Zeitschrift: Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 27 (1936)

Heft: 4-5

Artikel: Geologie der Schweizer Mineral- und Heilquellen

Autor: Cadisch, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-983304

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 04.07.2025

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

I. Geologie der Schweizer Mineral- und Heilquellen.

Von Prof. Dr. J. CADISCH in Basel.

1. Ueber die geologische Einteilung der Quellen.

Wer sich mit Mineralquellengeologie befasst, muss vor allem mit der Klassifikation der unterirdischen Wasserläufe vertraut sein. Die Einteilung der Quellen kann nach ganz verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen werden. So nach der Herkunft des Wassers, nach der Art des Fliessens, nach der Beschaffenheit des durchflossenen Untergrundes. Bei den Mineralquellen kommt noch die Einteilung nach Mineral- und Gasgehalt sowie nach ihrer Temperatur hinzu.

Bezüglich der *Herkunft des unterirdischen Wassers* sind theoretisch zwei extreme Fälle unterscheidbar. Entweder liegt *iuveniles Wasser* vor, d. h. Wasser, welches aus dem Erdinnern, und zwar aus dem Magma stammt oder es handelt sich um eingesickertes Niederschlagswasser, welches *vados (Posepny)* genannt wird. Nach *Ed. Suess* war der Gehalt an gewissen Stoffen (Cu, Ni, Co, As, Sb, Pb, Zn, Cs, Rb, Halogene, A, He, H_2S, CO_2 usw.) typisch für iuvenilen Ursprung. Heute wissen wir, dass diese Stoffe auch in vadosen Wässern vorkommen und dass nur eine bestimmte Konzentration und Kombination derselben magmatische Herkunft vermuten lässt. Dass beim Erstarren des Glutflusses (Differentiation) gewaltige Mengen Wasser frei werden können, steht fest. Ausschliesslich iuvenile Herkunft des Wassers dürfte für keine der schweizerischen Mineralquellen nachgewiesen sein. Von ausländischen Vorkommen werden u. a. die Thermen von Karlsbad als magmatogen aufgefasst. In vielen Fällen ist eine Mischung iuvenilen und vadosen Wassers anzunehmen, die beiderlei Anteile dürften aber schwer mengenmässig abzuschätzen sein. Der Nachweis vadosen Ursprunges ist oft leicht zu erbringen, können wir doch hie und da den Weg, den das Wasser zurücklegt, ziemlich genau feststellen, sei es durch stratigraphische und tektonische Untersuchungen, sei es durch Wassermessungen oder Wasserfärbungen.

Weniger problematisch ist die Einteilung nach der Art des Fliessens und — was damit zusammenhängt — nach den Wasserwegen:

1. Als *unterirdische Wasserläufe* bezeichnen wir alle Wasseradern, deren Wasser relativ grosse Geschwindigkeit aufweist. Hierher gehören alle Wässer, die durch Klüfte oder durch rohr- und schlauchförmige Hohlräume ans Tageslicht gelangen. Für diese unterirdischen Wasserläufe gelten dieselben hydraulischen Gesetze wie für Wasser in Rohrleitungen.

2. Als *Grundwasser* fassen wir alle langsam durch Schutt und Fels fliessenden bzw. sickernden Wässer auf. Sie unterliegen beim langsamen Fliessen einer Filtration. Grundwasser fliesst in den Schuttfüllungen der meisten grösseren Täler unseres Landes. Wechseln die durchlässigen und

undurchlässigen Schuttarten des Talbodens, z. B. Schotter und Moräne, so können mehrere *Grundwasserstockwerke* vorhanden sein. Das Grundwasser dieser verschiedenen Stockwerke kann ganz verschiedene Eigenschaften aufweisen, Wasser in tiefliegenden Stockwerken fliesst in der Regel weniger rasch und zeigt oft stärkere Mineralisation; so kann ein hoher Eisengehalt auftreten, der das Grundwasser zu einem Eisenwasser werden lässt und es für normale Gebrauchszwecke ungeeignet macht.

Ist der Grundwasserträger inhomogen, was im Falle der Zuschüttung von Bach- und Flussläufen vorkommt, so bewegt sich das Wasser längs linearen Bahnen.

3. Die dritte Kategorie, welche das sogenannte *Tiefenwasser* oder *Standwasser* umfasst, spielt in der Mineralquellengeologie eine grössere Rolle als in der allgemeinen Quellenkunde. Es handelt sich um das Wasser der *profunden Zirkulation*, d. h. das unter der allgemeinen Erosionsbasis (grösserer Täler) nur ganz langsam fliessende oder stagnierende Wasser, das bei höherer Temperatur und im Laufe längerer Zeiten auch schwerer lösliche Stoffe in erheblichen Mengen aufzulösen vermag. Bei gelegentlichem Abfluss oder bei örtlich erfolgender relativ geringfügiger Abgabe an Klüfte und Spalten kann solches Tiefenwasser als Mineralwasser zur Oberfläche gelangen.

Diese drei Kategorien lassen sich nicht scharf gegeneinander abgrenzen. Es findet ein beständiger Austausch aller Bereiche statt, der zur Entstehung aller möglichen Uebergangsglieder führt. In allen drei Reichen findet zudem noch ein Austausch mit dem in feinsten Rinnsalen und Poren vorhandenen Kapillarwasser, Haftwasser usw. statt.

Nach dem *Verlaufe des Wasserweges* werden oft *aufsteigende und absteigende Quellen* unterschieden. Zu den absteigenden Quellen gehören diejenigen, welche am Fusse grosser Schutthalden oder von Bergstürzen auftreten, nachdem das Wasser ausschliesslich diese Bildungen durchflossen hat. Ferner Wässer, welche den Schichtflächen nach andauernd abwärts fliessen. Aufsteigende Quellen besitzen meist einen absteigenden und einen aufsteigenden Quellast. Sind aufsteigende Quellen als Ueberläufe eines unterirdischen Wasserbehälters (Hohlraum) zu betrachten, so bezeichnet man sie als *Ueberlauf-* oder *Ueberfallquellen*. Die Bezeichnung Stauquelle wird mehr für den Fall angewendet, wo es sich um ein Abfliessen aus einem Grundwassersystem handelt.

Die Lage des Quellaustrittes. Die Erfahrung zeigt, dass Mineralwasser, im Gegensatz zu gewöhnlichem Quellwasser, mehr an die Tiefe gebunden und daher in seinem Wege mehr von der Schichtlage, vom Gebirgsbau abhängig ist*). *Die Mineralquellen treten in der Regel dort zutage, wo die wasserführende Schicht, Kluft oder Verwerfungsspalte von Bach- oder Fluss-*

*) Eine Ausnahme machen Wasser, die in Oberflächenbildungen (Moorböden usw.) mineralisiert werden.

läufen am tiefsten angeschnitten wird. Dabei ist die Form des Wasserträgers, ob sattel- oder muldenförmige Schicht, ob Bruchspalte oder Ueber-

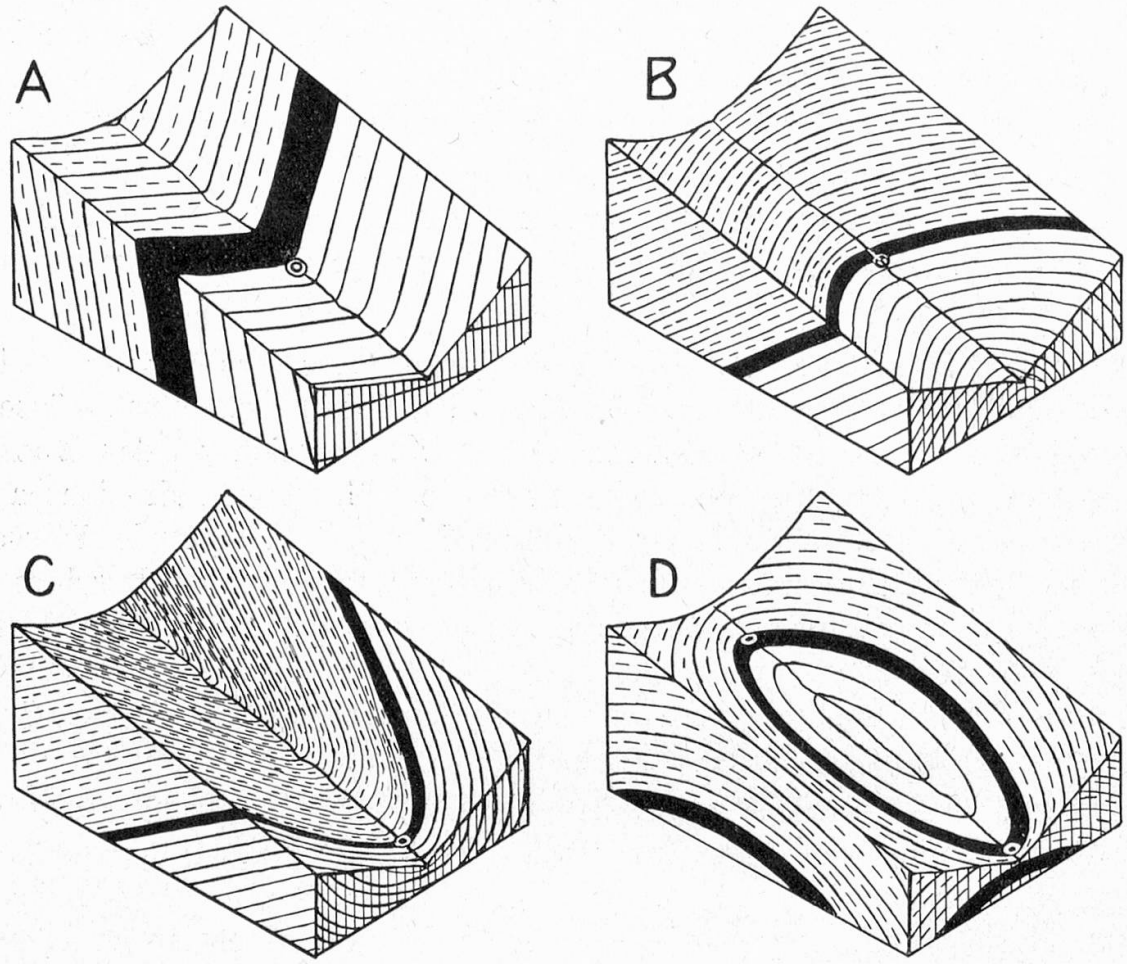

Fig. 1.

Beziehungen zwischen Schichtlage, Oberflächenform und Quellenaustritt.

A = Wasserträger isoklinal gelagert (gleichmässig einfallend)
B = Wasserträger antiklinal (sattelförmig) gebaut
C = Wasserträger synklinal (muldenförmig) gebaut
D = Wasserträger kuppelförmig.

schiebungsbahn, nur von nebensächlicher Bedeutung. Abbildung 1 zeigt Fälle verschiedener Schichtlage:

A. Isoklinal gelagerter (gleichmässig einfallender) Wasserträger.
B. Antiklinal (sattelförmig gebauter) Wasserträger.
C. Synklinal (muldenförmig gebauter) Wasserträger.
D. Kuppelförmiger Wasserträger.

Bei D sind zwei Punkte für den Quellaustritt prädestiniert.

Es ist nach dem Gesagten auch verständlich, dass die Grosszahl unserer alpinen Mineral- und Thermalquellen in engen Tälern und Schluchten entspringt. Hier sind die Schichtfolgen mit durchlässigen und undurchlässigen Gesteinslagen durch die Erosion angeschnitten. Es sei nur an die Quellen von Leuk, Pfäfers, Passugg, Peiden und Tarasp erinnert.

Wo Mineralquellhorizonte quer über breite Täler wegstreichen, tritt das Mineralwasser oft unbemerkt ins Grundwasser über.

