella* (3, Nr. 15) etwas schematisiert wiedergegeben. Die tektonischen Einheiten streichen hier, eine Mulde bildend, axial steil gegen E in die Luft aus, zuerst die Monte-Leone-Decke, dann die Bernhard- und Monte-Rosa-Decke mit ihren Schieferhüllen. Allem nach dienen die trennenden mesozoischen Schiefer zwischen Bernhard- und Monte-Leone-Decke als Wasserträger; an dessen tiefstem aufgeschlossenen Punkt, in der Bognaschlucht, treten die Quellen aus.

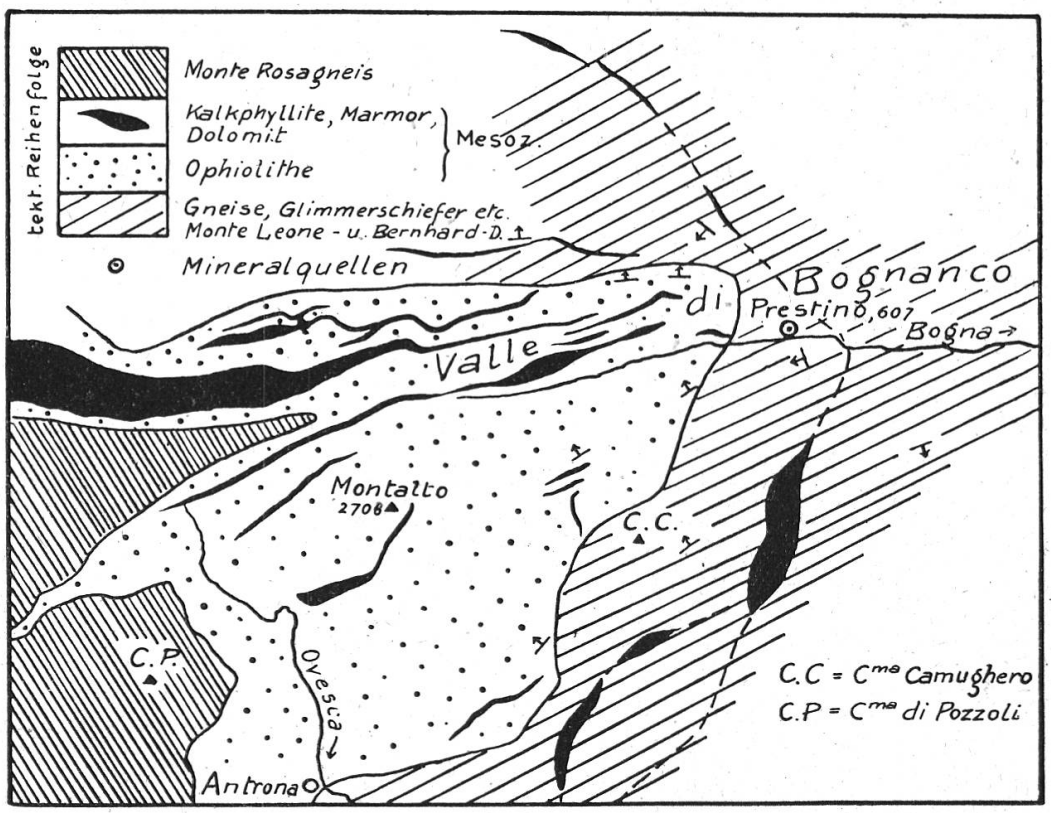


Fig. 2.

Geologische Skizze von Bognanco und Umgebung. Nach der geologischen Karte Italiens 1 : 100 000, Blatt Domodossola, aufgenommen von A. Stella und V. Novarese. Tektonik nach E. Argand.

Da das Tocetal nördlich Domodossola mit einer Deckenkuppel zusammenfällt, ist es begreiflich, daß die Deckenmulde oder der „Löffel" von Bognanco jenseits östlich der Tocekulmination wieder in Form eines Gegenlöffels seine Fortsetzung findet. *H. Preiswerk* und *O. Grütter* (25) haben denselben in der Gravalenamasse westlich der Valle Maggia festgestellt. Hier findet sich das genaue geologische Gegenstück der Quellen von Bognanco in der Therme von Craveggia. Chemisch stimmen die Wässer nicht überein, schon weil sie aus verschiedenartigem Gestein entspringen.

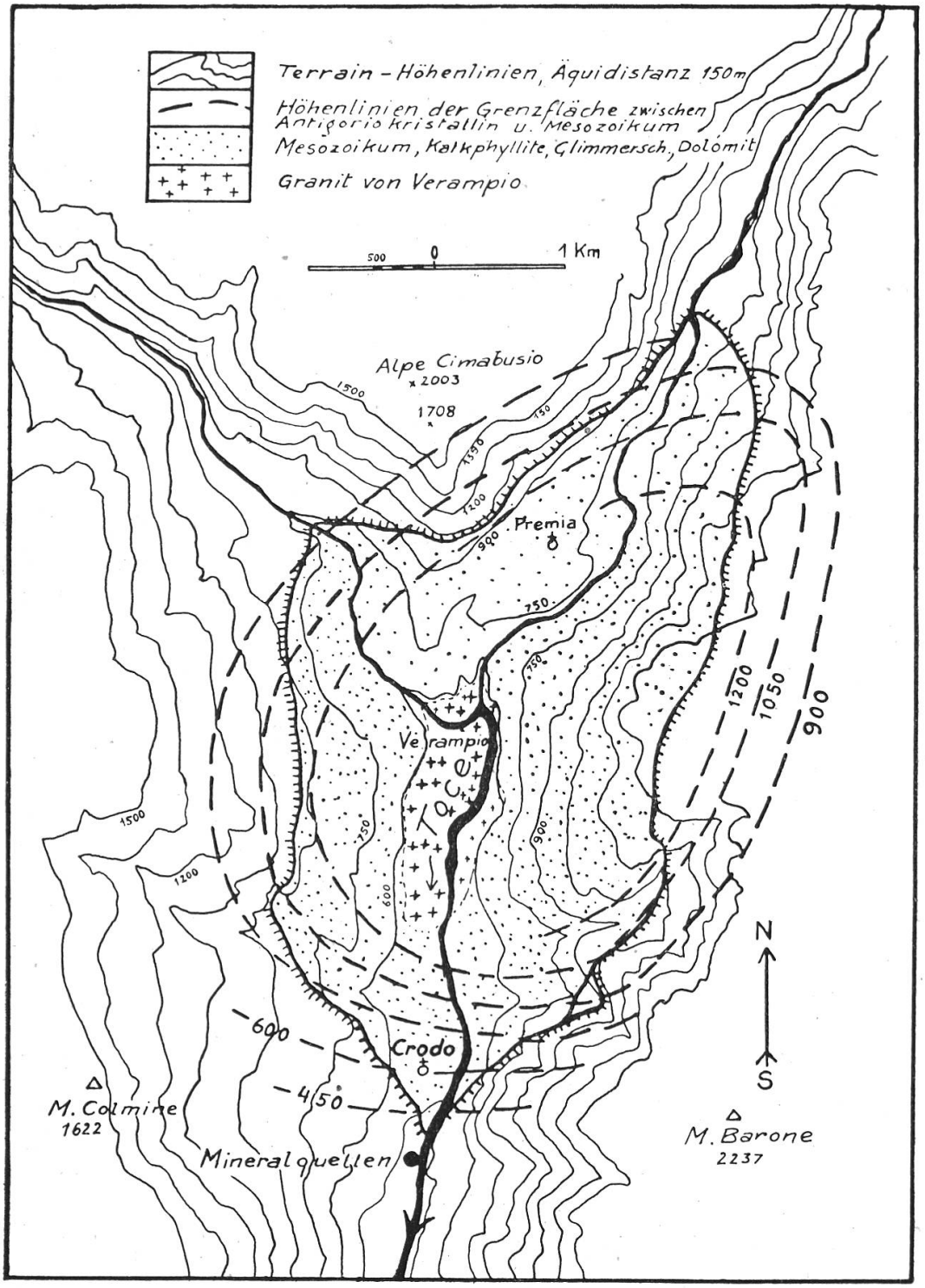


Fig. 3.
Geologisch-tektonische Kartenskizze des Fensters von Crodo-Verampio (zugleich Deckenkuppel). Das Antigoriokristallin bildet den Fensterrahmen; es ist in obiger Figur ohne Signatur gelassen.