Scheinbare Ausnahmen von der obgenannten Regel des Quellortes sind da und dort festzustellen. Das Mineralwasser fixiert oft durch reichliche Ausscheidung von Quellsalzen (Kalk, Eisenhydroxyd usw.) seine Austrittsstelle, die sonst dem Einschneiden der Erosion entsprechend hangabwärts wandern würde. Von solchen «festgelegten» Mineralquellen nennen wir diejenige von Andeer (Fig. 2), welche über einem Steilanschnitt in Schuttbildungen des Talgrundes entspringt. Es unterliegt wohl keinem Zweifel,

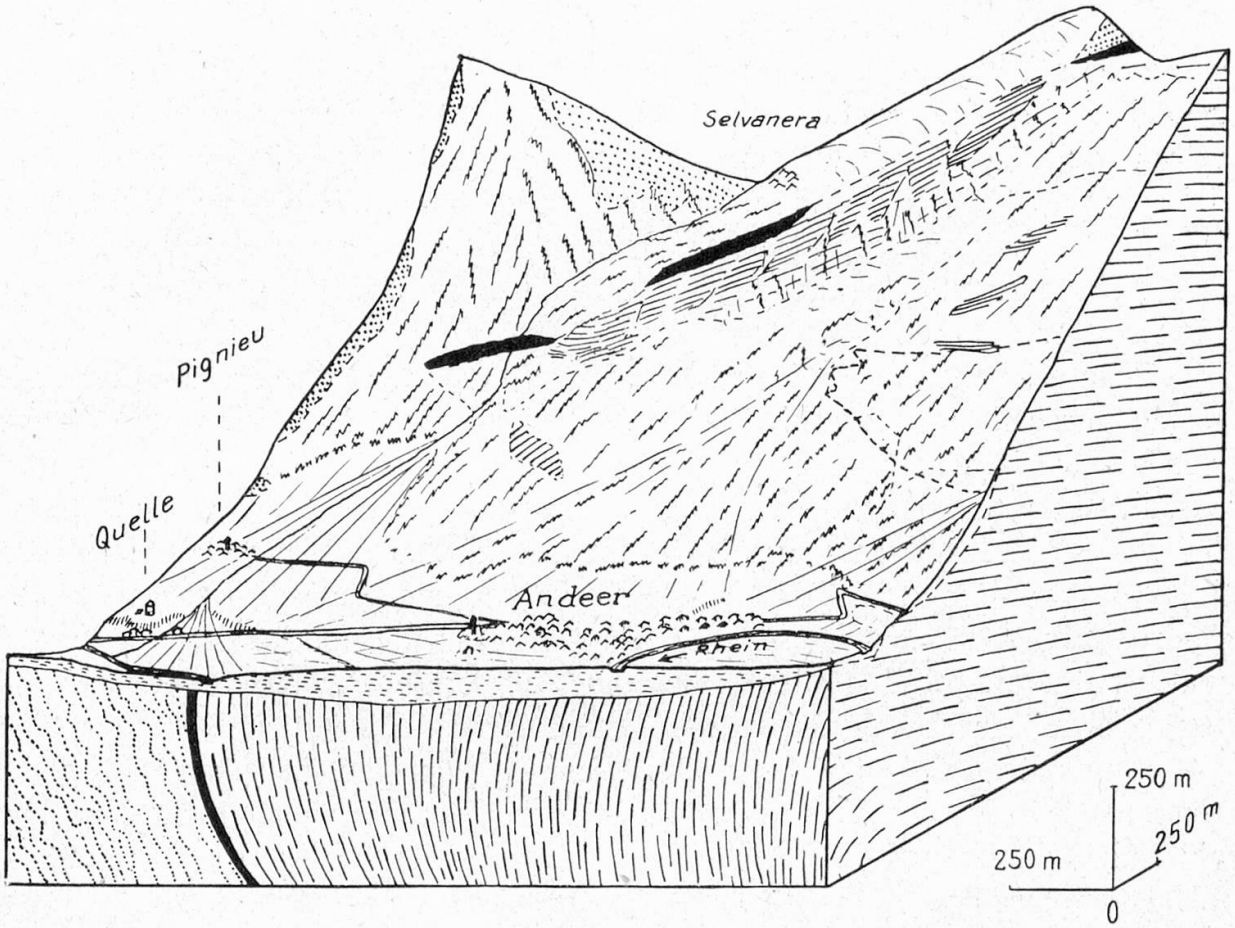

Fig. 2.
Subthermale Gipsquelle von Andeer, mit Umgebung, räumlich dargestellt.
Die Quelle entspringt in nächster Nähe der Triaszone (schwarz), welche wohl als Wasserträger und Mineralsalz liefernder Horizont dienen dürfte. Trotz Einschneiden des Rheins behielt die Quelle ihren Austritt über einer Steilkante in Schuttbildungen bei.
Zeichengebung. Es bedeuten: Strichel: Roffnagneis; Schwarzes Band: Trias mit Rauhwacke; Punktiert: Schiefer, Kalke usw.

dass der Steilanschnitt im Schuttkegel nach der letzten Quellverlegung durch den Hinterrhein geschaffen wurde.

Die Quelle des Tenigerbades blieb gegenüber der Erosion in ihrer Höhenlage um ungefähr 70 m zurück.

Anstatt einer Tieferlegung der Erosionsbasis kann auch eine Hebung derselber eintreten. So können Quellaustritte unter den Flussalluvionen verschwinden, d. h. sie werden überdeckt. Es sind alsdann zwei Möglichkeiten

vorhanden: Entweder sucht sich die Quelle — wenn sie genügend Druck aufweist — einen neuen Weg nach der Oberfläche, ins Grund- oder ins Flusswasser, oder aber sie verliert an Ertrag oder wird vollständig abgedrosselt.

Der Zustand und die Lage des Austrittes spielt somit im Wasserhaushalt der Mineralquelle eine grössere Rolle als man ohne weiteres vermuten würde.

2. Die Mineralisation des Wassers.

Nach den schweizerischen Vorschriften muss sich ein natürliches Wasser, um als Mineralwasser zu gelten, entweder von gewöhnlichem Süsswasser durch einen festgesetzten, besonderen Mineral- oder Gasgehalt unterscheiden oder eine gewisse physiologische, d. h. Heilwirkung aufweisen. Es wären somit als Mineralwässer auch hypomineralisierte Wässer zugelassen, d. h. solche die sich durch extrem niedrigen Mineralgehalt auszeichnen*). Die Frage, wie ein verhältnismässig hoher oder besonderer Mineralgehalt des Wassers zustande komme, versuchen wir an Hand dreier Beispiele zu beantworten.

Sehr oft tritt der Fall ein, dass das Wasser auf längere Strecken Gesteine durchfliesst, welche *leichtlösliche Salze* enthalten. Als solche kommen bei uns in erster Linie Steinsalz und Gips in Frage, dann Natriumsulfat (Glaubersalz) und Magnesiumsulfat (Bittersalz). Weniger leicht löslich, dafür um so verbreiteter sind Kalk- und Dolomitablagerungen, welche die Hauptbestandteile der erdigen Wässer, Calcium- und Magnesiumkarbonat (als Hydrokarbonat in Lösung) liefern. Alles in allem handelt es sich in diesen und verwandten Fällen um die unter der Rubrik *Hauptklassen* auf der Quellenkarte und der Uebersichtstabelle aufgeführten Wässer.

Ganz allgemein kann festgestellt werden, dass es mehr von der relativen als von der absoluten Löslichkeit eines Gesteins abhängt, ob dasselbe als Salzlieferant und Wasserhorizont auftritt oder ob es die Rolle eines Wasserstauers spielt. Innerhalb der Bündnerschieferregion können z. B. Gips- oder Karbonatgesteine (Kalke, Dolomite, Marmore usw.) als Wasserhorizont dienen, im Gneisgebiet kann eine eingelagerte Bündnerschiefermulde wasserführend sein und Kalk abgeben. Dies führt uns zu der zweiten Art der Mineralisierung, nämlich der allmählichen, intensiven Auslaugung relativ schwer löslicher Mineralien. Eruptivgesteine, kristalline Schiefer, Sandsteine und Schiefer vom Flyschtypus werden oft von schwachen Wasseradern durchzogen, welche auch schwerer lösliche Bestandteile aufnehmen. Hierher gehören viele der unter den *Nebenklassen* aufgeführten Wässer, so die Eisenquellen der Molasse, die Radiumquellen aus dem Kristallin usw.

Im Ausland wurde da und dort das Auftreten von Mineralquellen in Bergbaugebieten, und zwar an Erzspalten oder Erzgängen festgestellt. Das

*) In der Schweiz fanden solche Wasser bis dahin keine Verwendung. In Italien kennt man die Vorkommen von Baveno mit 0,08 g und S. Bernardo (Garessio-Cuneo, Westalpen) mit nur 0,052 g Substanz pro Liter.

Wasser enthält oft relativ viel Schwermetallsubstanz (Eisen, Kupfer, Blei usw.). Diese und andere Mineralwässer wurden deshalb als «Erzbringer» betrachtet oder zum mindesten als «Nachläufer» von solchen angesehen. So betrachtet *L. de Launay* die Mineralquellen geradezu als Gangwässer. Auch amerikanische Lagerstättenspezialisten haben sich weitgehend dieser Ansicht angeschlossen. Diese Auffassung mag in vielen Fällen zutreffen. Die Verhältnisse in unserem Lande zeigen aber, dass die Zusammenhänge nicht so zwangsläufige sind.

Eine besondere Art der Mineralisierung, welche mit der soeben erwähnten in Beziehung stehen kann, ist diejenige, welche unter Zufuhr magmatischen Materiales vor sich geht. Als magmatischen Ursprunges kann in vielen Fällen die Kohlensäure der Säuerlinge betrachtet werden. Es wird sich alsdann um spätvulkanische oder fernvulkanische Erscheinungen handeln, bei uns um das Mofettenstadium des spätalpinen Vulkanismus. Es wäre bei den alpinen Säuerlingen, wenigstens bei denjenigen unseres Alpensektors auch an Vorgänge der Gesteinsumwandlung zu denken, welche z. B. durch ein Einsinken des ganzen Gebirgskörpers in den Bereich höherer Drucke und Temperaturen begünstigt würde. Die Kohlensäure verleiht den Wässern ein grösseres Lösungsvermögen, Karbonate und schwerlösliche Bestandteile wie Alkalisilikate werden aus Bündnerschiefern und andern Gesteinen in erhöhtem Masse herausgelaugt. In diesen Fällen handelt es sich somit um eine Mineralisation, welche unter Zufuhr eines besonders wirksamen Lösungsmittels (Kohlensäure) vor sich geht. Die so entstehenden Mineralwässer sind die stärkst mineralisierten der Schweiz. Ihr Ertrag steht oft in umgekehrtem Verhältnis zum Gehalte. Ausnahmen kommen vor; so schüttet die Säuerlingsgruppe von Val Sinestra ungefähr zwei Sekundenliter.

3. Der Wasserhaushalt der Mineralquellen und seine Beziehungen zur Mineralisation.

Die meisten Mineralquellen weisen allem nach gleiche hydraulische Verhältnisse auf wie Süsswasserquellen. Es gelten für beiderlei Wasserläufe dieselben Beziehungen. Das Quadrat des Ertrages ist gleich der Leitungszahl c mal dem Druckhöhenverlust h (vom Einzugsgebiet zum Quellenaustritt)

$$Q^2 = c \,.\, h.$$

Ferner gilt das allgemeine Gesetz der Kontinuität

$$F_1 : F_2 = v_1 : v_2, \text{ d. h.}$$

die Geschwindigkeiten sind umgekehrt proportional der Querschnittsgrösse des Wasserweges. Im übrigen lassen sich für die verschiedenen Quellen meist keine formelmässigen Beziehungen festlegen, da der ganze unterirdische Wasserweg unserer Beobachtung entzogen ist. Wir müssen uns notgedrungen mit Ertragsmessungen, Gehalts- und Temperaturbestimmungen begnügen. In der Regel wird es sich darum handeln, folgende wichtige Beziehungen festzulegen:

1. Die Abhängigkeit des Ertrages von der Stauhöhe der Quelle.
2. Die Beziehungen zwischen Ertrag einerseits, Mineralgehalt und Temperatur andererseits.
3. Die Beziehungen zwischen Niederschlagsmengen und Ertrag.
4. Die Abhängigkeit des Ertrages von der Wasserführung benachbarter Bach- und Flussläufe.

Wie früher schon dargelegt wurde, findet sehr oft ein Abwärtswandern natürlicher Quellaustritte statt, entsprechend einer Tieferlegung der Talfurche. Durch die Quellfassung werden solche Verlegungen verhindert oder verlangsamt. Suchen wir den Auslauf einer Quelle künstlich höher zu legen, so wird der Ertrag derselben niedriger werden bis sie beim «piezometrischen Niveau» versiegt*). Versuchen wir umgekehrt aus irgendwelchen Gründen den Ertrag der Quelle durch Absenken des Quellniveaus zu vermehren, so kann der Fall eintreten, dass dem unterirdischen Wasserbehälter zuviel Wasser entzogen wird und der Ertrag eines schönen Tages auf ein Minimum herabsinkt.

Eine Ertragsvermehrung bei gleichbleibender Fassung kann sehr oft durch künstliche Erweiterung (Bohrung usw.) des aufsteigenden Quellastes erreicht werden. Dieses Verfahren bezweckt eine Herabsetzung der Reibung im Wasserwege.