Es ist ein hübsches Zusammentreffen, daß auch im Bereiche der Tocekulmination eine Mineralquelle auftritt. Durch den Toce ist die Deckenkuppel tief angeschnitten worden, so daß in ihrem Innern der Granit von Verampio, das tiefste tektonische Element der ganzen Region, in einem Fenster zum Vorschein kommt. Darüber liegen zunächst mesozoische Granatphyllite, dann triasische Dolomite und Rauhwacke, welche als Wasserhorizont und Hauptlieferanten der gelösten Mineralsubstanz anzusprechen sind. Die Mineralquellen von C r o d o entspringen an der tiefstangeschnittenen Stelle des Quellhorizontes, zirka 1 km S Crodo am Toce. Von den als Eisensäuerlingen bezeichneten Wässern (4) stehen keine neueren Analysen zur Verfügung.

Auf Fig. 3 sind die geologischen Verhältnisse so gut als möglich schwarz-weiß wiedergegeben. Die Höhenlinien der Grenzfläche Triasdolomit-Antigoriogneis geben ein Abbild der in ihrer Lage dem allgemeinen SW-NE-Streichen angepaßten Kulmination. Wie schon *E. Argand* auf seiner tektonischen Karte der Westalpen 1911 annimmt, ist eine Verbindung des mesozoischen Fensterinnern von Crodo-Verampio mit den Schiefern im oberen Deverotal, wie sie die italienische und schweizerische Spezialkarte angeben, räumlich unmöglich.

5. **Der Säuerling von Alpe Veglia.** Diese Mineralquelle entspringt zuoberst und zuhinterst im Talkessel der Cairasca N Varzo (an der Südrampe der Simplonlinie). Auch hier befinden wir uns im Bereiche der penninischen Decken und damit der Bündnerschiefer. Steil fällt hier die Unterfläche des Monte-Leone-Kristallins nach NW ein, und ziemlich genau an der tiefstanerodierten Stelle dieser Fläche (zirka 1780 m) tritt über Bündnerschiefer und Trias die Mineralquelle aus, ein subthermaler (13 ° C.), eisenhaltiger erdiger Säuerling mit 1,486 g freiem und halbgebundenem Kohlendioxyd pro kg. Der Geologe *G. Spezia* hat 1887 angenommen, daß das gelöste Calciumsulfat aus der im Liegenden der Quelle befindlichen Rauhwacke stamme und daß die

Kohlensäure infolge Pyritverwitterung durch Schwefelsäure-wirkung entstehe.

Von den unter 1 bis 5 genannten Quellen entspringen alle mit Ausnahme derjenigen von Borgofranco aus meso-zoischen Gesteinen. Die Kalkschiefer und Ophiolithe sowie die zugehörige Trias liefern den Großteil der gelösten Mi-neralsubstanz, Calcium-, Natrium-, Magnesium-, Sulfat- und Chlor-Ionen stammen sicher aus diesen Sedimenten und den mit ihnen vergesellschafteten Grüngesteinen. Es herrscht im großen Ganzen Übereinstimmung mit den bündnerischen Säuerlingen; die Wässer westlich und östlich des Gotthard sind von ähnlicher chemischer Zusammensetzung und in ihrem geologischen Auftreten übereinstimmend.

6. **Die Therme von Acquarossa** im Bleniotal führt eisen-haltiges Bitterwasser mit ziemlich hohem Gehalt an Bitter-salz (Magnesiumsulfat). Sie entspringt aus Schuttablagerun-gen des Talbodens und ist unzweifelhaft mit triasischen Sedimenten an der Basis der Simanodecke in Zusammen-hang zu bringen. Die Quelle führt 0,37 g freies Kohlendioxyd und könnte deshalb wohl noch als schwacher Säuerling be-zeichnet werden.

7. **San Bernardino im Misox.** Auf der Ostseite des Dorfes San Bernardino entspringt ein erdiger Eisensäuerling, ähn-lich zusammengesetzt wie derjenige von Acquarossa; der Mineralgehalt verrät deutlich die Beschaffenheit der durch-flossenen Gesteine. Die Quelle entspringt aus einem Sedi-mentzug, welcher an der Basis Rauhwacke und Gips führt und der in nächster Nähe von San Bernardino durch die „Colmagna" angeschnitten wird. Die Mineralquelle liegt allerdings nicht in der Schlucht, sondern einige Schritte süd-lich derselben, was prinzipiell belanglos ist.

Es hätte keinen Zweck, hier alle bündnerischen Säuer-linge zu besprechen, welche von *G. Nußberger* (23) ebenso eingehend als gründlich beschrieben wurden. Man trifft immer wieder auf ähnliche chemische und geologische Ver-hältnisse.

8. Die Quellen von P e i d e n liegen dort, wo der zwischen Lugnezerschiefern im Liegenden und Tomül-Lappen der Adula-Decke (ebenfalls mesozoische Schiefer) eingeschaltete Triaszug das Tal des Glenner schief überquert. Die Temperatur dreier Quellen, welche zugleich erdige Eisensäuerlinge und sulfatische Bitterquellen sind, beträgt 8,7°, 15,2° und 14,8° C., der Gehalt an freiem Kohlendioxyd 1,21 g, 0,98 und 0,68 g auf das kg Wasser.

9. Über die geologische Lage der Säuerlinge von R o t h e n b r u n n e n (16,5° C., 0,26 g freies CO_2), R h ä z ü n s (17,8° C., 1,08 g freies CO_2) und T o m i l s (über 1 g freies CO_2), welche am Ausgange des Domleschg beidseitig des Hinterrheines entspringen, sind wir mangels neuerer Aufnahmen nur schlecht unterrichtet. Sie scheinen im Hangenden mächtiger massiger Sandkalke des Bündnerschiefers auszutreten. Die genauere praktische Bezeichnung für die Wässer lautet: Rothenbrunnen: erdig-alkalisches Jod-Eisenwasser, Rhäzüns: erdig-alkalischer, schwach salinischer Säuerling, Tomils: erdiger Eisensäuerling.

10. Die Quelle von S o l i s an der Albulalinie entspringt auf der linken Seite der Albulaschlucht, hart am Flusse. Einige hundert m weiter flußaufwärts quert die senkrecht einfallende Trias (Gips u. a. m.) des Fensters von Solis-Tiefenkastel das enge Tal. In der nach wahrscheinlich vorhandenen Salzen berechneten Analyse führt *G. Nußberger* (23) folgende quantitativ hervortretende Hauptposten an: 2,091 g Natriumsulfat, 1,169 g Chlornatrium, 1,253 g Calciumhydrokarbonat, 0,4355 g Magnesiumhydrokarbonat sowie 0,761 g freies Kohlendioxyd per kg Wasser. Es besteht wohl kein Zweifel, daß das Chlornatrium und Calciumsulfat aus dem Gipshorizont und der Rauhwacke, das Magnesium- und Calciumhydrokarbonat zum guten Teil aus Triasdolomit und Rauhwacke stammen.

Der Säuerling von T i e f e n k a s t e l ist von ähnlicher Zusammensetzung und entspringt in der entgegengesetzten Ecke des Fensters, wo die Albula in dasselbe hineinfließt. Quellgeologisch haben wir es bei Tiefenkastel-Solis mit

einem Abbild des Unterengadiner Fensters zu tun (s. unten, Abschnitt 12, vgl. auch Fig. 1 D).

11. **Die Säuerlinge der Umgebung von Chur: Passugg, Sassal, Castiel.** Aus den Bergen unmittelbar nordöstlich der Stadt Chur verläuft eine weitgespannte Bündnerschiefer-Antiklinale gegen die Davoser Weißfluh hin. Gegen das Plessurtal fallen die Schichten dieses „Hochwanggewölbes" ziemlich steil ein, am Strelapaß sogar senkrecht und nach Norden überkippt. Südlich der Plessur wird das Einfallen flacher. Die Zone des ziemlich unvermittelten Knickes zwischen stärkerem und schwächerem Einfallen vertritt tektonisch die Stelle einer Synklinale; in den höheren unterostalpinen Decken ist eine solche auch wirklich vorhanden. In dieser Synklinalzone tritt eine ganze Reihe von Säuerlingen aus. Von Chur her kommend trifft man zuerst auf die Quellen von Sassal, welche in der Plessurschlucht, einige 10 m über dem Fluß, nördlich desselben, entspringen. Ebenfalls auf der rechten Talseite, beim Dorf Castiel, entspringt der gleichnamige Säuerling in einem tiefen Tobel, unweit von dessen Mündung in die Plessur. Die Wässer von Passugg treten an der von Süden der Plessur zufließenden Rabiusa aus. An all den genannten Orten befindet man sich tief unter den ostalpinen Schubmassen, im Penninikum. Den ostalpinen Decken kommt somit weder eine Rolle als Wasserstauer noch als Wasserträger zu. Teilantiklinalen, welche, wie *Ad. Hartmann* (12) vermutet, mit dem Auftreten der Quellen zusammenhängen könnten, gibt es hier nicht; die „galoppierende Fältelung" des Schiefers ist überall vorhanden. Die Mineralquellen von Passugg entspringen, wie ich schon 1921 auf Blatt A der Geologischen Karte von Mittelbünden angab, aus quer zum Tal verlaufenden Klüften.

Die Quellen von Sassal entspringen bedeutend tiefer im Schiefer, sie weisen einen ganz anderen Chemismus als Passugg und Castiel auf, indem sie nur minime Mengen Natrium, Chlor und Sulfat enthalten gegenüber 0,68 bis 2,042 g Natrium mehr Chlor und Sulfat in den drei stärkeren

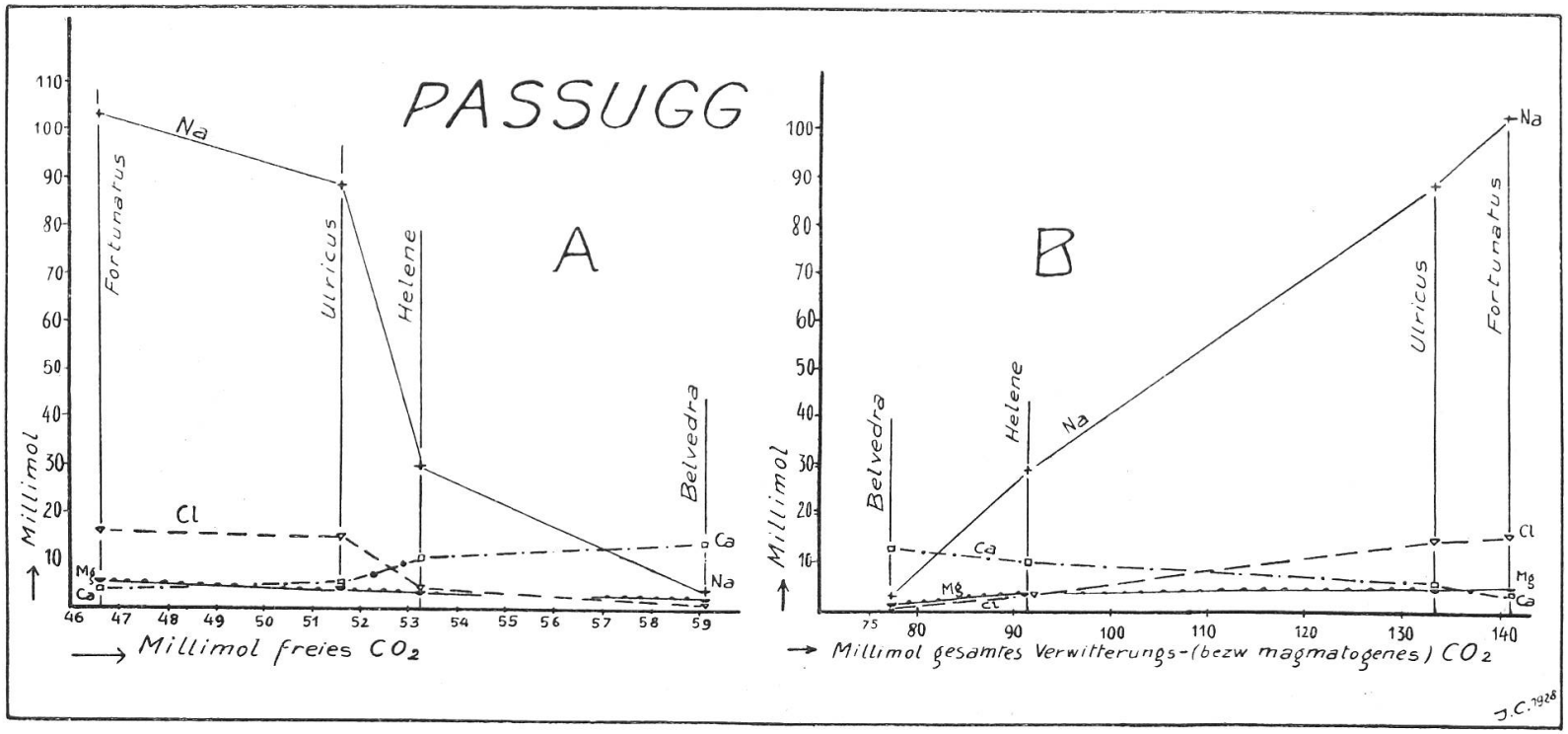


Fig. 4.

Die quantitativ vorwiegenden Bestandteile der Passugger Sauerquellen in ihrem Verhältnis zum Kohlensäuregehalt.