Ertragsveränderungen bedingen sehr oft Veränderungen des Gehaltes und der Temperatur. Ertragsvermehrung hat meist eine Gehalts- und Temperaturverminderung zur Folge; bei grösserer Durchflussgeschwindigkeit vermag das Wasser weniger Mineralsubstanz und geringere Wärmemengen aufzunehmen. Durch Absenken der Quelle wird somit meist der Gehalt verschlechtert und die Temperatur herabgesetzt. Bei Höherlegen des Auslaufes tritt der entgegengesetzte Fall ein. Der Wirkungsgrad künstlicher Eingriffe hängt noch von verschiedenen Faktoren ab. Sind grössere unterirdische Wasserreservoire vorhanden, so werden Temperatur und Gehalt nicht so rasch ändern. Die Herabsetzung des Gehaltes und der Temperatur kann bei Absenken des Quellniveaus infolge Zusitzens von Süsswasser beschleunigt werden. Es ist deshalb oft nicht nur mit einem Quellindividuum zu rechnen, sondern mit Wechselbeziehungen desselben zu benachbarten oberflächlichen Wasserläufen. Wir können alsdann zwei extreme Fälle unterscheiden: Das Ansteigen eines benachbarten Wasserlaufes hat eine Vermehrung der Schüttung zur Folge oder aber es wirkt ertragsmindernd. Welche der beiden Möglichkeiten eintritt, hängt von der Höhenlage und von den Querschnittsverhältnissen der verbindenden Wasserwege ab.

Die Beeinflussung der Ertragsverhältnisse durch die Niederschläge ist eine verschiedene. Einerseits kommt die Einwirkung vom Sammelgebiet her in Frage, andererseits die Veränderung des Süsswasserspiegels in Quellennähe.

*) Tragen wir Schüttung und Stauhöhe in einem Diagramm auf, so erhalten wir im Normalfall als Schüttungskurve eine Parabel, deren Scheitel im piezometrischen Niveau liegt.

Wir versuchen das Gesagte an Hand einiger Beispiele zu erläutern:

Bei Fassungsarbeiten an den Säuerlingen von *Passugg* ergab sich die Tatsache, dass diese stark mineralisierten aber geringe Schüttung aufweisenden Quellen auf Niveauveränderungen der Fassungen stark reagierten. Wurde in den Fassungsschächten mehr Wasser abgepumpt, so nahm der Mineralgehalt rapid ab. Die Ertragsvermehrung wurde durch zusitzendes Flusswasser bestritten. Nach erfolgter Fassung stellten sich Gleichgewichtsverhältnisse ein. Eine unmittelbare Beeinflussung von der Rabiusa her ist nicht mehr zu konstatieren, da die neugefasste Wasserader wahrscheinlich ihren oberflächennahen Lauf durch Sinterbildungen abgedichtet hat. Die schliesslich noch vorhandenen Ertragsschwankungen waren auf Niederschlagsverhältnisse zurückzuführen. Wir verdanken diese Angaben Herrn Prof. *G. Nussberger*.

Anlässlich der Neufassung der Gipsquelle von *Meltingen* (Solothurner Jura) ergab sich, dass der Mineralgehalt auch bei grösseren Ertragsschwankungen nicht dementsprechend änderte. Hier liegt wohl ein grösserer unterirdischer Mineralwasserbehälter vor. Auch ist zu berücksichtigen, dass der Gehalt hauptsächlich aus leichtlöslichen Salzen besteht, die auch bei grösserer Durchflussgeschwindigkeit noch in erheblichen Mengen aufgenommen werden können.

Vom Arsensäuerling in *Val Sinestra* besitzen wir über längere Zeiten sich erstreckende und genaue Aufzeichnungen (1). Von den fünf Quellen weisen vier nur geringe jahreszeitliche Schwankungen auf, auch bei der fünften sind dieselben nicht gross. Zur Zeit der Schneeschmelze nimmt der Ertrag der Quellen etwas zu. Die Alkalität zeigt dann meist auch eine vorübergehende Zunahme, die aber nach einiger Zeit fast sprunghaft ins Gegenteil umschlägt. Später nähert sich die Schüttung wieder dem mittleren Betrage. Dieses Verhalten könnte folgendermassen erklärt werden: Durch vermehrten Schmelzwasserzufluss bzw. Druckerhöhung wird zunächst noch ein Vorrat hochmineralisierten Wassers gefördert; nachher kommt es zu einer vorübergehenden Verdünnung des Gehaltes.

Die meisten Mineralquellen reagieren als «gute Quellen» nicht rasch auf stärkere Niederschläge im Einzugsgebiete, es findet meist ein Ausgleich der täglichen und monatlichen Schwankungen statt.

4. Ueber die Entstehung der Thermen.

Es ist allgemein üblich, Quellen, die über 20° Temperatur aufweisen, als Thermen zu bezeichnen. Alle Wässer, deren Temperatur 20° nicht erreicht, aber die mittlere Bodentemperatur des Quellortes übersteigt, nennen wir Subthermen. Während somit die Untergrenze für die Thermalität absolut festgehalten wurde, ist sie für die Subthermen eine relative. Im Gebirge kann eine Quelle von 10° Wärme eine Subtherme sein, im Mittelland würde sie noch als gewöhnliche kalte Quelle gelten.

Die Temperatur einer Therme hängt in erster Linie von der Tiefe ab, in welche das Wasser gelangt. Die normale Wärmezunahme gegen das Erdinnere beträgt in der äusseren Kruste im Mittel 3^0 pro 100 m, d. h. 1^0 pro 33,3 m. Die jeweilige Temperaturzunahme pro 100 m Tiefenunterschied wird *Temperaturgradient* (3^0), die Tiefe pro 1^0 Temperaturzunahme nach dem Erdinnern zu *geothermische Tiefenstufe* (33 m) genannt. Bezeichnen wir die mittlere Bodentemperatur des Quellortes als t_b und die Temperatur eines in x m Tiefe gelegenen Punktes als T, so gilt somit folgende einfache Formel:

$$T = t_b + \frac{x}{33}$$

Je nach der Leitfähigkeit und Lagerungsweise der Gesteine unterliegt die Tiefenstufe starken Schwankungen. Flachliegende Mergel und Tone, welche die Wärmeleitung nach der Oberfläche herabmindern, bedingen eine Verringerung der Tiefenstufe bis etwa zur Hälfte des mittleren Betrages. Beobachtungen in grossen Gebirgtunneln haben ergeben, dass von der Oberfläche eindringende kalte Wässer die Tiefenstufe vergrössern, aus der Tiefe aufsteigende heisse Wässer dieselbe herabsetzen. Von geringem Einflusse sind unter Umständen im Gestein sich abspielende wärmeliefernde chemische Prozesse, so die Pyritzersetzung. Wichtiger sind wohl physikalische Vorgänge wie die Kondensation von Wasserdampf, welcher aus grösserer Tiefe aufsteigt. Der Wärmetransport durch Kohlensäure (bei Säuerlingen) spielt dagegen eine kleine Rolle. Abgesehen von solcher Beeinflussung aus grösseren Tiefen kann der Mechanismus der Thermen wahrscheinlich wie folgt angenommen werden. Die Sickerwässer eines grösseren Einzugsgebietes dringen *langsam* bis in den Bereich grösserer Temperaturen in den Untergrund ein (absteigender Quellast), um alsdann an einer Kluft oder einer Schichtfläche entlang *rasch*, d. h. mit geringem Wärmeverlust, an die Oberfläche zu gelangen (aufsteigender Quellast). Die Förderung des Wassers wird wohl in den meisten Fällen durch Ueberdruckwirkung aus dem absteigenden Quellast vor sich gehen. *H. Schardt* u. a. glaubten hiefür ausschliesslich den Wärmeunterschied im absteigenden und aufsteigenden Ast verantwortlich machen zu müssen. Solche Wasserläufe würden somit ähnlich wie eine Zentralheizung erwärmt, nur dass das Wasser nicht einen Kreislauf beschreibt, sondern dauernd abfliesst. Dieses *Prinzip der Thermosiphone* dürfte wohl nur zusätzlich zur Geltung kommen. Der Verminderung des spezifischen Gewichtes durch Erwärmung des Wassers wirkt übrigens die Vermehrung durch stärkere Mineralisation entgegen.

An Stelle längerer allgemeiner Erörterungen lassen wir im folgenden die Beschreibung zweier gut erforschter Thermalquellvorkommen treten.

Die Thermalquelle von Pfäfers-Ragaz.

Diese berühmte Therme wurde zuletzt von *Alb. Heim*, 1928, monographisch beschrieben[6]). Wie die Analyse zeigt, liegt eine einfache, 37,5 ± 1^0 C. warme Quelle vor, die ihrer Zusammensetzung nach erdig-kochsalzig

zu nennen wäre. Die geologische Lage ist folgende: Die Quelle tritt aus einer Verwerfungsspalte im Bereiche eines ostwärts axial abtauchenden Kreide-Gewölbes. Ursprünglich waren mehrere Wasseraustritte vorhanden, die getrennt gefasst wurden. Zurzeit sind alle Quellen auf *ein* Niveau gestaut. Das Wasser fliesst durch eine Heberleitung ab. Zeitweilig wird auch abgepumpt. Als wasserführende Schichten dienen nach *Alb. Heim* der Schrattenkalk und der Seewerkalk. Das Einzugsgebiet, in welchem diese Gesteine ausstreichen, liegt nördlich und westlich von Vättis. Sein Flächeninhalt beträgt 8 km².

Die Pfäferser Therme liefert einen mittleren Jahresertrag von 1750000 m³. Die Ertragsschwankungen sind ausserordentlich grosse («Maibrunnen»). In früheren Zeiten, d.h. vor der letzten gründlichen Fassung und Pumpeninstallierung versiegte die Therme dann und wann. Die Quelle wird zu etwa $^4/_5$ mit Schneeschmelzwasser, zu $^1/_5$ mit Regenwasser gespiesen. Die Schüttungszunahme im Frühjahr geht rasch vor sich, die Abnahme im Herbst langsam. Auf starke Wärmezunahme (Schneeschmelze) im Frühjahr reagiert die Quelle nach zwei bis acht Tagen.

Im Winter 1921/22 wurden von Ing. *H. Bernold* interessante Pumpversuche angestellt. Bei stundenlangem Pumpen von

1000 ml	sank	der	Wasserspiegel	0,62	m
2000 ml	»	»	»	1,0	m
3000 ml	»	»	»	1,3	m

Eine weitere Absenkung war mit den vorhandenen Mitteln nicht zu erreichen. Die Versuche zeigten, dass das unterirdische Sammelbecken nicht nur den bekannten oberflächlichen Auslauf besitzt, sondern auch einen unterirdischen, welcher mehr Wasser führt als die Therme schüttet. Durch stetiges Nachfliessen des Wassers in das beinahe einen mittleren Jahresertrag fassende Thermalwasserreservoir und den konstanten Ablauf nach der Tiefe zu erhält der Ueberlauf *Wasser konstanter Wärme.*

Es soll bei dieser Gelegenheit auf die enormen Mengen Mineralsubstanz und Wärme hingewiesen werden, die jährlich durch die Pfäferser Therme zur Förderung gelangen. Wenn wir den Mineralgehalt mit 0,29 g pro Liter annehmen, so kommen wir auf einen durchschnittlichen jährlichen Ertrag von 507 Tonnen, was einem Volumen von über 200 m³ entspricht. Rechnet man mit einer Zeit von 1000 Jahren — man kennt die Quelle schon seit dem Jahre 1038 — so kommt man zur Annahme mächtiger Hohlräume. Durch Nachsinken des Gebirges mögen dieselben etwas verkleinert werden.

Um einen Begriff der geförderten Wärmemenge zu erhalten, können wir die Menge Steinkohle berechnen, welche zur Aufheizung des Wassers von Bodentemperatur bis zur Wassertemperatur, d. h. um 28° jährlich benötigt würde. Sie betrüge über 8000 Tonnen. Berechnen wir, wie dies *R. Kampe* für Bad Nauheim tat, die Grösse des Erdoberflächenausschnittes, dessen nach aussen abgegebene Wärme derjenigen unserer Therme entspricht, so kommen wir auf den Betrag von 82 bis 87 km².

Die Thermalquelle von Baden im Aargau.

Am östlichen Ende des Kettenjuras wird die Lägern-Antiklinale im Bereiche einer Axendepression von der Limmat durchbrochen. In diesem Quertal entspringt die Therme von Baden. Die Haupt-Quellader verästelt sich nach der Oberfläche. Von den 20 wichtigeren Quellmündern liegen 17 westlich der Limmat, in Baden, 3 in Ennetbaden. Die beidseitigen Wassermengen verhalten sich bei Minimal- und Maximalschüttung wie 4:3. Die Quelltemperatur beträgt im Mittel 46,9°, der Mineralgehalt 4,66 g per kg Wasser, die mittlere Schüttung 800 ml.

Ueber die geologische Situation dürften folgende Angaben orientieren: Das Lägerngewölbe wird von einer Faltenverwerfung durchzogen, an welcher der Südschenkel samt anschliessendem Faltenscheitel über den Nordschenkel vorgeschoben wurde. *Ad. Hartmann*[4]) betrachtete diese Störung als Thermalwasserspalte. Nach *A. Amsler* bedingt diese Scherfläche mehr die Abdichtung des hangenden wasserführenden Muschelkalkes gegen liegende undurchlässige Keuperschichten; sie ermöglicht so das Ausfliessen durch den Muschelkalk.

Das Limmatbett ist im Quellbezirk örtlich in Keuperschichten eingeschnitten, von den Quellen sind die meisten in Oberflächenbildungen gefasst. Die Fassungen der Bären- und Schwanenquelle erreichen den Muschelkalk, die Fassung der Limmatquelle liegt im Keuper. Die Quellaustritte auf Badenerseite befinden sich grossenteils im Bereiche eines älteren, jetzt mit Schutt aufgefüllten Limmatbettes.

Die komplizierten Besitzesverhältnisse brachten es mit sich, dass von behördlicher Seite seit vielen Jahrzehnten die Wassermengen der einzelnen Quellen genau gemessen und die Wasserzuteilung gleichbleibend vorgenommen wird. Ingenieur *H. Peter* in Zürich konnte 1921 anlässlich der Neufassung der Schwanenquelle interessante Feststellungen machen und frühere Beobachtungen von *Fr. Mühlberg* und *Alb. Heim* ergänzen. Wir geben hier die wichtigsten Ergebnisse wieder:

Die Schüttungskurven der Badener Quellen zeigen, verglichen mit den Niederschlagskurven von Baden eine Verspätung von elf bis zwölf Monaten. Da Wasseraustritte des Thermalsystems ins Limmatbett münden, findet eine gewisse Beeinflussung der Schüttung durch den Fluss-Wasserstand statt. Bei Hochwasser der Limmat nimmt der Quellertrag etwas zu, bei Niederwasser in geringem Masse ab. *H. Peter* nennt folgende Zahlen[10]):

Ansteigen der Limmat um 1,81 m bewirkt eine Vermehrung des Gesamtertrages der Therme um 17,2 ml, Sinken des Flusses um 0,72 m eine Schüttungsabnahme um 17,7 ml.

Trotz dem 7 m betragenden Ueberdruck des Thermalwassers gegenüber dem Flusswasser ist somit die Beeinflussung von der Limmat her eine sehr

geringe. Es besteht aber die Gefahr, dass bei weiterem Einschneiden der Limmat — von 1850 bis 1921 betrug die Erosion in den Keuperschichten 1 m — ein Thermalwasserdurchbruch stattfinde. Eine vollständige Neufassung der Badener Therme wird mit der Zeit notwendig sein.

Die uns vom Bauverwalter der Stadt Baden, Herrn *E. Keller*, zuvorkommend überlassenen Aufzeichnungen der Badener Quellerträge zeigen deutlich, wie durch die behördlich geregelte Wasserzuteilung früheren chaotischen Zuständen ein Ende bereitet wurde. Nur ausnahmsweise findet noch eine ungünstige gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Austritte statt. Auf Fig. 3 wurde eine Serie zeitlich rasch aufeinanderfolgender Messungen graphisch dargestellt. Es ist daraus ersichtlich, dass die «Hochwasserspitze» der normalen gleichmässigen Ertragskurve aufgesetzt ist. Die geringe gleichzeitige Erniedrigung der Temperatur zeigt, dass die plötzliche Ergussvermehrung um nicht ganz 3 % nicht nur durch Eindringen von Süsswasser zustandekommt, sondern auch durch vermehrte Thermalwasserförderung (Druckwirkung). Die einzelnen Quellen reagieren übrigens verschieden, die zuunterst im ehemaligen Limmatlauf befindliche Hinterhofquelle überhaupt nicht.

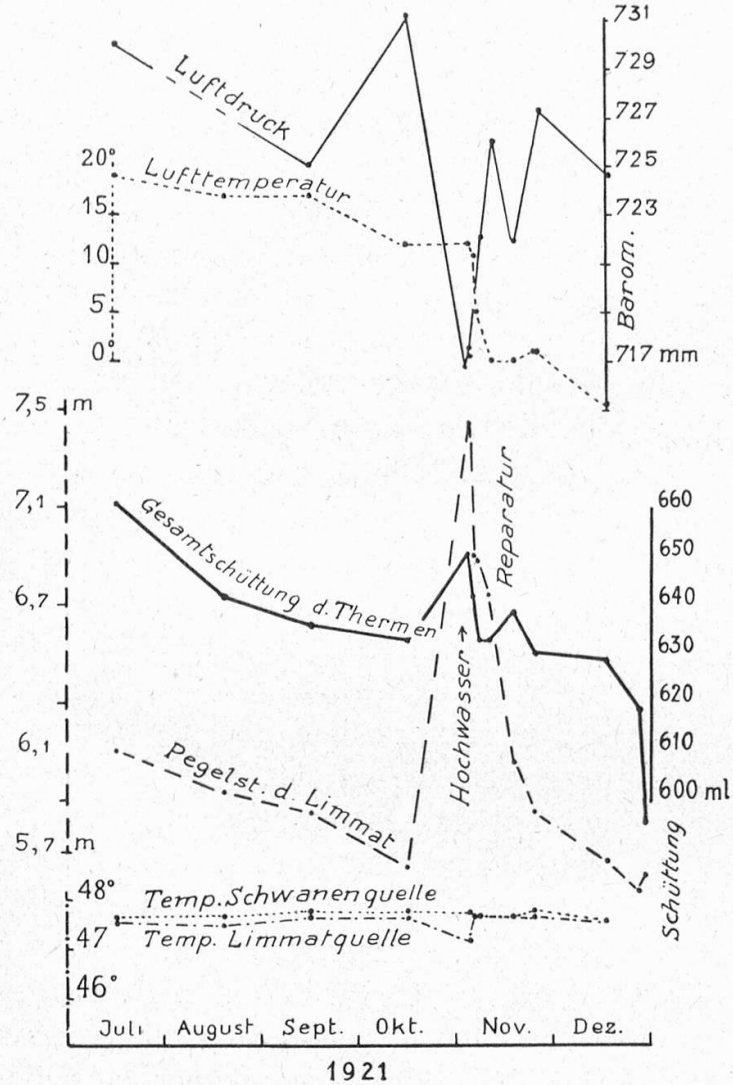

Fig. 3.

Wirkung eines Hochwassers auf Schüttung und Temperatur der Badener Thermengruppe. Der Einfluss ist deutlich feststellbar, aber gering.

Die Auffassungen der Geologen über die Herkunft des Badener Thermalwassers sind ganz verschiedene. *Alb. Heim* nimmt an, dass das Wasser von den Alpen her unter dem Molassebecken durch nach Baden gelange. Dafür spricht nach diesem Autor die grosse Konstanz der Schüttung und das 10- bis 12monatige Nachhinken der Ertragsminima und -maxima gegenüber den Niederschlägen. Nach *Ad. Hartmann* stammt auch das Schinznacher und Lostorfer Thermalwasser aus den Alpen. Der verschiedene Mineralgehalt der drei Wässer soll mit dem ungleichen Wärmegrad derselben in Zusammenhang stehen, die niedrigere Temperatur der Wässer von Schinz-

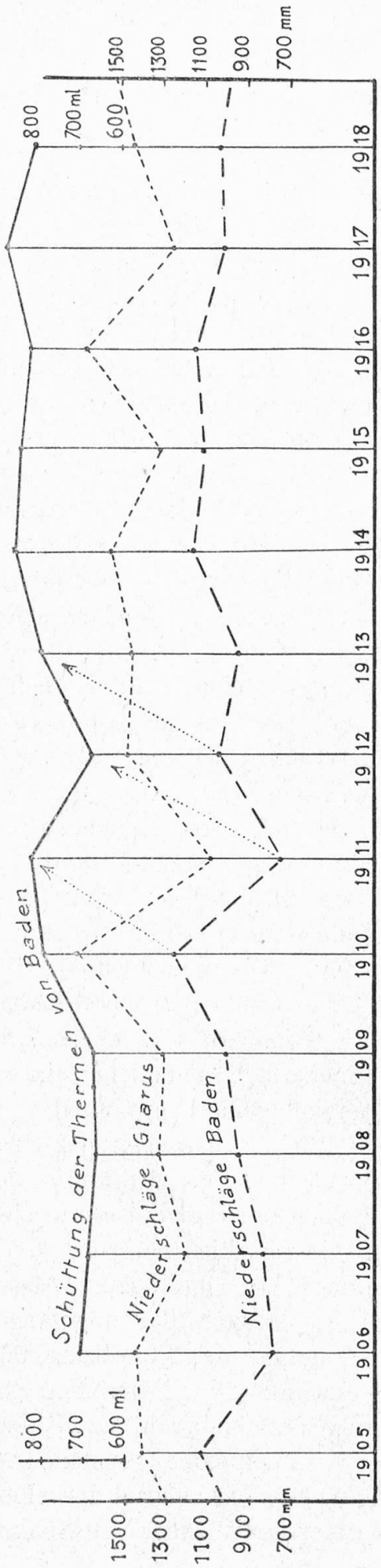

Fig. 4.

Gang der jährlichen Niederschläge in Glarus und Baden, verglichen mit den Sommer-Schüttungsmaxima der Therme von Baden.

nach und Lostorf für die Umsetzung von Sulfaten in Schwefelwasserstoff durch Bakterien günstiger sein. Der Schwefelwasserstoff spielt indessen gewichtsmässig so gut wie keine Rolle. So beträgt der Gehalt an HS und H_2S im Falle von Schinznach 0,085 g von 3,12 g Gesamtgehalt. Dagegen zeigen die Quellen bedeutende Unterschiede im Kochsalzgehalt. Will man somit an der Annahme eines alpinen Sammelgebietes festhalten, so muss man die Mineralisierung zu einem guten Teil erst im aufsteigenden Quellast, d. h. in Juranähe und im Jura selbst vor sich gehen lassen. Wir haben die Frage nochmals untersucht, ob die Niederschlagsverhältnisse in den verschiedenen Gebieten mehr für den einen oder andern Standpunkt sprechen. Eine graphische Darstellung (Fig. 4) der gesamten jährlichen Niederschlagsmengen von Baden und Glarus zeigt, verglichen mit den sommerlichen Maxima der Badener Therme, dass der Ertrag der Quelle ebensogut mit den Niederschlagsmengen des Ortes selbst übereinstimmt. *Fr. Mühlberg, A. Amsler* u. a. haben gezeigt, dass das Einzugsgebiet im Jura für die Herleitung des Wassers aus diesem Gebiet gross genug wäre. Wir sind dann aber noch immer eine Erklärung für die überaus grosse Verspätung der Quellerträge gegenüber den Niederschlagswerten schuldig. Es wäre in diesem Hinblick die Frage zu prüfen, ob nicht die dem Jura vorgelagerte Molasseregion als Sammelgebiet zu betrachten sei. Die Verzögerung des Durchflusses wäre alsdann auf die geringe Durchlässigkeit der Molassebildungen zurückzuführen.

Die Thermen der Schweiz.

	Temperatur	Schüttung	Gesamt-Mineralgehalt	Einteilung nach Hauptklassen
	Grad	sl	g	
Leuk	51,3	120	1,52	Gipsquelle
Lavey	48	1,2	1,31	Glaubersalzquelle
Baden	47	9 – 14	4,67	Kochsalz- u. Gipsq.
Pfäfers	37,5 ± 1	55,6	0,442	Akratopege
Schinznach . . .	33	8,3	2,96	Gipsquelle
Ehem. Brigerbad .	30	?	0,65	Akratopege
Weissenburg . .	26,5	0,7	1,39	Gipsquelle
Vals	25,2	6	2,12	Gipsquelle
Acquarossa . . .	25	4,3	2,71	Gipsquelle
Saxon	25	2 – 8	0,76	Akratopege
Yverdon	24	ca. 1	1,06	Gipsquelle
Innerferrera . .	24	?	?	Gipsquelle
Bovernier . . .	21	?	?	Akratopege

5. Zur Geologie der wichtigeren Mineralquellen.

In diesem Abschnitt soll vor allem auf Beziehungen zwischen Chemismus der Wässer und Beschaffenheit der durchflossenen Gesteine hingewiesen werden.

A. Hauptklassen.

Kalkquellen oder Karbonatwässer (erdige Quellen).

Nach dem deutschen Bäderbuch gelten Kalkwässer, auch wenn sie mehr als 1 g Karbonat führen, nicht als Mineralwässer, sondern als hartes Süsswasser. Ausser Calciumhydrokarbonat, dem Auslaugungsprodukt von Kalkgestein, tritt oft Magnesiumhydrokarbonat in grösseren Mengen auf, so wenn vom Wasser Dolomitlagen oder dolomithaltige Gesteine durchflossen werden. *J. Knett*[7]) hat in diesem Falle von Dolomitwasser gesprochen.