Quellen von Passugg. Die Bezeichnung der Wässer ist nach *G. Nußberger* folgende:

Sassal: erdige Eisensäuerlinge;
Passugg: z. T. alkalische, schwach muriatische Säuerlinge, die Belvedraquelle ein erdiger, leicht alkalischer Säuerling;
Castiel: alkalischer Säuerling mit schwach muriatisch-salinischem Charakter.

Das Natrium dieser alkalischen Quellen ist größtenteils durch Einwirkung von Kohlensäure auf den Schiefer (welcher einige Prozent Alkalien enthält) als Natriumhydrokarbonat in Lösung gegangen.

(Siehe Figur 4, Seite 33.)

Die Tatsache, daß die bündnerischen Säuerlinge einerseits gruppenweise auftreten, anderseits die Wässer ein- und derselben Gruppe untereinander große Gehaltsdifferenzen aufweisen, ließ es wünschbar erscheinen, die Salzgehalte irgendwie graphisch darzustellen. Auf Fig. 4 A sind beispielsweise für das Vorkommen von Passugg die Mengen verschiedener quantitativ hervortretender Mineralkomponenten mit der vorhandenen Menge freier Kohlensäure in Beziehung gebracht. Aus dem Kurvenbild ergibt sich ohne weiteres, daß mit zunehmender Mineralisation des Wassers dessen Gehalt an freier Kohlensäure abnimmt.

Auf dem Diagramm Fig. 4 B wurde anstatt die freie Kohlensäure die gesamte durch Verwitterung entstandene (bezw. vulkanisch gebildete) Kohlensäure als Abszisse, die verschiedenen Salzionengehalte als Ordinaten aufgetragen, alles in Millimol. Aus diesem Diagramm ergibt sich, daß der CO_2-reichste Quellast auch am meisten Natrium, Chlor und Magnesium aufweist. Anders verhält es sich nur mit dem Calcium: Die an Gesamtkohlensäure reichste Quelle löst am wenigsten Calciumkarbonat aus dem Schiefer. Herr Professor *J. Jakob* (Zürich), welchen ich als Petrographchemiker in dieser Sache um

seine Ansicht fragte, neigt zur Annahme, die Unterschiede im Calciumgehalt seien darauf zurückzuführen, daß die kohlensäurestärkste Quelle dem Gestein am Wasserwege am meisten Kalk entzogen habe und sie dann in der Folge relativ weniger Kalk zur Lösung vorfinde.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß die chemische Differenzierung innerhalb einer Quellgruppe hauptsächlich in der Nähe der Erdoberfläche vor sich geht. Der Praktiker weiß schon lange, wie sehr sich Ertrag und Gehalt einer Quelle durch Abänderungen der Fassung (Tieferlegung derselben, Abpumpen usw.) verändern, und wie auch benachbarte Quelläste unter Umständen beeinflußt werden. Auch zeitweilige Störungen, z. B. bei Vornahme von Reparaturen, können sich monatelang bemerkbar machen. In Baden-Schweiz stellt sich der hydrostatische Ausgleich in solchen Fällen erst innerhalb Jahresfrist ein.

Säuerlinge in den Ostalpen.

12. **Die Säuerlinge des Unterengadiner Fensters.** In Schuls-Tarasp sowie Val Sinestra entspringt die Mehrzahl der Quellen auf einer Linie, welche mehr oder weniger mit dem Scheitel einer Schieferantiklinale zusammenfällt. Die außerhalb dieser Sattellinie gelegenen Quellen entspringen nach *Ad. Hartmann* auf einer abzweigenden Teilantiklinale. Die genaue geologische Aufnahme des betreffenden Gebietes hat ergeben, daß die tektonischen Verhältnisse dieser Gegend viel komplizierter sind und daß von einer Teilantiklinale nicht gesprochen werden kann.

Die Quelle von Val Sinestra entspringt tief im mesozoischen Schiefer, tektonisch über 1000 m tiefer als die an der Basis der unterostalpinen Decken auftretenden Wässer von Tarasp. Für Val Sinestra kann somit die „Gasometertheorie" keine Geltung haben.

Die Quellen von Schuls-Tarasp sind z. T. erdige Säuerlinge, so „Wy" und „Sotsass", die Wässer „Ursus", „Luzius" und „Emerita" alkalisch-salinisch-muriatische Säuerlinge. „Luzius" enthält u. a. per kg Mineralwasser: 3,9 g Natrium-

Ion, 0,62 g Calcium-Ion, 1,72 g Sulfat-Ion und 2,4 g Chlor-Ion; dazu 2,628 g freies Kohlendioxyd. Die Gesamtmenge gelösten Salzes beträgt 16,9 g.

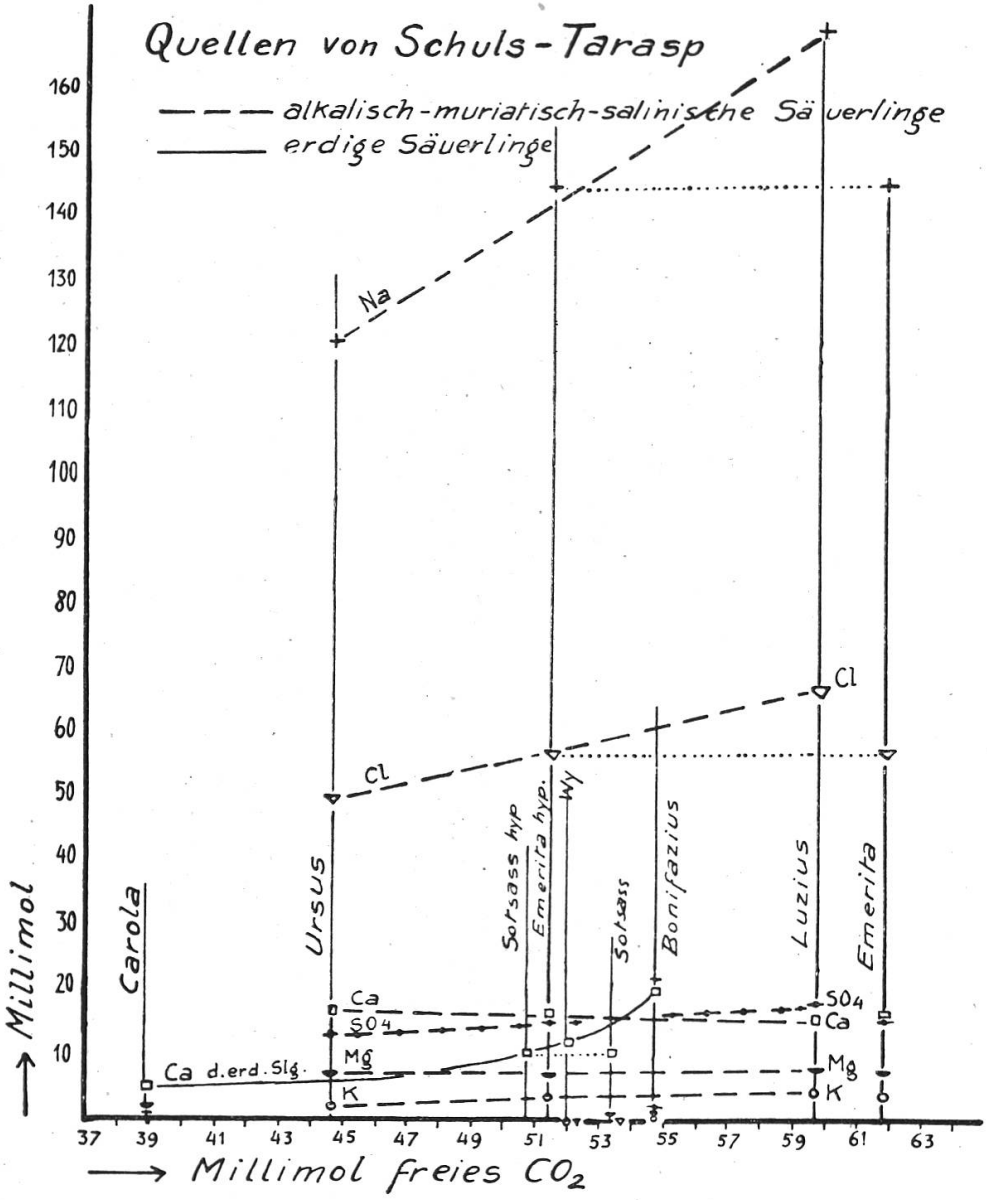


Fig. 5. **Säuerlinge von Schuls-Tarasp.**

Die quantitativ vorwiegenden Bestandteile im Verhältnis zum Gehalt an freier Kohlensäure.

Die Darstellung im CO_2-Diagramm [3] (Fig. 5) ergibt, daß wir es mit zwei Gruppen von Wässern zu tun haben. „Ursus", „Emerita" und „Luzius" sind im großen Ganzen Verdünnungen bezw. Verzweigungen ein und derselben Quellader. „Bonifazius" nimmt eine Mittelstellung ein zwischen letzterer und den erdigen Säuerlingen. *Ad. Hartmann* vermutet, daß der Sulfat- und Chloridgehalt der „Salzwässer" „Luzius" und „Emerita" vulkanischen Ursprunges sei, um so mehr, als sich in der Nähe kein Gipslager befinde. Dem ist entgegenzuhalten, daß der Gipshorizont von Fetan und Crusch auch andernorts an der Basis des unterostalpinen Kristallins aufgeschlossen ist (z. B. S Sent) und daß derselbe seiner tektonischen Stellung entsprechend zwischen Unterschuls und der Trinkhalle Tarasp das Innbett streifen muß, um alsdann nach dem Dorf Tarasp fortzustreichen.

Auf einen eventuellen Natrium-Chloridgehalt sind die bündnerischen Triasablagerungen leider noch nie untersucht worden. Bevor diese Unterlassung nicht gutgemacht ist, muß ein Fumarolentransport dieses Stoffes auf über 50 Kilometer Distanz noch als „zu weit her geholt" betrachtet werden.

Auch die magmatische Herkunft des Schwefelwasserstoffes der Unterengadiner Quellen scheint mir einstweilen noch sehr fraglich. Wenn wir berücksichtigen, daß die Schwefel-Quellen des Gurnigelbades, von La Saxe, Bormio u. a. m. ihren Schwefel- bezw. Gipsgehalt aus der Trias beziehen und daß diese Quellen „Schwefelbakterien" enthalten, so müssen wir vermuten, daß auch der Schwefelwasserstoff der gipshaltigen Wässer von Schuls von diesen kleinsten Lebewesen erzeugt wird. In Passugg ist die schwefelwasserstofflieferende *Microspira desulfuricans* gefunden worden. Daß Bakterien in riesigen Mengen auftreten, beweist

---

[3] Die graphische Eintragung ergibt, daß die Quellen Emerita und Sot sass mehr freies Kohlendioxyd führen als ihrem Mineralgehalt im allgemeinen entspräche. Die Werte für Mineralbestandteile dieser Wässer wurden deshalb an der ihnen normalerweise zukommenden Stelle als „Emerita hypothetisch" und „Sot sass hypothetisch" aufgetragen.

die Tatsache, daß der Schlamm der Therme von Bormio zu 12 % aus organischer Substanz besteht.

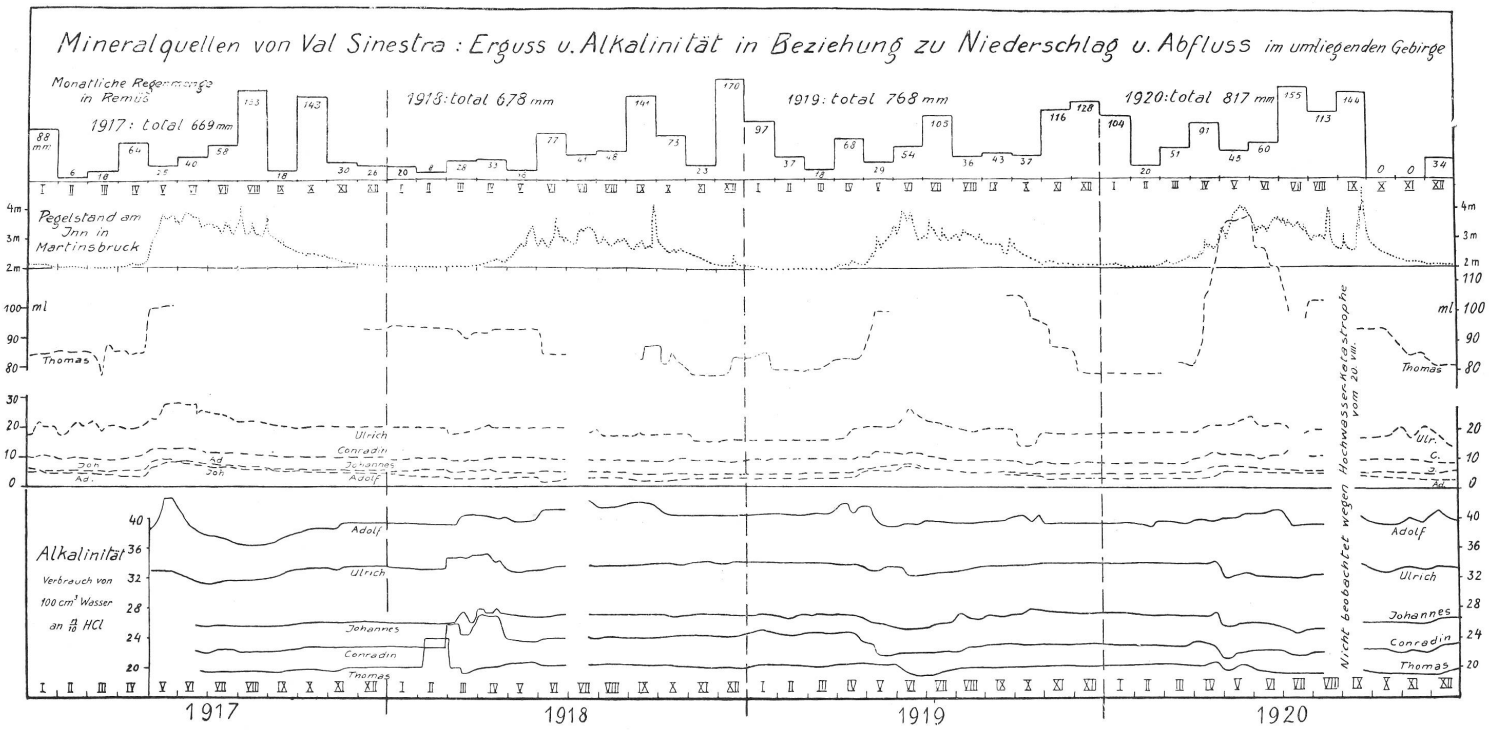
Es mag bei dieser Gelegenheit noch darauf hingewiesen werden, daß die in der geologischen Literatur oft verwendete Bezeichnung „Schwefelbakterien" für die „H_2S-Lieferanten", unrichtig ist. Die eigentlichen Schwefelbakterien (Beggiatoa u. a.) kommen mit den sulfat reduzierenden Bakterien zusammen vor, sie oxydieren den Schwefelwasserstoff zu Schwefel, sind also Verbraucher und nicht Lieferanten von Schwefelwasserstoff.