Gipsquellen (sulfatische) und Schwefelquellen.

Diese Quelltypen sind bei uns die weitaus häufigsten, was mit der weiten Verbreitung der meist der Trias angehörigen Gipslager zusammenhängt. Auf unserer Karte wurden nur die bekannteren Vorkommen angegeben. Besonders zwischen Rhonetal und Simmental wäre noch eine ganze Anzahl zurzeit unbenützter Vorkommen aufzuführen gewesen. Sie spielten zum Teil in früherer Zeit eine Rolle (Villeneuve, Bad Leissigen usw.). Aehnliches gilt für die Schwefelquellen unseres Landes und der angrenzenden Gebiete (besonders Vorarlberg). Die Nebenklasse der Schwefequellen muss hier gleichzeitig mit den Gipsquellen behandelt werden, weil zwischen beiden Typen genetische Zusammenhänge bestehen. Die meisten Schwefelquellen sind gleichzeitig Gipsquellen. Der Gehalt an Schwefelwasserstoff kommt durch Reduktion von Sulfaten (auch Sulfiten und Thiosulfaten) zustande. Dabei üben Bakterien katalysatorische Wirkung aus. Als besonders häufige, Schwefelwasserstoff liefernde Spaltspitze nennen wir Microspira desulfuri-

cans und Vibrio thermodesulfuricans. Diese Organismen sind streng anaerob, d. h. sie fliehen den Sauerstoff. Dies im Gegensatz zu den Schwefelbakterien im gewöhnlichen Sinne, welche oft in den Quellbassins und an den Abläufen auftreten und welche die Oxydation des Schwefels katalysatorisch beschleunigen. Nach *O. v. Deines*[3]) können ein- und dieselben Schwefelbakterien sowohl oxydierende als reduzierende Wirkung haben. Der Schwefel, den dieselben intrazellulär ausscheiden, soll nicht elementarer Schwefel sein, sondern Wasserstoffpersulfid (H_2S_x), von welchem wieder Schwefelwasserstoff (H_2S) abgespalten werden kann.

Die schwefelwasserstoffreichsten Quellen unseres Landes sind zweifellos Gipswässer, deren H_2S durch Reduktion des Sulfates entsteht, so Lenk, Schinznach, Gurnigel, Alvaneu u. a. m.

Bevor man die bakterielle Natur bzw. Bildung des Quellschlammes von Schwefelquellen als solche erkannte, bezeichnete man diese eigenartigen algenähnlichen Massen als barégine, glairine oder conferves (Konferven).

Unsere Säuerlinge zeigen meist nur minimen Gehalt an H_2S. Es kann vermutet werden, dass auch in diesem Falle Bakterien mit im Spiele sind und nicht etwa «vulkanischer» Schwefelwasserstoff vorliegt. Nach seinerzeitiger mündlicher Mitteilung von Herrn Prof. Nussberger zeigen gewisse Unterengadiner Säuerlinge nur während des Sommers einen Schwefelwasserstoffgehalt, im Winter ist derselbe nicht vorhanden. Damit ist für diese Gegend der Beweis für bakterielle Herkunft des Gases erbracht.

In Passugg verursachte die Microspira desulfuricans zeitweise Schwefelwasserstoffbildung nach der Abfüllung in Flaschen. Auch bei ausgesprochenen Gipsquellen kommt es während der warmen Jahreszeit hie und da zu missliebiger Veränderung des Flaschenwassers. Diesem Uebelstand kann mit Durchlüftung und durch Verwendung von Spezialfiltern abgeholfen werden.

Es wäre sehr zu begrüssen, wenn die Bakterienflora unserer Mineralquellen eingehend erforscht würde. Durch Züchtung gewisser Formen könnte vielleicht der H_2S-Gehalt des Wassers bis zu einem gewissen Grade reguliert oder in Fällen geringer, störender Mengen durch Umwandlung in Schwefel bzw. Wasserstoffpersulfid zum Verschwinden gebracht werden.

Natron- oder alkalische Quellen.

Hauptbestandteil dieser Wässer ist das Natriumbikarbonat. Die meisten dieser Quellen sind bei uns gleichzeitig Säuerlinge, so Castiel, Passugg (Ulricus, Fortunatus) und Tarasp, von ausländischen benachbarten Vorkommen nennen wir Sulzmatt, am Westrand des Rheintalgrabens gelegen. Der Natriumgehalt dieser Wässer rührt von der Einwirkung der Kohlensäure auf Silikate von Eruptivgesteinen, Sandsteinen und Schiefer her.

Obschon sie den vorgeschriebenen Gehalt an Natriumbikarbonat nicht erreichen, seien hier auch die Natronquellen von Heustrich, Schimberg und Champéry erwähnt, welche nicht zu den Säuerlingen gehören, aber relativ hohe Natriumbikarbonatgehalte aufweisen (Schimberg 91,5% des Gesamtgehaltes).

Glaubersalzquellen oder salinische Quellen.

Glaubersalzwässer mit starkem Vorwiegen des ersten Hauptbestandteiles sind in Europa selten. So konnte *K. Zörkendörfer* (Marienbad) behaupten, reine Glaubersalzquellen gebe es überhaupt nicht. Um diese Aussage zu entkräften, zitierte *J. Knett*[7]) das Beispiel von Mülligen im Aargau. Dort wurden bergmännisch Glaubersalzwasser und Glaubersalz gewonnen. Man trieb am Reussknie der Schambelen Stollen in den Keuper, welcher hier im Gips dünne Lagen von Glaubersalz aufweist. Das durch Laugen erhaltene Glaubersalzwasser zeigte einen Gesamtmineralgehalt von 35,5 g und davon waren 91% Glaubersalz. Seit 1895 ist die Grube von Mülligen aufgelassen. Man kann sich fragen, ob ein auf diese Art gewonnenes Produkt noch zu den Mineralwässern gerechnet werden darf.

Unsere Glaubersalzquellen sind alle gemischte Wässer, so Lavey, Tiefenkastel und Solis. Ueber die Herkunft des Natriumsulfates lässt sich in diesen drei Fällen diskutieren. Auffällig ist, dass alle drei Quellen aus silikatreichen Gesteinen (Altkristallin oder Bündnerschiefer) und in Nähe von Triaszonen entspringen.

Echte Bitterwasser.

Durch Vorherrschen von Magnesiumsulfat zeichnet sich in unserem Lande nur das Vorkommen von Birmenstorf aus. Das Versandwasser wird dort durch Auslaugung von bergmännisch gewonnenem Mineralsalz hergestellt (vgl. Charakteristik, S. 246).

Als Bitterwasser von gemischtem Charakter sei noch Solis erwähnt.

Kochsalz- oder muriatische Quellen.

Unsere ausgesprochenen, d. h. Natriumchlorid als ersten Hauptbestandteil aufweisenden Kochsalzquellen entspringen in der Mehrzahl im Bereiche der Salzlagerstätten. In dem am Süd- und Ostabfall des Schwarzwaldes gelegenen Steinsalzgebiet (Anhydritgruppe des Muschelkalkes) wird in Schweizerhalle und Rheinfelden Sole gewonnen, die auch zu Heilzwecken Verwendung findet. Salzquellen dieser Region sind Sulztal (Bütz), Zurzach (vorübergehend erschlossen) und Dürrheim (Baden). In Bex existierten vor Erschliessung der Salzlager mehrere natürliche Kochsalzquellen. Ausserhalb der Steinsalzzonen, aber im Bereiche salzführender Triaszüge, entspringen die gemischten Wässer von Baden, Eglisau, Lavey, Lostorf, Schinznach. Baden kann ebensogut zu den Gipswässern gerechnet werden. Als zweiter oder dritter Hauptbestandteil tritt NaCl bei den Säuerlingen von Passugg (Ulricus, Fortunatus) und Tarasp (Luzius, Emerita) auf.

B. Die Nebenklassen.

Lithiumquellen.

Hoher Lithiumgehalt wird meist als Zeichen magmatischer Herkunft betrachtet. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass besonders in Steinsalz- und Gipswässern ziemliche Lithiumgehalte festzustellen sind. Die Mehr-

zahl der schweizerischen Lithiumwässer zählt allerdings zu den Säuerlingen, deren Kohlensäure magmatogen sein dürfte. Zu den Fällen zweifelhafter Art gehören Peiden (Triaszug), Unterrechstein und Baden.

Eisenquellen.

Die gegenüber dem deutschen und dem österreichischen Bäderbuch vorgenommene Herabsetzung der Minimalgrenze für den Eisengehalt auf den halben Betrag hat uns zu einem «embarras de richesse» an Eisenwässern verholfen. Der Nebencharakter einer Eisenquelle kommt naturgemäss vielen Säuerlingen zu, welche das Eisen in Bikarbonatform enthalten, so Val Sinestra, Acquarossa, S. Bernardino usw. Durch ihren Eisengehalt zeichnen sich sodann eine Anzahl einfacher Quellen des Molasselandes aus (Schlegwegbad, Gutenburg, Gontenbad).

Strontiumwässer.

Unsere Strontiumquellen sind in der Hauptsache Kalk- und Gipsquellen oder stark mineralisierte Säuerlinge.

Brom- und Jodquellen.

Als Bromquellen gelten nach unseren neuen Vorschriften nur die beiden Tarasper Wässer Luzius und Emerita. Sie enthalten merkwürdigerweise viel mehr Brom als Jod, im Gegensatze zu den meisten andern Säuerlingen.

Das Jodwasser von Wildegg wird aus den Effingerschichten gepumpt. Deren Jodgehalt dürfte, ähnlich wie das auch bei Posidonienschiefern festgestellt werden kann, auf den Gehalt dieser Sedimente an organischer Substanz zurückzuführen sein. Auch die Bündnerschiefer enthalten ja oft reichlich organisches Material. Auch Steinsalzablagerungen und deren Auslaugungsprodukte führen stets etwas Jod und Brom, doch nur in niedriger relativer Konzentration. In den Solen von Bex, Rheinfelden und Schweizerhalle überwiegt das Brom.

Arsenquellen.

Die Arsensäuerlinge von Val Sinestra sind die einzigen Vertreter dieser Klasse. Wenig unter der Minimalgrenze bleibt der Arsengehalt bei Acquarossa. Ueber die Herkunft des Arsens von Val Sinestra sind wir im unklaren. *Ad. Hartmann*[5]) nahm an, dass es sich um ein vulkanisches Produkt handle; er stützte sich auf Funde von Realgar in Nähe der Quellen. Dieses Mineral kann indessen, wie Feststellungen von *E. Brandenberger* und *R. U. Winterhalter* zeigen, auch sekundär auftreten (Zementsteinbrüche von Wallenstadt).

Borwässer.

Einen nennenswerten Borgehalt zeigt, ausser den Säuerlingen von Passugg, Rhäzüns, Tarasp und Val Sinestra nur die Kapuzinerquelle von Rheinfelden. *J. Knett* warnt davor, den Borgehalt als Kriterium für iuvenile Abkunft eines Wassers zu betrachten. Nach neueren Untersuchungen von *V. M. Goldschmidt* wird Bor oft in tonigen Meeressedimenten und marinen

Eisenerzen angereichert. Zur ersteren Kategorie wäre ein Grossteil unserer Bündnerschiefer zu rechnen.

Radiumquellen.

Die Radiumquellen der Schweiz gehören nicht zu den starken Quellen dieser Art. Der im Eidgenössischen Lebensmittelbuch festgesetzte Mindestgehalt an Radium liegt wenig über den bei unsern Trinkwässern festzustellenden Werten. Anlässlich der Untersuchung schweizerischer Quellen durch *A. Schweitzer*[12]) wurde als radioaktive Substanz fast ausschliesslich die Emanation (Radon) festgestellt, ein gasförmiges Zerfallprodukt des Radiums. Um die Menge der Emanation zu bestimmen, wird die Intensität der von ihr ausgehenden α-Strahlen (doppelt positiv geladene Heliumkerne) mittels Ionisationskammer und Blattelktroskop gemessen. Als Einheit wird die Stromstärke in Tausendsteln der elektrostatischen Einheit angegeben, welche *Mache-Einheit* genannt wird. Gibt man den Radiumgehalt des Wassers an, so kann dies in 10^{-10} g Radium geschehen, für welche Einheit der Name *Eman* geschaffen wurde. Eine Mache-Einheit entspricht 3,7 Eman.