Wenn wir ihn nicht ganz ablehnen möchten, so halten wir doch auch den chemischen Nachweis für den vulkanischen Ursprung der Mineralwasserbestandteile Bor, Chlor und Ammoniak noch nicht für erbracht. Es möge nur auf die Diskussion der Borgehalte verschiedener bündnerischer Säuerlinge durch *Ad. Hartmann* hingewiesen werden. Dieser Autor schreibt: „Die großen Borsäuremengen der Engadiner Säuerlinge, die das 170- bis 500fache anderer Quellen betragen, beweisen die einstige Anwesenheit von Fumarolen". Dieser Berechnung liegen Gehalte an Metaborsäure (HBO_2) per kg Wasser zugrunde. Da das Wasser auf alle Fälle vadoser Natur ist, wäre es richtiger, die Bor-Prozentanteile der gesamten Mineralsubstanz miteinander zu vergleichen. Die von *Ad. Hartmann* zitierte Ulricusquelle enthält auf 8,8 g Mineralsubstanz 0,0082 g Borsäure, d. h. 0,9 Promille. Die vadose Quelle von Pfäfers auf 0,4 g Mineralsubstanz 0,0005 g Borsäure, d. h. 1,1 Promille, also relativ mehr als Ulricus. Im gleichen Sinne wären die Borsäureverhältnisse anderer Quellen zu vergleichen.

Die Mineralquellen von Val Sinestra entspringen alle auf einer ungefähr 70 m langen Linie, welche dem Ufer der Brancla entlang verläuft. Der Fluß durchbricht an dieser Stelle den Kern der Haupt-Schieferantiklinale des Unterengadiner Fensters quer zur Achsenrichtung. Ohne Zweifel hat man es in Val Sinestra mit ein und derselben sich nach der Oberfläche gabelnden Wasserader zu tun. Die Wassertemperatur beträgt 8 bis 8,5 ° C., der Gehalt an freier Kohlensäure (CO_2) 2,164—2,576 g pro kg Wasser. Therapeutisch

Figur 6.

TAFEL I.



wichtig ist der hohe Arsengehalt der Säuerlinge (0,00106 bis 0,00453 AsO_3''') und die große Radioaktivität des Quellschlammes. Die am weitesten talaufwärts entspringende und am tiefsten gefaßte Quelle erweist sich als ertragärmste und gehaltreichste. Die übrigen Quellen folgen sich talauswärts, immer ertragreicher und gehaltsärmer werdend.

Die Quellen von Val Sinestra dürften die einzigen der ganzen Schweiz sein, deren Alkalinität und Schüttung während 12 Jahren (1916—28) in kurzen zeitlichen Abständen (anfänglich alle paar Tage, jetzt noch allmonatlich) gemessen wurden. Die Kurhaus-Val-Sinestra-A.-G. (Direktor P. Pester) hat mir im Einverständnis mit Herrn Kantonschemiker G. *Nußberger* die gesamten von diesem veranlaßten Beobachtungen zur Bearbeitung überlassen. Leider lassen sich nur die vor dem 20. August 1920 gemachten Aufzeichnungen verwerten, da sich seit diesem Tage, an welchem die Fassungen mit Wildbachschutt überführt wurden, die Schüttungsverhältnisse allmählich geändert haben.

(Siehe Fig. 6 auf Tafel I, vorstehend.)

Auf der graphischen Darstellung Fig. 6 sind die Alkalinitätsschwankungen während 3¾ Jahren angegeben und mit den Niederschlags- und Pegelmessungen benachbarter amtlicher Stationen verglichen worden.

Wie schon *Ad. Hartmann* (12) mitgeteilt hat, verhalten sich Ertrag und Alkalinität der Quellen im großen Ganzen reziprok, je größer der Ertrag, desto geringer die Alkalinität. Mit Einsetzen der Schneeschmelze, welche ein Anschwellen der Oberflächenwässer bewirkt, wird in normalen Jahren der Ertrag der Quellen größer. Fällt im Winter wenig Schnee (z. B. 1917/18), so bleibt die Schüttung auch im folgenden Sommer gering.

Dem im Frühjahr einsetzenden Abstieg der Alkalinitätskurve geht ein rascher, nur wenige Tage anhaltender Anstieg voraus: vermutlich wird durch den erhöhten hydrodynamischen Druck ein gewisser Vorrat an stärker mineralisiertem Wasser unvermittelt gefördert.

Der Abschnitt Unterengadiner Säuerlinge wäre unvollständig, wenn nicht noch die Quellen von Obladis und Prutz zuunterst, d. h. im NE des Fensters erwähnt würden, deren Existenz Ad. Hartmann übersehen hat, wenn er schreibt: „Alle Mineralquellen und Mofetten treten in der Südwestecke des Fensters auf".

Beim Bad Obladis oberhalb Prutz entspringt ein erdiger Säuerling mit folgenden vorwiegenden Mineralkomponenten (im kg Wasser): 1,39 g Calciumhydrokarbonat, 0,39 g Magnesiumhydrokarbonat, 0,38 g Calciumsulfat und 1,933 g freie Kohlensäure (CO_2). Der Quellaustritt erfolgt in der Nähe der Silvrettakristallin-Basis im Gehängeschutt. Ein weiterer Säuerling entspringt auf der gleichen (linken) Innseite, hart am Fluß, wenig unterhalb der Ortschaft Prutz aus Verrukanofels. Die aus demselben Verrukano-Schieferzug unweit Bad Obladis und bei Ladis entspringenden Schwefelquellen sind unzweifelhaft an Gipslager dieser Zone gebunden. Wer diese Gegend besucht, wird erstaunt sein, daß der Säuerling von Obladis aus einem ziemlich gleichmäßig geböschten Hang in ungefähr 500 m Höhe über dem Talboden entspringt. Wie aus der geologischen Karte 1 : 25 000 von *W. Hammer* (Verh. der k. k. Reichsanstalt, Wien 1913) hervorgeht, tritt die Quelle gerade dort aus, wo eine mächtige Zone „bunter Schiefer" zwischen Verrukano im Liegenden und Silvrettakristallin im Hangenden auskeilt. Diese Schiefer dienen ihres Kalkgehaltes wegen als Wasserträger.

Die Säuerlinge von Obladis-Prutz sind das genaue Gegenstück derjenigen von Schuls-Tarasp; diese entspringen beim Eintritt des Flusses in das Schieferfenster, jene in der Nähe des Austrittes aus demselben (vgl. Fig. 1 D).