Das geologische Vorkommen der schweizerischen Radiumquellen bestätigt die allgemeingültige Feststellung, dass der Radiumgehalt vorwiegend an saure Eruptivgesteine gebunden ist. Die Quellen von Disentis, Orselina und Lavey entspringen alle aus Altkristallin. Die stärkste radioaktive Quelle der Schweiz, diejenige von Disentis (48,7 M. E.) wird nur durch ein Sickerwasser im Stollen Guttannen-Innertkirchen des Grimselwerkes an Emanationsgehalt übertroffen (51,3 M. E.).

Bemerkenswert ist der hohe Radiumgehalt des Quellschlammes von Val Sinestra, welcher wohl durch selektive Adsorption zustande kommt.

Radiumemanationswässer vertragen keine längeren Speditionsfristen. Da die Halbwertszeit der Emanation nur 3,8 Tage beträgt, d. h. der Gehalt nach dieser Zeit nur noch halb so gross ist, kommt ein Versand bei uns wohl nicht in Frage. In vielen Fällen geht die ganze Emanation schon an der Quelle verloren, weil die Fassung nicht luftdicht abgeschlossen ist. In Joachimstal (Böhmen) beträgt der Gehalt an der Quelle 2000 M. E., im Hotel noch ca. 600 M. E.

Die Geologie der Säuerlinge wird im regionalgeologischen Kapitel behandelt.

Ammoniumwässer.

Im Süsswasser kann Ammoniak als schädlicher Bestandteil auftreten. Es rührt alsdann meist von der Zersetzung organischer Substanz her. Nach den eidgenössischen Vorschriften sind maximal 0,07 mg NH_3 pro Liter Wasser geduldet. In Mineralwässern kann dieser Bestandteil aber als «anorganische» Komponente auftreten, d. h. aus dem Gestein stammen. So enthält die Passugger Fortunatusquelle 10,4 mg und die Tarasper Luziusquelle gar 12,3 mg Ammoniak. Stammt der Ammoniakgehalt aus dem Untergrund und ist zudem die Quelle bakterienfrei, so ist eine Verunreinigung nicht

anzunehmen. Der Ammoniakgehalt wird dann meist demjenigen anderer Komponenten proportional sein.

Grubenwässer.

Im Auslande kommt Grubenwässern oft grössere Bedeutung zu (Levico). Dieselben können verschiedene Zusammensetzung aufweisen. Durch Zersetzung von Sulfiden unter Luftzutritt entsteht z. B. schwefelsäurehaltiges Wasser. Kommt dasselbe mit Karbonaten in Berührung, so resultiert eine bescheidene Kohlensäure- bzw. Säuerlingsbildung. In der Schweiz verdient die neuerdings von *G. Nussberger*[9]) untersuchte Vitriolquelle von Tinzen, die aus einer alten Pyritgrube fliesst, Erwähnung. In alten Gruben der Alpensüdseite (Piemont) sind mancherorts Stollenwässer als Heilquellen gefasst worden. Da deren Beschreibung und Analysierung nur summarisch vorgenommen wurde, verzichteten wir auf die Nennung einzelner Quellen.

6. Das regional-geologische Auftreten der Mineralquellen.

Wir versuchen nunmehr das Vorkommen der Mineralquellen in seiner Abhängigkeit von Gebirgsbau und Gesteinsverhältnissen zu beschreiben. Unsere Ausführungen mögen gleichzeitig als Erläuterung zur beigegebenen «Karte der Mineral- und Heilquellen der Schweiz und ihrer Nachbargebiete» dienen.

Die farbiggedruckte geologische Unterlage des Blattes ist möglichst einfach und deutlich gehalten, um die grossen Bauelemente des Untergrundes gut in Erscheinung treten zu lassen. Im Nordwesten liegt das Tertiärgebiet des Rheintalgrabens, zwischen Vogesen und Schwarzwald eingelassen. Die mesozoische sedimentäre Umrahmung dieser alten Massive hängt nach Süden mit dem Faltenbau des Kettenjuras zusammen. In den Alpen wurden von Norden nach Süden unterschieden: 1. Die helvetische Zone (hellblau) mit den zugehörigen paarweise angeordneten Zentralmassiven (rot): Belledonne, Ost- und Westteil, Montblanc- und Aiguilles-Rouges-Massiv, Gotthard- und Aarmassiv. 2. Als nächsthöhere und südlichere Einheit wurden die Mehrzahl der Bündnerschiefer-Decken (penninische Decken) vereinigt (blau). 3. Die hochpenninische Dent-Blanche-Decke des Westens wurde einerseits mit den unterostalpinen Decken Bündens, der Err- und Bernina-Decke und andererseits mit den Klippen-Decken der Préalpes verbunden. Diese vom Verfasser 1934 vorgenommene Gleichstellung entspricht den Untersuchungsergebnissen des italienischen Staatsgeologen *V. Novarese,* welche sich diesem auf der Alpensüdseite ergaben. Die Sesiazone mitsamt der Canavesezone (Novarese) ist dort als Wurzel der hochpenninisch-unterostalpinen Elemente aufzufassen. *R. Staub* hat für diese Abteilung unlängst den Namen Engadiner-Decke vorgeschlagen. 4. Die mittel- und oberostalpinen Decken sind typische Bauelemente des ostalpinen Gebirgsbogens und als solche nur im Osten unseres Landes vorhanden. Ihr Bereich erstreckte sich westwärts nie über den Gotthard hinaus, deshalb setzen ihre Wurzeln auch gegen das Tessintal aus.

Der Autor schreibt am 11.Dezember 1936:

Hier könnte, wenn dies nicht allzugrosse Schwierigkeiten bietet, folgender Passus als Fussnote (mit Sternzeichen hinter dem Worte "vorlagen" auf Zeile 15) oder im Text als Abschnitt zwischen den jetzigen Zeilen 21 und 22 angebracht werden:

Nachtrag. Auf Grund neuerer ausländischer Literatur wären auf der Karte noch zu ergänzen die Gipsquelle von Tartavalle im Val Sassina (Prov.Como) und die Gipstherme (55°C) von La Léchère am linken Isèreufer unterhalb Salins-Moutiers. Die Namen der Quellen von Brides und Salins-Moutiers sind auf der Karte zu vertauschen

In den Dinariden unterscheiden wir, ähnlich wie in der helvetischen Zone das kristalline Grundgebirge (hellrot) von der zugehörigen Sedimentüberdeckung (hellblau). Die dem Perm eingelagerten Eruptiva spielen in unserem Spezialfall keine Rolle; sie wurden nicht ausgeschieden.

Besonders deutlich gekennzeichnet wurden die in den beinahe fertigen alpinen Bau eingedrungenen granitischen bis tonalitischen Eruptivmassen des Adamello, der Val Bregaglia, von Biella und Traversella. Der oft mit diesen tertiären Intrusiva zusammen aufgeführte Granitstock von Baveno soll nach *V. Novarese* permischen Alters sein. Die Poebene ist, bezogen auf den Alpenkörper, als dessen südliches Vorland und als Gegenstück zum Molassebecken zu betrachten.

Es wäre ein Ding der Unmöglichkeit gewesen, auf diese topographische und geologische Unterlage sämtliche uns bekannt gewordenen Mineralquellen einzutragen. Wir beschränkten uns auf die Quellen, von welchen einigermassen zuverlässige Analysen vorlagen. Weggelassen wurde eine ganze Anzahl einfacher Quellen, die sich weder chemisch noch physikalisch von Süsswasserquellen unterscheiden, z. B. verschiedene ihrer bakteriellen Reinheit halber als Tafelwasser in den Handel gebrachte Wässer, ferner solche, die ihrer Heilwirkung wegen oder infolge ihrer gesetzlich privilegierten Stellung die Bezeichnung Mineralquellen führen dürfen. Wer sich über diese Quellen orientieren will, findet dieselben im Analysenteil aufgeführt.

Ein Blick auf die Mineralquellkarte zeigt, dass die Quellen unseres Landes nicht gleichmässig auf die Fläche verteilt sind. Es lassen sich eine Anzahl vorwiegend tektonisch bedingte Häufigkeitsbereiche feststellen, die in nordsüdlicher Reihenfolge besprochen werden sollen.

a) Der Rheintalgraben und die Vogesen- sowie Schwarzwaldabdachung.

Vom Taunus und Hunsrück im Norden bis an den Tafeljura im Süden ist der Rheintalgraben beidseitig mit einer ganzen Anzahl von Mineral- und Thermalquellen besetzt. Dieselben treten an den wichtigsten Randbrüchen und in deren Nähe auf. *P. Kessler*, dem wir eine zusammenfassende Beschreibung der Quellen verdanken, betrachtete dieselben als vorwiegend iuvenilen Ursprunges. Soweit dies die Kohlensäure der Säuerlinge anbelangt, mag *P. Kessler* recht behalten; für die meisten übrigen Komponenten möchten andere Autoren vadose Herkunft annehmen. So soll der Kochsalzgehalt der Kreuznacher Säuerlinge von den tertiären Salzlagern des Rheintalgrabens oder aus näheren permischen Sedimenten herstammen.

Nach den Profilen (auch nach den geophysikalisch aufgenommenen) ist besonders der nördliche Teil des Rheintalgrabens asymmetrisch gebaut, d. h. die Ostseite tiefer eingesunken. Infolgedessen treten hier auch die bedeutenden Thermen auf (Baden-Baden, Badenweiler usw.). Die Therme von Krozingen wurde 1911 anlässlich einer Fehlbohrung auf Petrol künstlich geschaffen. Die ebenfalls erbohrte Quelle von Grenzach entspringt in einem die Rheintalsenke seitlich begleitenden kleinen Graben aus Muschelkalk. Im

Auf Grund neuerer ausländ. Literatur etc.

angrenzenden, reichlich von rheinischen Brüchen durchsetzten Tafeljura entspringen die Quellen von Sissach, Olsberg, Magden u. a.

Die grossen Thermen auf der Westseite der Vogesen verdienen besonderes geologisches Interesse. Die Quelle von Bourbonne entspringt in einer Depression der in Châtillons sur Saône ausstreichenden Grundgebirgsschwelle. Der Austritt der Quelle erfolgt aus einer den Lias und die Trias durchsetzenden Verwerfung. In Bains, Luxeuil und Plombières kann der direkte Zusammenhang des Quellortes mit Quarz-, Flusspat- und Barytgängen festgestellt werden. In Plombières durchsetzen die Gangbildungen den Granit, in Bains und Luxeuil den Vogesensandstein (Buntsandstein).

b) Die Mineralquellen des östlichen Kettenjuras.

Wenn wir durch den Kettenjura von Westen nach Osten wandern, so sehen wir, dass an Stelle des vor dem Rheintalgraben noch weit nach Norden ausholenden Faltenbaues eine Aufschiebungs- und Verschuppungstektonik tritt. Der Sporn des Schwarzwaldes macht sich hier bemerkbar. Durch stärkere Dislokation sind triasische Schichtglieder weitgehend freigelegt worden. So können in dieser Region einerseits Oberflächenwässer leichter in triasische Komplexe eindringen und andererseits Quellen wieder leichter aus denselben austreten. Das Gegenspiel von Aufbau und Abtrag bewirkte hier somit, dass Gesteine, die sich als «Salzlieferanten» und Wasserhorizonte eignen, in den Bereich des Wasseraustausches versetzt wurden. Den Schubflächen kommt dabei weniger die Rolle von Wasserwegen als von Trennflächen zwischen wasserstauenden und wasserdurchlässigen Schichten zu (vgl. Beschreibung der Therme von Baden-Aargau und Charakteristik von Eptingen).

In der Brandungszone des östlichen Kettenjuras liegen die Quellen von Baden, Schinznach, Densbüren, Eptingen, Meltingen u. a. m.

c) Die Mineralquellen des Molasselandes.

In früheren Zeiten genossen eine ganze Anzahl nach heutiger Auffassung zu den einfachen Quellen gehörige Vorkommen im Bade- und Kurbetrieb grosses Ansehen. Die heute noch als Mineralquellen geltenden Quellen liefern meist Eisen- oder Schwefelwasser. Eine relative Häufung derselben ist in der Zone der subalpinen Molasse zu verzeichnen, wo auch die Lithiumquelle von Unterrechstein austritt. Es mag sein, dass die weitere wissenschaftliche Untersuchung der Molassewässer ihre Mineralisation mit diagenetischen Vorgängen (Gesteinsbildung) in Zusammenhang bringen kann und dass die Molassewässer sogar Hinweise auf die Petrolhöffigkeit des Gebietes gestatten werden. *A. Weithofer*[15]) hat auf diesbezügliche Verhältnisse am bayrischen Alpenrand aufmerksam gemacht. Auch hier wird Vorsicht am Platze sein. Schwefelwasserstoff kann durch ganz oberflächliche Umsetzungen erzeugt werden. Kohlenwasserstoffe, z. B. Methan kann als letzte Spur eines einst vorhanden gewesenen Erdölvorrates auftreten. Brennbares Erdgas kommt bei uns nicht nur in der Molasse (Rickentunnel u. a. O.), son-

dern auch im helvetischen Flysch (Burgerwald, Kt. Freiburg) und im Bündnerschieferflysch (Küblis) vor. Fraglich bleibt noch die Herkunft der verschiedenen schwachen Säuerlinge der Molasse. Es scheint plausibel, ihre Kohlensäure ebenfalls mit Gesteinsumwandlungen (Inkohlung) in Zusammenhang zu bringen. Merkwürdig bleibt der Fall von Ueberlingen, welche Quelle infolge starker Schüttung (3 sl) reichlich Kohlensäure fördert. Hier wäre allenfalls an einen Zusammenhang mit den von deutschen Geologen angenommenen parallel den Seeufern streichenden Verwerfungen zu denken.

d) Die Zone der helvetischen Massive.