13. Die Säuerlinge von St. Moritz entspringen aus dem Kristallin der Bernina-Decke im Bereiche der Oberengadiner Deckensynklinale. Die im Gange befindlichen Aufnahmen von *R. Staub* werden erst genauen Einblick in die geologischen Verhältnisse erlauben. Es ist wohl anzunehmen, daß die mesozoischen Schichtglieder, Lias und Trias, welche zwischen die kristallinen Deckenteile ein-

geschaltet sind, die Rolle des durchlässigen und mineral-liefernden Horizontes spielen, welcher durch eine Kluft nach der Oberfläche Mineralwasser abgibt. Dafür spricht der relativ hohe Gehalt von Calcium- und Magnesiumhydro-karbonat, welcher zwei Drittel des Gehaltes der gelösten Mineralsubstanz ausmacht. Die drei wichtigeren Quellen führen 1,8—2,47 g freies Kohlendioxyd pro kg Wasser, ihre Thermalität beträgt einige Celsiusgrade.

Eine Herkunft der Mineralstoffe aus dem penninischen, in der Tiefe befindlichen Bündnerschiefer muß nicht unbedingt angenommen werden. Die nachfolgend besprochenen Vor-kommnisse zeigen dies deutlich.

14. Die Säuerlinge von Rabbi, Pejo (ital. Tirol) und S. Apollonia (Prov. Sondrio). Auf der Südseite des Ortlergebirges in drei benachbarten Seitentälern des Val di Sole (Sulzberg) entspringt eine Anzahl Sauerwässer, welche zum Entstehen von Kurorten Veranlassung gaben. Wir befinden uns hier im Bereiche mächtiger Zonen kristal-liner Schiefer mit spärlich eingeschalteten Marmorzügen, die deckentheoretisch als Wurzelzonen aufzufassen sind. Die Gipfelregion der Berge südlich des Val di Sole (Tonalepaß) gehört schon zum tertiären Tonalitmassiv des Adamello. Es liegt deshalb hier besonders nahe, das Auftreten der Säuer-linge mit dem benachbarten jungen Intrusivstock in Zu-sammenhang zu bringen. Nach *W. Hammer* (Erläuterungen zu Bl. Bormio-Tonale 1 : 75 000, 1908) liegen die Quellen auf einer Störungslinie. Die vorhandenen Analysen sind wohl nicht sehr zuverlässig.

Die alkalischen Eisensäuerlinge von Rabbi entspringen in der Schlucht des Torrente Rabbies, wo diese vom Sedi-mentzug Cima die Boai-Cogolo gequert wird.

Die beiden Eisensäuerlinge von Pejo entspringen auf der Grenze zwischen einer Phyllitgneis- und einer Ortho-gneiszone, eine Stunde voneinander entfernt. Die „antica fonte“ enthält auf 1 kg Wasser 2,4 g freies Kohlendioxyd, die „fonte nuova“ sogar 3,23 g (?). Den ziemlich hohen Eisen-gehalt der Quellen bringt *W. Hammer* vermutungsweise mit

Eisenerzen (Pyrit, Magnetit und Ankerit) der oberwähnten Synklinalzone Rabbi-Cogolo-Cima Boai in Beziehung.

Die Eisenquelle von San Apollonia liegt im Valle Messi N Ponte di Legno (am Tonalepass).

15. Die Mineralquellen von Santa Caterina in Valfurva (bei Bormio). Am Südhang des Monte Confinale, im Südschenkel eines großen Gewölbes kristalliner Gesteine, entspringen diese Mineralwässer. Neben einer subthermalen „fonte solforosa" (T. = 17½ ° C.) wird ein Eisensäuerling genannt, der auf das kg Mineralwasser 1,41 g freie und gebundene Kohlensäure führt.

16. **Die Sauerquellen von Recoaro und Umgebung** (Valdagno, Torrebelvicino, Valle dei Signori u. a.). Im Vicentinischen fanden vom Ende der Kreidezeit bis ins untere Tertiär hinein mächtige Basaltergüsse statt, deren Material ziemlich konkordant den Sedimenten eingelagert ist (3, Nr. 36, 49). Als Folgeerscheinung der jungen vulkanischen Tätigkeit ist das Auftreten einer ganzen Reihe von Thermen und Säuerlingen aufzufassen. Die Therme von Caldiero wurde früher schon genannt. Die Säuerlinge von Recoaro entspringen alle in dem annähernd viereckigen „Aufbruch" kristalliner Gesteine östlich des Etschtales und westlich Schio. Hier sind die Sedimente der „vicentinischen Einheit" (R. Staub) wegerodiert, so daß die normale quarzphyllitische Unterlage an der Oberfläche erscheint. Durch die Basalte wurden auch diese Gesteine durchbrochen und in Nähe solcher Durchbrüche entspringen die Säuerlinge von Valdagno, Torrebelvicino, Valle dei Signori; auf Blatt Schio (3, Nr. 36) sind deren 10 eingetragen.

Die an freier Kohlensäure ärmeren Quellen weisen einen relativ höheren Gehalt an Ammonium, Kupfer, Arsen, Blei und Zink auf, welcher für die postmagmatische Natur solcher Wässer typisch sein soll.

17. **Die Mineralquellen von Gleichenberg (Steiermark).** Es würde zu weit führen, die Säuerlinge der Ostalpen und Dinariden hier auch nur einigermaßen vollständig aufzu-

führen; so begnügen wir uns damit, noch eine Quellgruppe zu erwähnen, welche kürzlich von *A. Winkler* (29) genauer beschrieben wurde.

Bei Gleichenberg im oststeirischen Hügelland sind jungvulkanische Gesteine in großer Verbreitung aufgeschlossen, und zwar miozäne Andesite und trachytische Laven sowie jüngere, altpliozäne Basalte. Auch rein morphologisch ist dieses Vulkangebiet noch als solches kenntlich. *A. Winkler* erwähnt eine Basaltcaldera, Tufftrichter und Maare. Die verschiedenen Quellen sind teils alkalisch-muriatische Säuerlinge, teils einfache Säuerlinge mit schwacher Mineralisation. Die Großzahl der Wässer entspringt an Verwerfungen des tertiären Eruptivgebietes, die sechs alkalisch-muriatischen Quellen an der „Bruchlinie von Gleichenberg" aus Trachyten und sarmatischen Tonen (Tegel), die 23 übrigen auf Blatt Gleichenberg verzeichneten Säuerlinge aus Tertiärablagerungen.

Die Analysen von vier Gleichenberger Quellen zeigen alle ähnliche Verhältnisse: Hauptsächliche Komponenten: Na, Ca, Mg, Cl, HCO_3, relativ wenig SO_4. Freie Kohlensäure 1,3 bis 2,6 g per kg Wasser. Der Erguß beträgt einige bis 70 ml. Über die Herkunft gewisser Mineralbestandteile herrscht unter den Autoren Meinungsverschiedenheit, so betreffs der Chloride. Dagegen wird die Kohlensäure allgemein als juvenil (magmatogen), das Wasser als vados aufgefaßt. Es gibt zu denken, daß sogar in diesem typischen Vulkangebiet die magmatische Herkunft der Quellsalze nicht unbestritten ist; wie viel schwieriger muß es erst sein, die Entstehung der Bündnerschiefer-Säuerlinge richtig zu deuten. Nach A. Winkler bestehen auch zeitliche Zusammenhänge zwischen Vulkanismus und Quellbildung. Der jungtertiäre Vulkanismus ist von Norden gegen Süden vorgeschritten; eine große Zahl von Mineralquellen, welche den Bereich oberflächennahen Magmas kennzeichnen, befinden sich im Süden des steirischen Vulkangebietes (Radkersburg, Radein im österreichisch-jugoslawischen Grenzgebiet).

Es ist dem Verfasser eine angenehme Pflicht, hier allen Fachgelehrten verbindlich zu danken, welche ihm mit verschiedenerlei Auskünften zur Verfügung stunden. Es sind dies vor allem die Herren Comm. Dr. F. Hermann, Pinerolo; Prof. Dr. J. Jakob, Zürich; Dr. G. Nußberger, Kantonschemiker in Chur; Dr. Gb. dal Piaz (iun.), Padua; Prof. Dr. H. Preiswerk und Prof. Dr. M. Reinhard, Basel.

Literaturverzeichnis.

1. Alvazzi-Delfrate C. L'acqua minerale e la stazione climatica d'altezza di Varzo-Veglia (nell' Ossola). Torino 1892.
2. Behrend Fr. und Berg G. Chemische Geologie. Stuttgart 1927.
3. Carta geologica d'Italia. 1 : 100 000. Blatt 15: Domodossola, 1913, Blatt 29: Monte Rosa, 1912; herausgegeben vom Comitato Geologico d'Italia, Rom.
   Blatt VI: Bressanone (Brixen), 1924, Blatt 36: Schio, 1925, Blatt 49: Verona, 1925; gleichzeitig zur Folge: Carta geolog. delle tre Venezie gehörend. Herausgegeben von Prof. G. dal Piaz, Padova.
4. Craveri M. Note preliminari sui fenomeni esodinamici dell' Ossola. Boll. soc. geol. Ital. 1911.
5. Craveri M. La fonte d'Adda o bocca d'Adda e il lago delle Scale o di Fraele nell' Alta Valtellina. Boll. soc. geol. Ital. 40. 1921.
6. Gockel A. Die Radioaktivität von Boden und Quellen. Sammlg. Vieweg. H. 5. 1914.
7. Gümbel W. v. Geologische Bemerkungen über die warmen Quellen von Gastein und ihre Umgebung. Bayr. Ak. d. Wiss. 1889.
8. Gümbel W. v. Geologische Bemerkungen über die Thermen von Bormio und das Ortlergebirge. Sitz.-Ber. d. bayr. Ak. d. Wiss. 1891.
9. Gümbel W. v. Geologische Mitteilungen über die Mineralquellen von St. Moritz im Oberengadin und ihre Nachbarschaft nebst Bemerkungen über das Gebirge bei Bergün und die Therme von Pfäfers. Sitz.-Ber. d. math.-phys., Cl. der K. bayr. Ak. d. Wiss. 1893.
10. Hartmann Ad. Zur Entstehung der schweizerischen Mineralquellen. Aus „Praxis, schweiz. Rundschau für Medizin", Nr. 10 vom 8. III. 27.
11. Hartmann Ad. Die Mineral- und Heilquellen des Kantons Aargau. Mitt. d. Aarg. Naturf. Ges. H. 17, 1925.
12. Hartmann Ad. Die Entstehung der Mineralquellen von Tarasp-Schuls u. d. andern Bündner Säuerlinge. Mitt. Geol. Ges. Zürich. H. 6, 1927.

13. Heim Alb. Die Therme von Pfäfers. Vortragsprotokoll vom 24. Oktober 1927 der Zürcher Naturf. Ges.
14. Keller H. Die Heilquellen d. Schweiz in: Tabellarische Zusammenstellung der Kurorte und Heilquellen der Schweiz im Pavillon für Balneologie und Klimatologie in der Landesausstellung in Bern 1914. Klassifikation und graph. Darstellung. Annalen der Schweiz. Ges. für Balneologie u. Klimatologie. H. XI/XII. 1916.
15. Kessler P. Die Beziehungen von Erzgängen, Tektonik, Vulkanismus und Schwere zu den bekannten Heilbädern in Südwestdeutschland. Z. f. prakt. Geol. H. 3 und 4. 1927.
16. Launay L. de. Recherche, captage et aménagement des sources thermo-minérales. Paris 1899.
17. Lugeon M. Les sources thermales de Loèche-les-Bains. Beitr. z. geolog. Karte d. Schweiz, N. F. Nr. 38. 1912.
18. Meyer-Ahrens und Chr. Gr. Brügger. Die Thermen von Bormio. Zürich 1869.
19. Moret L. Enquête critique sur les ressources minérales de la province de Savoie. Traveaux du Lab. de Géol. de la fac. des Sc. de l'Univ. de Grenoble. 1925.
20. Mory E., Keller H., Cattani E. Bäder u. Kurorte der Schweiz. Schweiz. Bäderbuch. Zürich, 1918.
21. Nußberger G. Beitrag zur Kenntnis der Entstehung von Mineralquellen im Bündnerschiefergebiete. Beilage zum Kantonsschulprogramm pro 1900/01. Chur.
22. Nußberger G. Chemische, physikalisch-chemische und bakteriologische Untersuchung der Mineralquellen von Val Sinestra bei Sent im Unterengadin. Chur, 1905.
23. Nußberger G. Heilquellen und Bäder im Kanton Graubünden. Chur, 1914.
24. Nußberger G. Beiträge zur Kenntnis der Radioaktivität von Quellensedimenten. Festband der Naturf. Ges. Graubündens. Chur, 1926.
25. Preiswerk H. „Tessinergneis". Eclog. Geol. Helv. 1925.
26. Rothpletz A. Über den Ursprung der Thermalquellen von St. Moritz. Sitz.-Ber. bayr. Ak. 1902.
27. Schardt H. Abschnitt „Mineral- und Thermalquellen" im Geographischen Lexikon der Schweiz, Neuenburg 1908.
28. Tioli L. Le acque minerali e termali del Regno d'Italia. Milano 1894.
29. Winkler A. Erläuterungen zur Spezialkarte der Republik Oesterreich, Blatt Gleichenberg. Geologische Bundesanstalt, Wien 1927.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
I. **Über die Klassifizierung von Mineral- und Thermalquellen**	2
II. **Eine geologische Einteilung der Mineralwässer**	4
III. **Westalpine Thermen**	7
IV. **Ostalpine Thermen**	12
V. **Alpine Sauerquellen**	15
Allgemeines	15
Sauer- und Thermalquellen im Vorlande	22
VI. **Säuerlinge in den Westalpen**	24
1. Borgofranco bei Ivrea	24
2. Courmayeur bei Aosta	24
3. St. Vincent im Aosta-Tal	25
4. Bognanco und Crodo	26
5. Der Säuerling von Alpe Veglia	29
6. Die Therme von Acquarossa	30
7. San Bernardino im Misox	30
8. Peiden	31
9. Rothenbrunnen, Rhäzüns, Tomils	31
10. Solis und Tiefenkastel	31
11. Die Säuerlinge der Umgebung von Chur: Passugg, Sassal, Castiel	32
VII. **Säuerlinge in den Ostalpen**	35
12. Die Säuerlinge des Unterengadiner Fensters	35
13. Die Säuerlinge von St. Moritz	40
14. Die Säuerlinge von Rabbi, Pejo, S. Apollonia	41
15. Die Mineralquellen von Santa Caterina in Valfurva	42
16. Die Sauerquellen von Recoaro und Umgebung	42
17. Die Mineralquellen von Gleichenberg (Steiermark)	42
VIII. **Literaturverzeichnis**	44