Wir könnten diese Zone auch die *Zone der Thermen* nennen. Durch das axiale Auf- und Absteigen der Massivaxen, d. h. durch das wiederholte Auf- und Abtauchen der altkristallinen Massive aus ihrem bzw. unter ihren Sedimentmantel mit durchlässigen Gips-, Kalk- und Dolomithorizonten besteht hier die Möglichkeit der Thermenbildung mit zugehörigen unterirdischen Reservoiren. So liegt St-Gervais am Westende des Aiguilles-Rouges-Massives, Lavey an dessen Ostende, Saxon am Ostende des Montblanc-Massives. Die Leukerquellen liegen am westwärts abtauchenden Aarmassiv. Unweit der Stelle, wo das Aarmassiv letztmalig zutage tritt, d. h. nördlich des Kristallin-Aufbruches von Vättis, entspringt die Pfäferser Therme.

Wenn diese warmen Quellen auch teilweise an lokalen Brüchen und Klüften austreten, so sind sie doch ihrer ganzen Anlage nach nicht als Verwerfungsquellen zu betrachten, sondern als typische Begleiterscheinungen des Faltenbaues mit ausgesprochenen Axenschwankungen. Figur 5 stellt den einfachsten Fall dieses Quellentyps dar. Die Therme entspringt jeweilen am tiefsten oberflächlich aufgeschlossenen Punkte des im Gewölbe vorhandenen Quellenhorizontes.

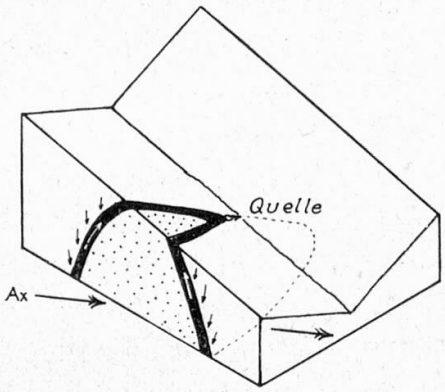

Fig. 5.
Quellaustritt an abtauchendem Sattel (evtl. Massiv). Schema für Thermenbildung. Der Sattel fällt quer zur Talrichtung ein (Ax = Axenrichtung). Schwarze Schicht: Wasserträger. Absteigender und aufsteigender Quellast sind durch kleine Pfeile angedeutet.

e) Die Quellen der Préalpes und des Chablais zwischen Arve und Aare.

In Form eines mächtigen zweifachen Faltenbogens dringen im Bereiche des Chablais, der Waadtländer-, Freiburger- und westlichen Berner Alpen ortsfremde Schubmassen bis an den Alpenrand vor. In einer langen unregelmässig schüsselförmigen Mulde liegt dieses ganze exotische Deckenpaket, und die Schubflächen seiner Einheiten fallen im grossen ganzen von Norden und Süden unter dasselbe ein. Damit sind für die Entstehung von Mineralquellen Möglichkeiten gegeben, um so mehr als auch die mineralliefernden Schichten nicht fehlen. Wie im östlichen Kettenjura, so diente auch hier auf weite Strecken die gipsführende Trias als Gleithorizont. Infolgedessen finden wir den Schubflächen-Schnittlinien entlang eine ganze

Anzahl von Gips- und Schwefelquellen. So auf der Südseite der Zone: Champéry, Morgins, Bex, L'Etivaz, Lenk, Rinderwald, Grimmialp, Heustrich. Auf der Nordseite liegen: St-Gingolph, L'Alliaz, Montbarry, Schwarzsee, Schwefelberg und Gurnigel.

f) Die Quellen der rhätischen Alpen.

Dieser Teil des alpinen Gebirges hat einen auffälligen Reichtum an Mineralquellen aufzuweisen. Die Gründe dafür sind folgende: Es treten hier wieder wie in den Préalpes die an salinare Triasbildungen gebundenen Quellen auf, so Andeer, Alvaneu, Bergün, Acla Orlandi u. a. m. Die bescheidene Thermalität einer Reihe von Vorkommen (Vals, Innerferrera, Andeer usw.) wird durch vorhandenes axiales Gefälle mitbedingt. Zu diesen und anderen Quelltypen kommt nun aber die besonders stark vertretene Gruppe der *Säuerlinge* hinzu. Wie an anderer Stelle schon dargetan wurde[2]), zeigt die Verbreitung dieser Quellart im Alpenkörper ein ganz besonderes Bild. Säuerlinge treten auf: 1. Am Ostabbruch der Alpen gegen das Wienerbecken und die pannonische Tiefebene; 2. in der anschliessenden Zone des Muralpen-Kristallins (Bad Einöd, Preblau); 3. im Bereiche der jungvulkanischen Eruptivgesteinsvorkommen und der alpin-dinarischen Grenzregion Kärntens und der Steiermark; 4. in Bünden. Gegen Westen hin treten noch einzelne Säuerlinge auf, so der Halbsäuerling von Acquarossa, die Quellen von Crodo und Bognanco, Varzo-Veglia, St-Vincent, Courmayeur, Borgofranco und Ceresole Reale. Von hier bis zum Mittelmeer fehlen nach der Literatur jegliche Vertreter dieser Klasse. Am nördlichen Alpenrand kennt man nur zwei Säuerlinge mit reichlicher Kohlensäureführung: Andelsbuch im Vorarlberg (2,3 g pro L) und Bad Kohlgrub bei Murnau (Oberbayern) (1,5 g pro L).

Ad. Hartmann[5]) kommt das Verdienst zu, wieder auf die älteren Theorien zurückgegriffen und auf den Zusammenhang der Säuerlinge mit spätalpinen Intrusionen hingewiesen zu haben. Der letztere Zusammenhang scheint allerdings nur ein indirekter zu sein. In der Auffassung, dass eine ganze Anzahl von Mineralkomponenten und Gasen (Li, B, As, H_2S) für vulkanische Herkunft der Wässer sprechen sollte, wurde wohl etwas zu weit gegangen. Die lange Zeit als zutreffend erachtete Theorie von *G. Nussberger*[8]), nach welcher die Bündner Säuerlinge durch Pyritzersetzung und Einwirkung der dabei entstehenden Schwefelsäure auf verschiedene Gesteine gebildet werden sollten, muss wohl für unseren Fall aufgegeben werden.

Die neueren Ansichten über Gesteinsumwandlung und Granitisation lassen wieder engere Zusammenhänge zwischen magmatischen Vorgängen und Gebirgsbildung annehmen und bieten auch für die Deutung der Quellenentstehung neue Perspektiven. Wir halten es für ziemlich aussichtslos, wenn nicht überflüssig, über die iuvenile oder vadose Herkunft einzelner Mineralwasserkomponenten zu diskutieren. Wie oben erwähnt wurde, kann der früher für vulkanisch gehaltene Schwefelwasserstoff der Säuerlinge sehr wohl bakteriell aus Sulfaten erzeugt sein. Was die übrigen «typischen»

Stoffe anbelangt, so dürfte vielleicht die Vergesellschaftung einzelner Komponenten wie Lithium, Edelgase usw. einmal bessere Hinweise gewähren. Sie werden aber auch nur relative sein. Wir müssen eben damit rechnen, dass die ganzen bei Anwesenheit von Wasser vor sich gehenden Mineralumsetzungen, welche im Laufe der Erdgeschichte sich vollziehen, eine lange Kette bilden, die von typisch magmatischen zu amagmatischen Vorgängen führt. Oft lassen sich auf Grund unserer Kenntnisse unzweifelhaft kombinierte Fälle feststellen. Wir verweisen nur auf den Fall von Bernardino, wo vadose Sickerwässer aus der Trias Sulfate aufnehmen und mit aus der Tiefe stammender Kohlensäure imprägniert werden.

Die Häufung von Säuerlingen im rhätischen Alpensektor muss wohl auf ein Zusammentreffen folgender Faktoren zurückgeführt werden. Wir befinden uns hier im Bereiche der sich überschneidenden Alpenbogen, des westalpinen und ostalpinen. Im Norden und Süden des Gebirges (Hegau und Vicentin) kam es zur Förderung von Eruptivmaterial. Im Innern des Gebirges ermöglicht der in verschiedener Richtung tätige Gebirgszusammenschub das Auftreten von tiefreichenden Spaltensystemen, an welchen Lösungen und Gase leichter zirkulieren können. Im rhätischen Alpensektor, d. h. im Grenzgebiet zwischen West- und Ostalpen treten deshalb Säuerlinge von Süden bis Norden durchgehend auf; von der Wurzelzone (Pejo und Rabbi) bis an den Alpenrand (Andelsbuch).

Dass Stellen sich kreuzender Gebirgsbogen oder -ketten für das Auftreten von Mineralquellen prädisponiert sind, zeigt der Fall von Sirmione. Diese Therme entspringt (unter Seespiegel) an der Stelle, wo die Monte-Baldo-Kette gegen Süden die Alpenrandaufschiebung erreicht (vgl. Karte!).

Es soll hier noch auf eine Erscheinung hingewiesen werden, die wir an bündnerischen Säuerlingen besonders deutlich feststellen konnten. Die Säuerlinge von Passugg und auch solche des Unterengadins treten an steilsteherden, bis mehrere Meter breiten Ruschelzonen auf, für welche die Bezeichnung Quellspalte oder -kluft nicht ganz zutreffend ist. Diese Zonen verdanken ihre Entstehung unzweifelhaft spätalpinen oder nachalpinen tektonischen Bewegungen. Wir stellten solche Störungszonen auch an verschiedenen Talriegeln des Maggiagebietes fest (Alp Robiei, Lago della Crosa usw.). *A. Trösch* hatte dieselben erstmalig in einem Gutachten über Tessiner Speichermöglichkeiten erwähnt, aber nicht zu deuten versucht. *O. Grütter* erkannte nach freundlicher mündlicher Mitteilung ihre tektonische Bedeutung im Gebiete von Bosco und Campo. Im Bereiche schwer durchlässiger Gesteine können solche Ruschelzonen als Wasserwege dienen. Es ist nicht ausgeschlossen, dass an solchen Zonen bei andauernder intensiver Lösung von Gesteinsmaterial tektonische Ausgleichsbewegungen stattfinden, die unter Umständen von Erdbeben begleitet sind.

g) Zusammenhänge zwischen Mineralquellen und Erdbeben.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass Erdbeben auf die wassererfüllten Systeme der Quellwege von Einfluss sein können. In der Literatur finden

sich Angaben über diesen Gegenstand aus älterer und neuerer Zeit. Im allgemeinen haben Beben plötzliche Schwankungen der Schüttung und bei Säuerlingen auch des Gasgehaltes zur Folge. Das grosse Beben von Lissabon vom 31. Oktober bis 1. November 1755 machte sich in Nordafrika und in ganz Frankreich durch Störungen an Quellen bemerkbar. Am 1. November dieses Jahres setzte sogar die Thermalquelle von Teplitz in Böhmen für kurze Zeit aus, um dann während mehrerer Minuten ausserordentlich stark zu fliessen und alle Badebassins zu überschwemmen. In Lavey (Waadt) erfolgte 1851 anlässlich eines Erdbebens ein Anstieg der Wassertemperatur von 36 auf 41° C. und eine Vermehrung der Schüttung von 30 auf 40 ml.

Aus neuerer Zeit datieren ähnliche Nachrichten. So brachen anlässlich des grossen Balkanbebens vom 10. März 1931 heisse Quellen aus, während alte Mineralquellen versiegten.

Es wäre gewiss eine dankbare Aufgabe für unseren Erdbebendienst, wenn an geeigneten Mineralquellen empfindliche selbstregistrierende Wassermesser eingebaut würden, die auch als Seismographen zu dienen hätten. Am ehesten kämen für dieses Experiment wohl Walliser oder Bündner Quellen in Betracht, weil in diesen Gegenden in der Nähe Seismographen stationiert sind. Es wäre übrigens nicht das erste Mal, dass solche Versuche gemacht werden. *Moldenhauer* registrierte nach *R. Kampe*[11]) mit einem «schreibenden Schüttungs- und Druckmesser» an der Ekatherinenquelle in Borshom (Kaukasus) die gleichzeitig vom Seismographen in Tiflis aufgezeichneten Beben. Die schon vor Einsetzen der Erschütterung zu beobachtenden Quellschwankungen brachte der erstgenannte Autor mit den Spannungen in Zusammenhang, die schon vor der Entlastung durch das Beben auftreten.

Es erhebt sich auch die Frage, ob umgekehrt Mineralquellen Veranlassung zu «Einsturzbeben» geben können. Schon 1885 erklärte der Physiker *A. Forster* im Simmental erfolgte Erdbeben als durch Einsturz in Gipslagern verursacht. In Frage kämen hier vor allem die Quellen der Lenk. Dass bei der Behandlung solcher Probleme Vorsicht am Platze ist, zeigte das «Tunnelbeben» von Grenchen. 1913 glaubte *A. de Quervain* dieses Beben als Einsturzbeben, verursacht durch grosse Wasseraustritte, deuten zu müssen. 1919 schloss derselbe Verfasser auf das Vorhandensein eines tieferen Herdes.

Bei der Betrachtung der Erdbebenkarte der Schweiz von *E. Wanner*[14]) wäre man leicht versucht, verschiedene Lokalbebenherde mit dem Auftreten von Quellen in Zusammenhang zu bringen. So z. B. die am oberen Neuenburgersee verzeichneten Bebenzentren mit den Quellen von Yverdon, deren Vorhandensein wir bis dahin mit keiner grösseren tektonischen Störung in Beziehung bringen können. Die Tatsache aber, dass einerseits im Bereiche einer ganzen Anzahl von «Bebennestern» keine Quellen mit reichlicher Mineralführung und Schüttung auftreten (Bern, Obwalden), und andererseits gewisse Quellorte Bebenzentren vermissen lassen, mahnt zur Vorsicht. Es müsste bei der Behandlung dieses Problemes zweifellos ein Unterschied ge-

macht werden zwischen Quellen, die an Querstörungen und Axen-Steilzonen liegen — letztere weisen nach *E. Wanner*[13]) auffällig viele Herdpunkte auf — und solchen, die an streichenden Störungen des Gebirgs auftreten.

7. Das Aufsuchen und Fassen von Mineralquellen.

a) Das Aufsuchen der Quellen.

Der Fachmann kommt heute selten in den Fall, bis dahin unbekannte Mineralquellen aufsuchen zu müssen. Meist wird er sich mit dem Neufassen versiegter oder in schlechtem baulichem Zustande befindlicher Quellen zu befassen haben. Um Quellen neu zu erschliessen (erbohren usw.), müssen in erster Linie die Tektonik und die Wasserverhältnisse der ganzen Gegend untersucht werden. Unter Umständen ist es ratsam, den Chemismus grösserer und kleinerer Gewässer zu untersuchen. Talaufwärts fortschreitend können so allenfalls vorhandene, stärker mineralisierte Zuflüsse festgestellt werden. Dass diese Methode Aussicht auf Erfolg hat, wird in allen jenen Fällen bewiesen, wo Mineralwässer in Bäche oder Flüsse austreten. Wir erinnern an die Thermalwasseraustritte in die Limmat bei Baden, an Sauerquellen im Innbett bei Tarasp. Bei Meltingen im Solothurner Jura wurde 1934 zufällig in 200 m Entfernung vom Bade im Bachgraben eine Gipsquelle entdeckt. Vorher war man sich nicht im klaren darüber gewesen, woher der hohe Gipsgehalt des Dorfbaches stamme.

Ueber die Verwendbarkeit der *Wünschelrute* beim Quellensuchen sind die Ansichten geteilt. Die Verwendung dieses Instrumentes kommt einer vagen Spekulation gleich, welche sich besonders staatliche Behörden nicht leisten sollten.

Für die Erforschung von Thermalquellgebieten steht ein gutes Verfahren zur Verfügung: die Messung der Bodenwärme und die Erstellung von Karten mit Kurven gleicher Bodentemperatur. Diese von *Ch. von Steeb* für die Quellen von Stubicke Toplice (Jugoslawien) verwendete Methode dürfte sich auch für die Neufassung schweizerischer Thermen eignen.

Unser Land ist so reich an Mineralquellen, dass höchstens für das Auffinden besonders gehaltvoller oder noch nicht vertretener Quelltypen Interesse vorliegen kann. Als aussichtsvoll und erwünscht halten wir das Forschen nach stark radioaktiven Wässern. Unsere stärkste radioaktive Quelle wird von solchen des Auslandes um ein Vielfaches an Gehalt übertroffen. Es wäre aber zweifellos möglich, am Bergeller Granitmassiv oder im oberen Tessin (z. B. im Maggiagebiet) stärkere Radiumquellen zu finden.

b) Das Fassen der Mineralquellen.

Für das Fassen der Mineral- und Thermalquellen sind weitgehend dieselben Methoden verwendbar wie bei einfachen kalten Quellen. Ein Unter-

*) Vergl. die Ausführungen des stadtzürcherischen Ingenieurs *A. Beilick* in: *J. Hug* u. *A. Beilick*, Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich. Beitr. z. Geologie d. Schweiz. Geotechn. Serie, Hydrologie, Lief. 1. Bern 1934.

schied ergibt sich insofern, als nicht nur auf konstante Schüttung, sondern auch auf möglichst konstante Mineralisation und Temperatur gesehen werden muss. Es gilt somit meist, ein Optimum von Schüttung, Gehalt und Temperatur festzulegen. Dabei wird am besten auf Grund bisheriger Beobachtungen vorgegangen. In allen Fällen von Neufassung zeigt es sich immer wieder, von welch grossem Werte zuverlässige Aufzeichnungen sind. Liegen keinerlei Beobachtungen vor, so sieht man sich gezwungen, die Eigenschaften des Wassers vermittelst und während Pumpversuchen zu bestimmen. Zunächst müssen die Schüttungsverhältnisse untersucht werden.

Es sind zwei Verfahren üblich. Entweder wird die Quellfassung — am besten eigenen sich in diesem Fall Schächte — leergepumpt und die Zeiten notiert, welche verstreichen, bis das Wasser verschiedene Spiegelhöhen erreicht hat. Oder es wird der Wasserspiegel auf verschiedenen Niveaus während längerer Zeit (z. B. 48 Stunden) durch Abpumpen konstant gehalten und der jeweilige Ertrag bestimmt. Diese Näherungsmethoden wurden von *F. A. Forel* und *Alb. Heim* schon vor Jahrzehnten mit Erfolg angewendet.

Die Durchführung von Fassungsarbeiten sollte nur solchen Firmen übergeben werden, welche auf diesem Gebiete Erfahrung besitzen. Die angewendeten Verfahren können bis zu einem gewissen Grade verschiedene sein. Der berühmte Schaffhauser Quellentechniker *A. Scherrer*, welcher mehrere hundert Fassungen besorgte, pflegte meist grosse Grabarbeiten auszuführen, was die Möglichkeit bot, in die Boden- und Gesteinsverhältnisse Einblick zu erhalten. Andere Techniker werden vielleicht eher von Anfang an Schächte abteufen oder Stollen vortreiben. Das Erbohren von Mineralquellen hat seine Vor- und Nachteile. Man erschrotet dabei leicht Süsswasser- und Mineralwasseradern, die alsdann nur mit Schwierigkeiten zu trennen sind. Bohrungen inmitten schon vorhandener Quellbezirke vorzunehmen, ist immer gewagt, da mit der Beeinträchtigung anderer Austritte zu rechnen ist. Fehlen von letzteren genaue Beobachtungen, so kommt es leicht zu Meinungsverschiedenheiten.

Je nach Salz- und Gasgehalten ist bei Fassungen verschiedenes Material zu verwenden. Das Wasser akratischer Thermen wurde früher meist durch Holzleitungen abgeführt, welche jahrzehntelang standhielten. Die eichene prähistorische Fassung der Mauritiusquelle in St. Moritz überdauerte Jahrtausende. Heute stehen dem Techniker leichter zu verbindende Materialien zur Verfügung.

Besonders schwierig sind Schwefel- und Sauerquellen zu fassen, da sie Mörtel und Zement angreifen. In letzter Zeit gelangen bei Säuerlingsfassungen mit Vorliebe Sika und ähnliche Spezialzemente zur Verwendung. Für die Steigleitung verwendet man mit Erfolg Rohre aus Phosphorbronze, für längere Leitungen gusseiserne und verzinnte Rohre. Gips- und Schwefelquellen können auch mit Ton (evtl. mit Klinkerziegeln gespickt) abgedichtet werden.

Bei Säuerlingsfassungen muss berücksichtigt werden, dass dieser Quelltyp ganz besondere hydraulische Verhältnisse aufweist. Das mit Kohlensäurebläschen durchsetzte Wasser weist ein geringeres spezifisches Gewicht auf als kohlensäurefreies Wasser, d. h. man hat mit einem Gas-Flüssigkeitsgemisch zu rechnen. Dasselbe steigt im Fassungsrohr hoch wie durch Druckluft einer «Mammutpumpe» gehobenes Wasser. Durch geeignete Dimensionierung der Rohrquerschnitte, von Krümmungsradien der Rohrstücke kann die Stauhöhe der Quellen weitgehend beeinflusst werden. Auch das oft störende Intermittieren der Quellen lässt sich in vielen Fällen beheben.

Die meisten der bündnerischen Säuerlinge wurden um die Jahrhundertwende von *A. Scherrer* mustergültig gefasst. In Val Sinestra arbeitete dieser Techniker nach demselben Prinzip, welches jetzt als vorbildlich an den böhmischen Vorkommen zur Anwendung gelangt. Das Wasser wird vom Quellmund in Rohren hochgeführt und nicht etwa der Quellschacht oder ein Wasserbehälter so angeordnet, dass deren Wasserdruck demjenigen der Quelle entgegenwirkt.

Wir begnügen uns mit diesen wenigen Andeutungen. Es zeigt sich bei allen Fassungen wieder, dass jede Quelle einen Sonderfall darstellt, der auch besonders zu behandeln ist.

Hauptsächlich zitierte Literatur

1) *Cadisch J.*, Zur Geologie alpiner Thermal- und Sauerquellen. Jahresber. Natf. Ges. Graub., 66, 1927/28.

2) *Cadisch J.*, Zur Geologie der Schweizer Mineral- und Thermalquellen. Verh. Natf. Ges. Basel, 42, 1930/31, 1932.

3) *Deines O. von*, Der Stoffwechsel der Schwefelbakterien. Die Naturw. 1933.

4) *Hartmann Ad.*, Die Mineral- und Heilquellen des Kantons Aargau. Mitt. Naturfor. Ges. Aargau, 17, 1925.

5) *Hartmann Ad.*, Die Entstehung der Mineralquellen von Tarasp-Schuls und der andern Bündner Säuerlinge. Vierteljahrsschr. Natf. Ges. Zürich, 72, 1927.

6) *Heim Alb.*, Die Thermen von Pfäfers. Vierteljahrsschr. Natf. Ges. Zürich, 1928.

7) *Knett J.*, Die Thermal- und Mineralquellen. In «Oesterreichisches Bäderbuch 1928». Wien. Oesterr. Staatsdruckerei.

8) *Nussberger G.*, Heilquellen und Bäder im Kanton Graubünden. Chur 1914.

9) *Nussberger G.*, Die Mineralquelle in der Tinzener Ochsenalp. Jahresber. Naturf. Ges. Graub., 66, 1928.

10) *Peter H.*, Expertenbericht an die Baudirektion des Kantons Aargau über die Thermalquellen in Baden, erstattet von H. Peter, Ing., Direktor der städt. Wasserversorgung Zürich, vom 14. Jan. 1922.

11) *Prinz E.* u. *Kampe R.*, Handbuch der Hydrologie, 2. Bd., Quellen. Berlin 1934.

12) *Schweitzer A.*, Ueber die Radioaktivität der Heilquellen der Schweiz. Ann. Schweiz. Ges. f. Balneologie u. Klimatologie, 1916.

13) *Wanner E.*, Beitrag zur Geographie der Erdbeben. Gerl. Beitr zur Geophysik. 1929.

14) *Wanner E.*, Jahresbericht 1932 des Schweiz. Erdbebendienstes, mit Schütterkarte der Schweiz. Zürich 1933.

15) *Weithofer K. A.*, Das Vorkommeu von Erdöl und Erdgas, von Jod- und Schwefelwasser im südlichen Bayern. Zeitschr. Deutsche Geol. Ges., 87, 1935.

Weitere Literatur ist in 2 zitiert.